

Strategien für die flexible, auftragsweise Kommissionierung mit integrierter Prüfung

Projekt-Nr. 15811 N

Forschungsstelle 1

Prof. Dr. Michael ten Hompel
Dipl.-Logist. Jörg Zellerhoff
Dipl.-Logist. Michael Pelka

Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen
Emil-Figge-Str. 73
44227 Dortmund

Forschungsstelle 2

Prof. Dr.-Ing. Horst-Artur Crostack
Dipl.-Inf. Jonas Mathis
Dipl.-Wirt.-Ing. Daniel Strothotte

Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung
(RIF) e.V.
Joseph-von-Fraunhofer Str. 20
44227 Dortmund

Dieses Vorhaben (Projekt-Nr. 15811 N) ist aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e.V., Bremen, durchgeführt worden.

Name der Forschungsstelle(n)

IGF-Vorhaben-Nr. / GAG

Bewilligungszeitraum

Schlussbericht für den Zeitraum :

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die



geförderten IGF-Forschungsvorhaben

Normalverfahren

Fördervariante ZUTECH

Forschungsthema :

Für ein ZUTECH-Vorhaben sind folgende zusätzliche Angaben zu machen:

Der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

ist beigefügt

liegt bereits vor

wird fristgerecht nachgereicht

Ort, Datum

Unterschrift der/des Projektleiter(s)

Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines kennwertbasierten Auswahlalgorithmus für den situationsgerechten Einsatz von Kommissionier- und Prüfstrategien bei der auftragsweisen, manuellen Kommissionierung. Mit einem derartigen Auswahlalgorithmus soll die Steuerung von Kommissioniersystemen zukünftig in die Lage versetzt werden, flexibel auf veränderte Einflussgrößen zu reagieren und jeweils die aktuell beste Kombination von Kommissionier- und Prüfstrategien einzusetzen.

Die Leistung von Kommissionierstrategien wird im Wesentlichen durch die Einflussgrößen der Auftragsstruktur und des Systemlayouts bestimmt. Die Auftragsstruktur schwankt in vielen Branchen kurzfristig, während das Systemlayout nur durch mittelfristige Umstrukturierungen angepasst werden kann. Die Simulationsexperimente zur Leistungsbestimmung der Kommissionierstrategien in Abhängigkeit der Einflussgrößen haben gezeigt, dass unabhängig von deren Ausprägung für jedes System eine allgemeine Handlungsempfehlung formuliert werden kann. Daraus hat sich ergeben, dass in jedem Fall Multi-Order-Picking mit maximal möglicher Batchgröße eingesetzt werden sollte. Die Kombination mit einer zusätzlichen Kommissionierstrategie führt darüber hinaus immer zu einer Leistungssteigerung. Obwohl Analysen der Steuerungssysteme der Industriepartner gezeigt haben, dass der kombinierte Einsatz von Kommissionierstrategien gängige Praxis ist, können Unternehmen die Auswirkungen nur grob abschätzen. Auch in der Forschung findet dieser Aspekt wenig Beachtung. Beispielsweise konnte bisher keine Aussage über die Leistungsverbesserung bei kombiniertem Einsatz von Multi-Order-Picking, einer Kürzesten-Wege-Strategie und dem Einsatz einer Lagerplatzzuordnung nach Zugriffshäufigkeiten getroffen werden. Für die Industriepartner waren die Ergebnisse der Simulationsexperimente hilfreich, da erstmalig Angaben zum Leistungsgewinn beim Einsatz einer bestimmten Strategiekombination getroffen werden können. Bei dem Einsatz von Strategiekombinationen ist zu beachten, dass abhängig von der Ausprägung der Einflussgrößen der Nutzen einer zusätzlichen Strategie und der Aufwand für deren Umsetzung in einem ungünstigen Verhältnis stehen können. Aus diesen Ergebnissen wurde ein kennzahlbasierter Auswahlalgorithmus entwickelt, der abhängig von aktuellen Einflussgrößen die beste Kombination von Kommissionierstrategien vorgibt.

Zusätzlich wurden Prüfstrategien mit in die Betrachtung einbezogen und der Zielkonflikt zwischen Leistung und Qualität bei der Implementierung von Prüftätigkeiten untersucht. Hierbei konnten die Auswirkungen genereller sowie systemlastabhängiger Einflussgrößen auf die Prüfstrategieauswahl verifiziert werden. Aufgrund der hohen Anzahl potentiell einsetzbarer Prüfstrategien, der vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen den Einflussgrößen und dem Vorliegen konkurrierender Zielgrößen, kann keine allgemeine Handlungsempfehlung gegeben werden. Die Ergebnisse konnten jedoch in den kennzahlbasierten Auswahlalgorithmus integriert werden, mit dessen Hilfe individuell für jedes System unter Beachtung der jeweils aktuellen Ausprägung der Einflussgrößen eine Empfehlung der einzusetzenden Kommissionier- und Prüfstrategien gegeben werden kann.

Dieser kennzahlbasierte Auswahlalgorithmus bildet damit die Basis für neue Steuerungssysteme mit einer flexiblen Strategieanpassung.

Durch Veröffentlichungen wurden die Ergebnisse allen Interessengruppen zugänglich gemacht.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung (FLW + RIF).....	9
1.2	Forschungsziel (FLW + RIF)	9
1.3	Angestrebte Forschungsergebnisse (FLW + RIF)	10
1.4	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse (FLW + RIF)	10
1.5	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels (FLW + RIF)	11
2	Grundlagen.....	18
2.1	Definition und Grundbegriffe der Kommissionierung (FLW)	18
2.2	Allgemeine Systematisierung von Kommissioniersystemen (FLW)	19
2.3	Abgrenzung der manuellen Auftragsweisen Kommissionierung (FLW).....	27
2.4	Prozess der manuellen, auftragsweisen Kommissionierung (FLW)	29
2.5	Artikel – und Auftragsstruktur (FLW)	29
2.6	Kennzahlen zur Bewertung (FLW + RIF)	30
2.6.1	Leistung	31
2.6.2	Qualität	31
2.6.3	Kombination der Bewertungskriterien (Kosten)	34
3	Ablauforganisation für die Kommissionierung mit integrierter Prüfung.....	35
3.1	Kommissionierstrategien (FLW)	35
3.1.1	Wegstrategien	35
3.1.2	Multi-Order-Picking	36
3.1.3	Lagerplatzvergabestrategien	36
3.1.4	Virtuelle Zonen	38
3.1.5	Querverteilung von Bereitstelleneinheiten.....	38
3.1.6	Bereitstellung von TOP-Artikeln an der Basis.....	39
3.2	Prüfstrategien (RIF)	39
3.2.1	Grundlagen von Prüfstrategien	39
3.2.2	Vorstellung und Formalisierung der Prüfung	40
3.2.3	Prüfungsrelevante Prozessketten	47
4	Ableitung von Referenzsystemen	59
4.1	Referenzsysteme zur Untersuchung von Kommissionierstrategien (FLW).....	59
4.2	Referenzsysteme zur Untersuchung von Prüfstrategien (RIF)	64
4.2.1	Eignung der Prüfverfahren zur Integration in den Kommissionierprozess	65

4.2.2	Einsatz- und Kombinationsmöglichkeiten von Prüfverfahren (Darstellung praxisrelevanter Varianten).....	70
5	Untersuchung der Kommissionierstrategien	74
5.1	Vorüberlegungen (FLW)	74
5.2	Entwicklung des Simulationsmodells (FLW).....	74
5.2.1	Modellgenerator	76
5.2.2	Datenbank	78
5.2.3	Überblick über den Simulationsablauf	79
5.2.4	Umsetzung des Order-Batchings.....	82
5.2.5	Prozess „Kommissionierer“	85
5.2.6	Umsetzung der KW-Strategie.....	87
5.2.7	Umsetzung der Stichgang- und Schleifenstrategie	88
5.3	Durchführen von Simulationsexperimenten (FLW).....	91
5.4	Ergebnisse (FLW)	93
5.4.1	Wegzeitbetrachtung einzelner Kommissionierstrategien am Referenzmodell 1	93
5.4.2	Wegzeitbetrachtung bei der Kombination von Kommissionierstrategien am Referenzmodell 1	99
5.4.3	Wegzeitbetrachtung für Kombinationen von Kommissionierstrategien in Abhängigkeit des Systemlayouts.....	102
5.4.4	Auftragsdurchlaufzeiten beim Einsatz von Kommissionierstrategien	105
5.5	Abgeleitete Handlungsempfehlungen zum Einsatz von Kommissionierstrategien (FLW) ..	107
6	Untersuchung der Prüfstrategien	108
6.1	Vorüberlegungen (RIF)	108
6.2	Modellbildung (RIF)	110
6.2.1	Simulationstool ARENA	110
6.2.2	Erstellung von Modulen für die Prozesssimulation mit ARENA	111
6.2.3	Erhebung der simulationsrelevanten Daten	114
6.3	Experimente (Herleitung von Versuchsplänen) (RIF)	119
6.4	Ergebnisse (RIF)	124
6.4.1	Simulationsdatensätze	124
6.4.2	Effekte der Einflussgrößen	127
6.5	Zwischenfazit (RIF).....	137
7	Entwicklung eines Wirkmodells	139
7.1	Wirkmodell Kommissionierstrategien (FLW)	139
7.2	Wirkmodell Prüfstrategien (RIF).....	142

8	Kennzahlbasierter Auswahlalgorithmus	147
8.1	Kennwertbasierter Auswahlalgorithmus für Kommissionierstrategien (FLW)	147
8.2	Kennwertbasierter Auswahlalgorithmus Prüfstrategien (RIF)	150
9	Veröffentlichungen	162
10	Literaturverzeichnis	163

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Zusammenwirken der Arbeitspakete im Projekt.....	12
Abbildung 1-2: Gegenüberstellung der Steuerungsprinzipien „heute“ und „FlexKom“	14
Abbildung 2-1: Grundfunktionen des Materialflusssystems.....	20
Abbildung 2-2: Single-Order-Picking	25
Abbildung 2-3: Multi-Order-Picking	25
Abbildung 2-4: Zonenserielle Kommissionierung.....	26
Abbildung 2-5: Zonenparallele Kommissionierung	26
Abbildung 2-6: Abgrenzung manueller auftragsweiser Kommissionierung.....	28
Abbildung 2-7: Prozess der manuellen, auftragsweisen Kommissionierung	29
Abbildung 2-8: Fehlerarten in der Kommissionierung (vgl. [Lo03])	33
Abbildung 3-1: Strategievorrat.....	35
Abbildung 3-2: Segmentsystem.....	37
Abbildung 3-3: Streifensystem	38
Abbildung 3-4: Mehrzonige Kommissionierung	38
Abbildung 3-5: Eignung Prüfmittel hinsichtlich Prüfmethoden	43
Abbildung 3-6: Prüfverfahren Sichtprüfen	44
Abbildung 3-7: Prüfverfahren Scannen	45
Abbildung 3-8: Prüfverfahren Artikelkennung Sprechen	45
Abbildung 3-9: Prüfverfahren Wiegen	46
Abbildung 3-10: Weitere Faktoren zur Bewertung der Prüfmethoden	47
Abbildung 3-11: Grundlagen-Prozesskette für beleggeführte Kommissionierung	48
Abbildung 3-12: Grundlagen-Prozesskette für Pick-by-Scan.....	50
Abbildung 3-13: Grundlagen-Prozesskette für Pick-by-Light	51
Abbildung 3-14: Grundlagen-Prozesskette für Pick-by-Voice	52
Abbildung 3-15: Varianten der Artikelentnahme.....	54
Abbildung 3-16: Ablegen entnommener Artikel	55
Abbildung 3-17: Varianten der Abgabevorgänge und Endprüfung.....	57
Abbildung 4-1: Parameter Referenzsysteme	60
Abbildung 4-2: Layout Referenzsystem 1.....	60
Abbildung 4-3: Layout Referenzsystem 2.....	60
Abbildung 4-4: Layout Referenzsystem 3 und 4.....	61

Abbildung 4-5: Layout Referenzsystem 5.....	62
Abbildung 4-6: Layout Referenzsystem 6.....	62
Abbildung 4-7: Layout Referenzsystem 7.....	63
Abbildung 4-8: Layout Referenzsystem 8 und 9.....	64
Abbildung 4-9: Eignung von Kommissionierführung und Prüfmitteln.....	68
Abbildung 4-10: Eignung der Prüfmittel für die Entnahme und entlang der Prozesskette	69
Abbildung 4-11: Referenzsystem Pickliste	71
Abbildung 4-12: Referenzsystem Pick-By-Scan	72
Abbildung 4-13: Referenzsystem Pick-By-Light.....	72
Abbildung 4-14: Referenzsystem Pick-By-Voice.....	73
Abbildung 5-1: Komponenten bei der Simulation.....	74
Abbildung 5-2: Schematische Darstellung des Arbeitsflusses.....	76
Abbildung 5-3: Screenshot des Modellgenerators.....	77
Abbildung 5-4: Screenshot vom hinzufügen eines Objektes im Modellgenerator	77
Abbildung 5-5: Anwendungsfalldiagramm für den Modellgenerator.....	78
Abbildung 5-6: Datenbankstruktur.....	79
Abbildung 5-7: Modellierung des Kommissionierlagers in AutoMod	80
Abbildung 5-8: Ablaufdiagramm des Simulationsmodells	81
Abbildung 5-9: Beispiel zum zählen der zusätzlichen Gänge eines Auftrages	84
Abbildung 5-10: Ablaufdiagramm des Order-Batchings	85
Abbildung 5-11: Ablaufdiagramm der Prozedur Kommissionierer	86
Abbildung 5-12: Ablaufdiagramm der Funktion ‚AuftragsListeSortieren_Greedy‘	87
Abbildung 5-13: Beispiel einer Greedy-Sortierung der anzulaufenden Bereitstellenheiten	88
Abbildung 5-14: Ablaufdiagramm der Stichgang- oder Schleifenstrategie.....	90
Abbildung 5-15: Ablaufdiagramm der Funktion "Finde_Weg"	91
Abbildung 5-16: Parametervariation bei den Simulationsexperimenten	92
Abbildung 5-17: Wegzeitvergleich bei unterschiedlichen Wegstrategien	93
Abbildung 5-18: Wegzeitvergleich bei unterschiedlichen Lagerplatzzuordnungen.....	95
Abbildung 5-19: Wegzeitreduzierung durch Multi-Order-Picking	96
Abbildung 5-20: Wegzeitreduzierung bei Virtuellen Zonen.....	97
Abbildung 5-21: Wegzeitreduzierung durch Top10-Artikel an der Basis	98
Abbildung 5-22: Wegzeitvergleich bei Querverteilung von Bereitstellenheiten	98

Abbildung 5-23: Wegstrategien und Lagerplatzzuordnungen	100
Abbildung 5-24: Multi-Order-Picking und Lagerplatzzuordnung	101
Abbildung 5-25: Wegzeitreduktion bei Kombination aller Kommissionierstrategien	102
Abbildung 5-26: Kennlinien der Kommissionierstrategien in den Referenzsystemen 1 bis 4	103
Abbildung 5-27: Kennlinien der Kommissionierstrategien in den Referenzsystemen 5 bis 7	104
Abbildung 5-28: Kennlinien der Kommissionierstrategien in den Referenzsystemen 8 und 9.....	104
Abbildung 5-29: Auftragsdurchlaufzeiten bei Multi-Order-Picking in Referenzsystem 1.....	106
Abbildung 5-30: Kennlinien der Auftragsdurchlaufzeiten.....	106
Abbildung 6-1: Herangehensweise Simulationsvorhaben	109
Abbildung 6-2: Zeitaufschlag bei Fehlerentdeckung.....	114
Abbildung 6-3: Einordnung ausgewählter Prozessbausteinsysteme nach Bonkranz/Landau [BoL06]	115
Abbildung 6-4: Vorgehensweise zur Ermittlung von Fehlhandlungswahrscheinlichkeiten	117
Abbildung 6-5: Hinterlegte Ausführungszeiten.....	118
Abbildung 6-6: Hinterlegte Fehlerauftretenswahrscheinlichkeiten.....	118
Abbildung 6-7: Hinterlegte Fehlerentdeckungswahrscheinlichkeiten	119
Abbildung 6-8: Gesamtversuchsplan.....	123
Abbildung 6-9: Beispiel-Datensatz, Pickliste	125
Abbildung 6-10: Beispiel-Datensatz, Pick-by-Scan	126
Abbildung 6-11: Einfluss Prüfintensität auf Zielgrößen.....	127
Abbildung 6-12: Fehlerdurchschlupf in Abhängigkeit von Prüfintensität und Auftragsstruktur	129
Abbildung 6-13: Kommissionierleistung in Abhängigkeit von Prüfintensität und Auftragsstruktur...	129
Abbildung 6-14: Fehlerdurchschlupf in Abhängigkeit von Prüfintensität und Artikeleigenschaften .	130
Abbildung 6-15: Kommissionierleistung in Abhängigkeit von Prüfintensität und Artikelstruktur.....	131
Abbildung 6-16: Fehlerdurchschlupf in Abhängigkeit von Prüfintensität und Multi-Order-Picking...	132
Abbildung 6-17: Kommissionierleistung in Abh. von Prüfintensität und Multi-Order-Picking	132
Abbildung 6-18: Fehlerdurchschlupf in Abhängigkeit von Prüfintensität und virtueller Zonung	133
Abbildung 6-19: Kommissionierleistung in Abhängigkeit von Prüfintensität und virtueller Zonung..	134
Abbildung 6-20: Vorgehensweise Prüfstrategieauswahl I	135
Abbildung 6-21: Vorgehensweise Prüfstrategieauswahl II.....	136
Abbildung 6-22: Vorgehensweise Prüfstrategieauswahl III.....	137
Abbildung 7-1: Wirkmodell Kommissionierstrategien	139
Abbildung 7-2: Wegstrategien - Einflussgrößen und Einsatzfelder.....	140

Abbildung 7-3: Lagerplatzzuordnung - Einflussgrößen und Einsatzfelder	141
Abbildung 7-4: Multi-Order-Picking - Einflussgrößen und Einsatzfelder	141
Abbildung 7-5: TOP-Artikel an Basis - Einflussgrößen und Einsatzfelder	142
Abbildung 7-6: Querverteilung von bereitstelleinheiten - Einflussgrößen und Einsatzfelder	142
Abbildung 7-7: Wirkmodell zur Prüfstrategieauswahl	143
Abbildung 7-8: Auswirkung der Batchgröße auf die Leistung	145
Abbildung 7-9: Auswirkung der Batchgröße auf die Qualität	145
Abbildung 8-1: Kennzahlbasierter Auswahlalgorithmus für Kommissionierstrategien	149
Abbildung 8-2: Verknüpfung der Teilschritte des Kennzahlbasierten Auswahlalgorithmus	152
Abbildung 8-3: Kennwertbasierte Auswahlalgorithmus	153
Abbildung 8-4: Datensätze	154
Abbildung 8-5: Datensätze sortiert nach Leistung	155
Abbildung 8-6: Datensätze inklusive Leistungsgrenzen	156
Abbildung 8-7: Datensätze inklusive Leistungsgrenze und Qualitätsgrenze.....	158

1 EINLEITUNG

1.1 WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE PROBLEMSTELLUNG (FLW + RIF)

Die große Bedeutung der Kommissionierung lässt sich in vielen industriellen Anwendungen identifizieren. Hier ergibt sich die Forderung, den Prozess der Kommissionierung wirtschaftlich und effizient zu organisieren. Dazu muss bei geringem Ressourceneinsatz eine möglichst große Leistung erzielt werden. Der Leistungsbegriff ist dabei nicht ausschließlich auf die zeitbezogenen Entnahmemengen zu begrenzen, sondern schließt auch den Aspekt der Kommissionierqualität ein, wie zahlreiche Fachbeiträge in Zeitschriften belegen (vgl. u.a. [Cor06]).

Im Fokus dieses Forschungsvorhabens steht die manuelle Kommissionierung, die trotz fortschreitender Mechanisierung der Abläufe immer noch eine große Verbreitung besitzt [Wes01]. Vor allem für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ist der Einsatz manueller Kommissionierung aufgrund geringer Investitionskosten bei ausreichender Leistung wirtschaftlich interessant. Darüber hinaus können diese Kommissioniersysteme bei sich verändernden Einflussgrößen relativ leicht an neue Situationen angepasst werden. Dennoch werden heutzutage solche Umplanungen nur in größeren zeitlichen Intervallen durchgeführt, da die unmittelbare Identifikation konkreter Verbesserungen, sowie alternativer Techniken und Prozesse, oft nicht möglich sind. Das Themenfeld der Forschung bezieht sich neben dem Fokus auf manuelle Systeme auch explizit auf das Prinzip der Auftragsorientierung, dessen Anwendung durch spezifische Kommissionierleistung und Artikelspektren begründet ist. Für das Prinzip der Auftragsorientierung existieren verschiedene alternative Strategien, die jeweils eine besondere Eignung für einen Teil des Anwendungsbereiches mit seinen spezifischen Anforderungen bieten.

1.2 FORSCHUNGSZIEL (FLW + RIF)

Das oberste Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines kennwertbasierten Auswahlalgorithmus für den situationsgerechten Einsatz von Kommissionier- und Prüfstrategien bei der auftragsweisen manuellen Kommissionierung unter Zuhilfenahme der Simulation. Dabei wird vor allem die Veränderung der Strategien im laufenden Betrieb auf Basis der aktuellen Einflussgrößen angestrebt. Insgesamt wird die Flexibilität im Ablauf des Kommissionierprozesses angestrebt, wie es bereits im Titel des Forschungsvorhabens ausgedrückt ist.

Der kennwertbasierte Auswahlalgorithmus soll bei optimierter Kapazitätsauslastung der Ressourcen dynamisch die Auftragssteuerung zwischen verschiedenen Kommissionierstrategien bei sich zeitabhängig verändernder Systemlast variieren. Damit wird die Effizienz des Kommissionierprozesses erhöht, indem flexibel auf Änderungen der Einflussgrößen reagiert wird. Im Hinblick auf den Teilprozess der Prüfung wird durch die situationsgerechte Integration von Prüftätigkeiten eine bessere Kommissionierqualität erreicht, da der Auswahlalgorithmus diejenigen Prüfmaßnahmen in die einzelnen Kommissionierprozesse einführt, die den Zielkonflikt zwischen Kommissionierleistung und -qualität unter Berücksichtigung der aktuellen Einflussgrößen und der aktuell eingesetzten Kommissionierstrategie bestmöglich lösen.

Die Übertragbarkeit in die industrielle Praxis ist durch die Modellierung der Wirkzusammenhänge in einem Simulationsprogramm gewährleistet.

1.3 ANGESTREBTE FORSCHUNGSERGEBNISSE (FLW + RIF)

Das Forschungsprojekt liefert folgende Ergebnisse:

- Identifizierung der dominierenden Einflussgrößen für die manuelle, auftragsweise Kommissionierung
- Formale Beschreibung der Elemente „Kommissioniersystemstrukturen“, „Kommissionierstrategien“, „Prüfstrategien“ und „Systemlast“ als Grundlage für die Systematisierung und Modellierung
- Modellbildung für die Übertragung in die Simulationsumgebung
- Ableitung der Wirkzusammenhänge verschiedener Kombinationen innerhalb des integrierten Systems zur Festlegung von Prüfmaßnahmen
- Ableitung der Wirkzusammenhänge zur Auswahl von Kommissionierstrategien
- Untersuchungen zu den verschiedenen Formen der Aufbauorganisation, Ablauforganisation und Wegstrategien und ihrer Kombination mit Prüfverfahren im Hinblick auf deren Effektivität (zielführende Verfahren) und Effizienz (vertretbarer Aufwand)
- Engpass-Analysen zur Verbesserung von Durchlaufzeiten und weiteren logistischen Zielgrößen für den Kommissionierprozess und sein Systemumfeld
- Verbesserung der Qualität für den Dienstleistungsprozess „Kommissionieren“

Die angestrebten Forschungsergebnisse wurden erreicht. Das erzielte Ergebnis wird im Folgenden dargestellt.

1.4 INNOVATIVER BEITRAG DER ANGESTREBTEN FORSCHUNGSERGEBNISSE (FLW + RIF)

Bislang ist kein kennzahlbasierter Auswahlalgorithmus bekannt bzw. im wissenschaftlichen Rahmen untersucht worden, der eine flexible und dynamisch von der Systemlast abhängige Auswahl der Kommissionier- und Prüfstrategie ermöglicht (vgl. u. a. Literaturanalysen [dKo06] und [GGM06]). Insbesondere wird im vorliegenden Forschungsprojekt die Verbesserung der Kommissionierqualität, also die Verringerung des Fehler-Durchschlupfs, bei gleichzeitiger Erreichung hoher Kommissionierleistung in den Mittelpunkt gestellt.

Innerhalb eines Simulationstools werden Prüfstrategien, Kommissionierstrategien und Systemvorgaben zusammengebracht, um verbesserte Verfahren zur Festlegung des Kommissionierprinzips zu gewinnen. Dies geschieht anhand von ex-ante-Untersuchungen und Simulation. Vorgegebene und zeitlich unabhängige Prüf- und Kommissionierstrategien werden so um die zeitliche Dimension erweitert.

Der Kennwertbasierte Auswahlalgorithmus, der das flexible Vorgehen bei der Kommissionierung und Prüfung festlegt, wird mithilfe von Simulationsexperimenten abgeleitet. Ziel ist es zu identifizieren, welche Kombination von Kommissionierstrategie und Prüfverfahren in Abhängigkeit der Systemlast und im Hinblick auf eine hohe Kommissionierleistung bei gleichzeitig hoher Kommissionierqualität zu wählen ist. Die Interdependenzen zwischen Einflussgrößen, Kommissionierstrategien und Prüfverfahren werden in ein Wirkmodell übertragen. In der Rückübertragung zu realen

Anwendungen wird dieses Wirkmodell in Leitsystemen für die Auswahl von Strategien innerhalb der Kommissionierung eingesetzt werden.

Auf Grundlage dieser Wissensbasis werden zusätzliche Rückschlüsse auf die Optimierung des Kommissioniersystems gezogen, um damit allgemeine Handlungsempfehlungen zu formulieren, die über die Anwendung der flexiblen Strategieauswahl hinaus wirken.

1.5 LÖSUNGSWEG ZUR ERREICHUNG DES FORSCHUNGSZIELS (FLW + RIF)

Nach der Analyse und Formalisierung von Kommissioniersystemstrukturen sowie der dazu gehörigen Systemlasten und Strategien zur Kommissionierung und Prüfung wurden sowohl ein Wirkmodell für den flexiblen Strategieeinsatz als auch Referenzmodelle als Experimentierfeld entwickelt. Mit diesen Modellen wurden schrittweise Erkenntnisse gewonnen, die sich zunächst auf die Wechselwirkungen der Strategien und später mit den Simulationsexperimenten zum flexiblen Wechsel von Prüf- und Kommissioniermethoden auf das Gesamtverhalten beziehen. Im Zuge der Forschungsarbeit hat sich herausgestellt, dass Kommissionier- und Prüfstrategien bis auf wenige Ausnahmen unabhängig voneinander betrachtet werden können. Aus diesem Grund konnten für beide Strategiefelder eigene Simulationsmodelle entwickelt werden. Die weitere Betrachtung von Kommissionierstrategien und Prüfmethode erfolgt nebeneinander. Erst zum Schluss werden beide in einem Gesamtzusammenhang dargestellt.

Das gesamte Vorgehen und dessen Unterteilung in einzelne Arbeitspakete zeigt das folgende Schaubild (vgl. Abbildung 1-1). Anschließend werden die einzelnen Arbeitspakete im Detail vorgestellt.

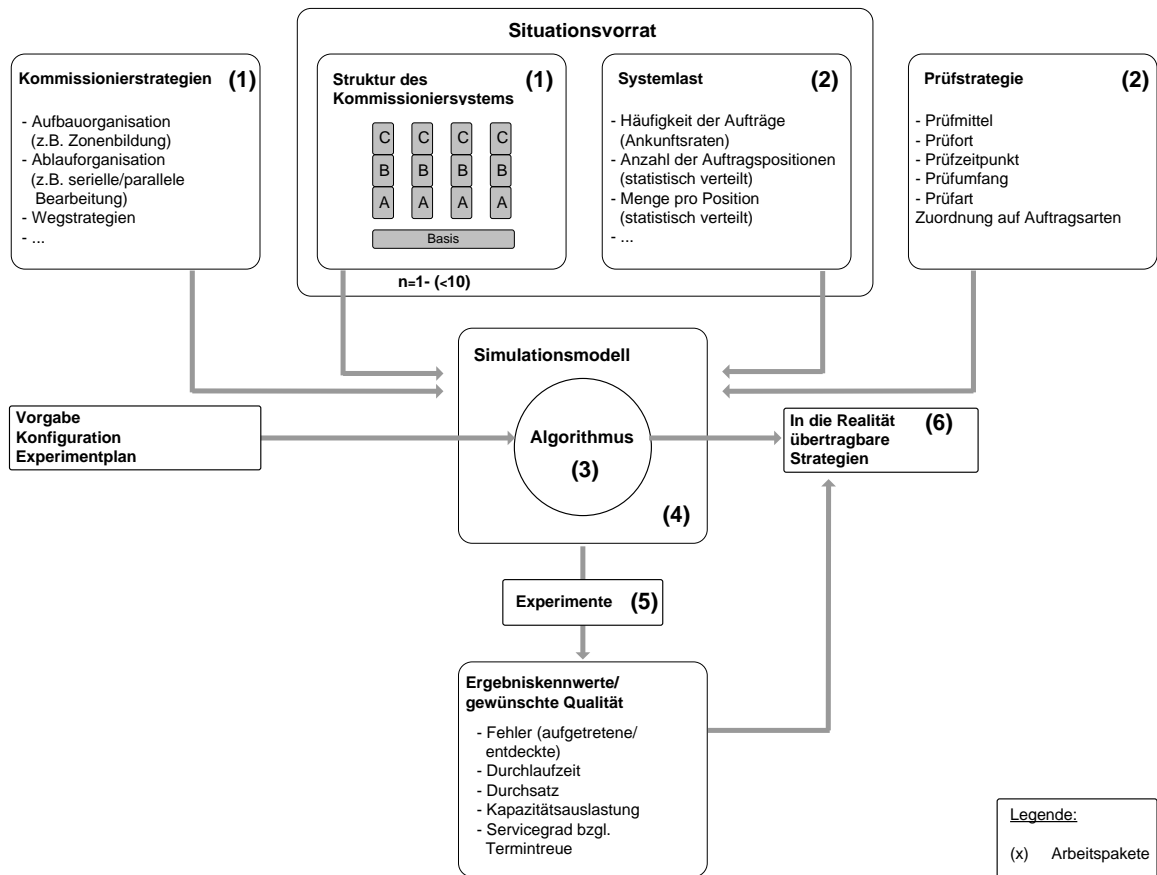


ABBILDUNG 1-1: ZUSAMMENWIRKEN DER ARBEITSPAKETE IM PROJEKT

AP1: Analyse und Formalisierung von Kommissioniersystemstrukturen und –strategien

Erstes Ziel des Arbeitspaketes war ein Abgleich zwischen der Theorie zur Systematisierung von Kommissioniersystemen und den in der Praxis bei den Industriepartnern anzutreffenden Lösungen. Dazu lieferte die vertiefte Recherche und Analyse der Literatur und die Präsentation der Ergebnisse in einem ersten Workshop mit den Industriepartnern einen Beitrag für die Schaffung einer gemeinsamen Bezeichnungsgrundlage. Neben den Begriffen mussten dabei auch Ordnungs- und Beschreibungskategorien festgelegt werden. Darauf aufbauend konnte die empirische Analyse von realen Kommissioniersystemen erfolgen. Langfristiges Ziel war die Festlegung von Prozessen, Strukturen und Systemlastdaten als Grundlage für Referenzmodelle, die in einem weiteren Arbeitspunkt erarbeitet wurden. Die Auswahl geeigneter Systeme erfolgte auf Basis der festgelegten Kategorien gemeinsam mit den Industriepartnern und sollte zu einer möglichst guten Informationsabdeckung für das identifizierte Spektrum unterschiedlicher Systeme im Anwendungsfeld führen. Für jedes System wurde jeweils ein Kurzbericht mit Layout, Strukturen, Abläufen und Kennwerten verfasst. Die Präsentation und Diskussion der Systembeispiele zum Abschluss des Arbeitspaketes lieferten die gemeinsame Grundlage für die weitere Systematisierung und Modellbildung im Rahmen des Forschungsprojekts.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden in Kapitel 2, 3.1, 4.1 vorgestellt.

AP2: Analyse und Formalisierung von Prüfstrategien und Systemlastkennzahlen

Untersuchungen bezüglich der in den Kommissionerprozess zu integrierenden Prüftätigkeiten lagen in grundlegender Form als Ergebnis des AiF-Projekts „Quinkom“ [AiF14368] bereits vor. Zu Beginn des zweiten Arbeitspaketes war daher zu untersuchen, in wie weit sich die vorliegenden Daten adaptieren und auf die in diesem Antrag fokussierten Ausprägungsformen von Kommissioniersystemstrukturen und -strategien übertragen lassen. Im Anschluss an diese theoretische Analyse waren die Eigenschaften des Prüfprozesses für alle übertragenen und neu entwickelten Prüfstrategien zu definieren. Es war die Grundlage für eine systematische Fehlerbetrachtung zu schaffen. Dies schließt die Diskussion der Prüfstrategien, deren Kontrolle auf Anwendbarkeit sowie deren Formalisierung ein, um die spätere Einbindung in das zu erstellende Simulationsmodell zu ermöglichen. Das Ergebnis dieses Prozesses war eine formalisierte Sammlung der relevanten technischen Maßnahmen zur Fehlervermeidung, zur Fehleridentifikation und zur Fehlerbehebung. Des Weiteren war der Zielkonflikt zwischen dem Durchschlupf-Risiko, welches in Form von Fehlerentdeckungswahrscheinlichkeiten vorliegt, und der Prüfdauer, die die Kommissionierleistung beeinflusst, formal zu beschreiben.

Im Zusammenhang mit den empirischen Systemanalysen wurde auch ein Kennfeld der Systemlast entwickelt, das die typischen Ausprägungen für die dominierenden Einzelkennwerte der Systemlast (Artikelsortiment und Auftragsstruktur) zusammenfasst und für die Simulationsexperimente aufbereitet.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden in Kapitel 2.5, 3.2, 5.3, 6.3 vorgestellt.

AP3: Integration der Formalisierung mit der Systemlast zu einem ersten Wirkmodell

Als Kernkomponente für das zu erstellende Simulationssystem sollte ein „Algorithmus“ entworfen werden, welcher die Kommissionierstrategien mit integrierter Prüfung in Abhängigkeit von Einflussgrößen festlegt. Hierzu wurden in diesem Arbeitspaket die formalisierten Beschreibungen der Kommissioniersystemstrukturen, der Kommissionierstrategien und der Prüfstrategien, soweit erforderlich, miteinander verknüpft. Unter Berücksichtigung der im vorherigen Schritt erarbeiteten Kennzahlen der Systemlast wurden so erste Wirkmodelle für Kommissionier- und Prüfstrategien entwickelt. Dabei spiegeln diese Modelle die Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen der Systemlast und einer bestimmten Kommissioniersystemstruktur wider. Diese Wirkmodelle wurden in späteren Arbeitspaketen mit Hilfe der Simulation auf weitere Einflussgrößen hin untersucht, welche sich durch spezielle Systemzustände während des Betriebs bzw. der Simulation ergeben.

Weiterhin wurden mithilfe der Wirkmodelle wichtige Zielgrößen des Systems identifiziert. Der Gesamtzielsetzung gemäß sollten mehrere (Ausgangs-) Zielgrößen gleichzeitig fokussiert werden, mit deren Hilfe die Leistung und die Qualität des Gesamtsystems gemessen und bewertet werden kann.

Während die typischen System-Kenngrößen Durchlaufzeit und Durchsatz üblicherweise positiv korrelieren, ergab sich bspw. beim Vergleich von Fehlerentdeckungsraten und Leistung eine negative Korrelation.

Die entwickelten Wirkmodelle gaben erste Anhaltspunkte dazu, wie die Steuerungsebene für die Abläufe in Kommissioniersystemen zu verändern ist, um das Ziel „Flexibilität“ zu erreichen. In Abbildung 1-2 ist dazu eine Gegenüberstellung des aktuellen und des angestrebten Steuerungsprinzips abgebildet, das aus dem Strategievorrat für die Kommissionierung und die Prüfung aufgrund aktueller Systemkenngrößen auswählt.

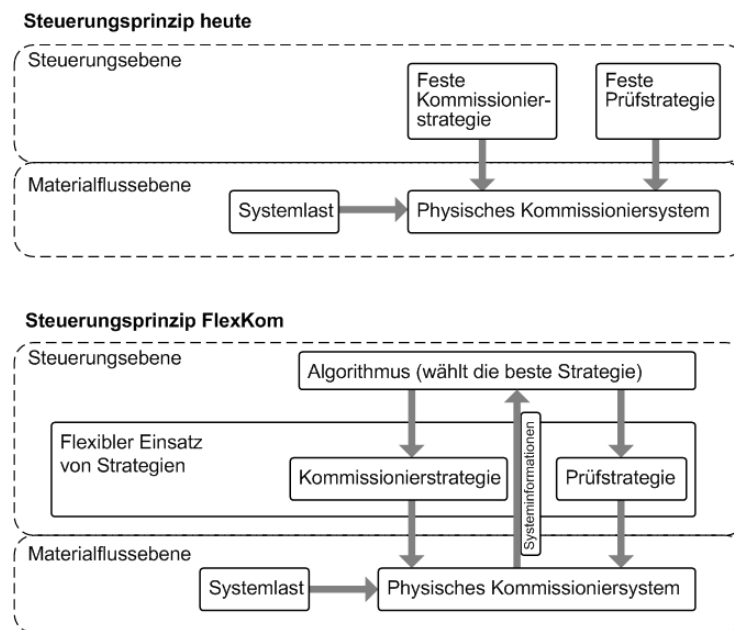


ABBILDUNG 1-2: GEGENÜBERSTELLUNG DER STEUERUNGSPRINZIPIEN „HEUTE“ UND „FLEXKOM“

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden in Kapitel 7 vorgestellt.

AP4: Erstellen von Referenzmodellen mit Hilfe der Simulation

Für die Untersuchung von Kommissionier- und Prüfstrategien wurden eigene Simulationsmodelle entwickelt und abgeleitete Referenzsysteme darin implementiert.

Für die Analyse von Kommissionierstrategien wurde die ereignisdiskrete Simulation verwendet. Mit Hilfe der Codegenerierung wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches flexibel parametrierbar ist. Vor einem Simulationslauf können verschiedene Parameter verändert werden, um in dem jeweiligen Referenzmodell unterschiedliche Ausprägungen der zu untersuchenden Systeme abzubilden. Zu den veränderbaren Parametern gehören bspw. die Dimensionierung der Regalmodule und Quergänge, die Lagerplatzzuordnung und auch die Systemlast.

Neben dem Aspekt einer generischen Modellbildung war bei der Entwicklung der Simulationsmodelle für Kommissionier- und Prüfstrategien die flexible und dynamische Anpassung der Strategien an

variiende Einflussgrößen während der Laufzeit als besondere Herausforderung anzusehen. Im Simulationsmodell für Kommissionierstrategien ist dazu bspw. ein dynamischer Wechsel zwischen Wegstrategien, Batchbildung und Zonung erforderlich gewesen. Auch die Zonengrenzen wurden flexibel und änderbar gestaltet. Der in den Simulationsmodellen hinterlegte Strategievorrat berücksichtigt dabei die verschiedenen Formen der Aufbau- und Ablauforganisation.

Die veränderbare Systemlast im Sinn eines generischen Simulationsmodells wird von einem Auftragsgenerator erzeugt, der das in AP2 entwickelte Systemlastkennfeld umsetzt. Im Auftragsgenerator können verschiedene Parameter durch Benutzervorgaben eingestellt werden, bspw. die Häufigkeit der Aufträge (Ankunftsrate), die Anzahl der Auftragspositionen (statistisch verteilt) oder die Mengen pro Position (statistisch verteilt). Damit setzt das Simulationsmodell die gewünschte Lastausprägung mit geeigneter statistischer Variationsausprägung und unabhängigen Zufallszahlen für die Experimente mit dem angepassten Referenzmodell eines Kommissioniersystems um.

Im vorherigen Arbeitspaket wurden erste Wirkmodelle für Kommissionier- und Prüfstrategien entwickelt. Darauf aufbauend wurde im Rahmen von Simulationsexperimenten an Referenzsystemen die Ausprägung der einzelnen Wirkzusammenhänge untersucht und das Wirkmodell angepasst.

Die Validierung der Ergebnisse, die die Referenzsysteme liefern, erfolgte durch den Vergleich mit realen Systemen der beteiligten Industriepartner. Der Vergleich zwischen realen und simulierten Leistungskennwerten gab Aufschluss darüber, ob reale Systeme durch das Simulationsmodell mit einer Genauigkeit abgebildet werden können, die hinreichend für die in Arbeitspaket 5 durchzuführenden Simulationsexperimente ist.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden in Kapitel 5.2, 6.2 vorgestellt.

AP5: Simulationsexperimente und Auswertung der Ergebnisse

Erste Ziele dieses Arbeitspaketes waren die Entwicklung eines Versuchsplans und die anschließende Durchführung von Simulationsexperimenten. Dazu wurden zunächst Szenarien entworfen, die Variationen der entscheidenden Parameter enthalten und die den Versuchsraum des entwickelten Modells weitgehend umfassen.

Darüber hinaus wurden Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren identifiziert. Beides ermöglichte die Bildung einer Rangfolge für Einflussgrößen. Aus den theoretischen Untersuchungen in den ersten Schritten ließen sich Erkenntnisse über geeignete Kombinationsmöglichkeiten gewinnen, die außerdem eine erste Verfeinerung der Parametrierung des Wirkmodells (Algorithmus) zuließen.

Die dargestellte Vorgehensweise zur Identifikation von Einflüssen auf Ergebniskennwerte und Wechselwirkungen untereinander wurde iterativ angewendet, bis eine Stabilität der Ergebnisse auch nach erfolgten Anpassungen des Wirkmodells festgestellt werden konnte.

Mit dem angepassten Simulationsmodell wurden weitere Experimente durchgeführt und die jeweiligen Ergebniskennwerte gesammelt (Referenzszenario), um im Weiteren die Abhängigkeiten der Ergebnisse von den Eingabegrößen und die Einflüsse der Eingabegrößen untereinander so aufzubereiten, dass Zusammenhänge in einem erweiterten abstrakten Wirkmodell graphisch dargestellt werden konnten.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden in Kapitel 5.3, 5.4, 6.3, 6.4 vorgestellt.

AP6: Evaluation der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Nachdem mit Hilfe der Simulationsexperimente ein kennzahlbasierter Algorithmus entwickelt worden ist, wurde in diesem Arbeitspaket zunächst seine Übertragbarkeit auf das gesamte Untersuchungsfeld überprüft. Das entwickelte Wirkmodell mit Strategien wurde dazu losgelöst von den Referenzmodellen bewertet, indem seine Anwendbarkeit über die in Arbeitspaket 1 beschriebenen realen Vergleichsmodelle hinaus untersucht wurden.

Zur Formulierung von allgemeinen Handlungsempfehlungen wurde zunächst eine „Sensitivitätsanalyse“ der Kennzahlen des Wirkmodells durchgeführt, in deren Rahmen die Auswirkungen der Einflussgrößen auf die Zielgrößen analysiert wurden. Es wurde untersucht, in welcher Intensität sich die oben beschriebenen Korrelationen zwischen einzelnen Kennzahlen im Ergebnis ergaben. Mit Hilfe der dabei gewonnenen Erkenntnisse über einzelne Abhängigkeiten der Kenngrößen wurde geprüft, welche allgemeinen Strategien sich zusätzlich ableiten lassen. Hierzu wurden die protokollierten detaillierten Verlaufsdaten der Simulationsexperimente einer umfangreichen statistischen Analyse unterzogen.

Die als Ergebnis formulierten Handlungsempfehlungen wurden gemeinsam mit den Industriepartnern in deren Systeme zurückgespiegelt. Auf diese Weise konnten das Wirkmodell und insbesondere die Zielgrößen auf ihre Aussagekraft und Übertragbarkeit untersucht werden. Abschließend wurde analysiert, ob die Anwendung der neuen Strategien im realen System erfolgen kann und in welchem Umfang Änderungen im Aufbau und in den Abläufen der Kommissionierung notwendig werden.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter in Vollzeit beschäftigt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden in Kapitel 8 vorgestellt.

AP7: Dokumentation der Ergebnisse

Der im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelte kennzahlbasierte Algorithmus zur Auswahl von Kommissionierstrategien mit integrierter Prüfung wurde im letzten Arbeitspaket abschließend ausführlich dokumentiert. Bereits während der Projektdurchführung wurden die gewonnenen Erkenntnisse und die gesammelten Ergebnisse laufend dokumentiert. Der Endbericht strukturiert diese Ergebnisse und stellt sie den Industriepartnern und weiteren interessierten Personen in

ausformulierter Form zur Verfügung. Zusätzlich wurden Veröffentlichungen und Präsentationen der Projektergebnisse, bereits auch zur Laufzeit, durchgeführt (siehe auch Kapitel 10).

2 GRUNDLAGEN

Im Fokus des Forschungsvorhabens steht die manuelle auftragsweise Kommissionierung. Im Rahmen dieses Kapitels werden Definitionen und Grundbegriffe der Kommissionierung vorgestellt. Im Anschluss werden Formen und Strukturen von Kommissioniersystemen beschrieben und die manuelle auftragsweise Kommissionierung gegenüber anderen Ausprägungsformen der Kommissionierung abgegrenzt.

2.1 DEFINITION UND GRUNDBEGRIFFE DER KOMMISSIONIERUNG (FLW)

In der VDI Richtlinie VDI 3590 Blatt 1 wird der Vorgang des Kommissionierens wie folgt definiert:

Kommissionieren hat das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen (Artikel) aufgrund von Anforderungen (Aufträge) zusammen zu stellen.

Die Kommissionierung umfasst damit die Zusammenstellung von Artikeln für einen internen oder externen (Kunden-)Auftrag. Dabei werden Teilmengen aus bereitgestellten Artikelmenen einzelner Artikel entnommen und zusammengeführt. Die Kommissionierung nimmt im Bereich der Intralogistik eine zentrale Funktion ein, da die Auflösung von Bestandsmengen zu anforderungsgerechten Bedarfsmengen wesentlicher Bestandteil von Prozessen in der Distribution und Produktion ist. Darüber hinaus stellt sie die personalkostenintensivste Aufgabe der innerbetrieblichen Logistik dar, da die Vereinzelung und Handhabung von Artikeln mit unterschiedlichsten Eigenschaften oft die hohen sensomotorischen Fähigkeiten des Menschen verlangen. Daraus folgt unmittelbar die Notwendigkeit, die manuellen Prozesse der Kommissionierung optimal zu gestalten.

Um ein einheitliches Verständnis für die Terminologie der Kommissionierung zu schaffen, sollen die Grundbegriffe an dieser Stelle erläutert werden.

Grundsätzlich muss zwischen Kunden- und Kommissionieraufträgen differenziert werden. Ein Kundenauftrag ist stets genau einem Kunden zugeordnet, während ein Kommissionierauftrag aus mehreren kompletten Kundenaufträgen oder auch aus Teilmengen von Kundenaufträgen zusammengesetzt sein kann. Jeder Kommissionierauftrag umfasst eine oder mehrere Positionen. Als Positionen werden die zu kommissionierenden Artikel bezeichnet. Hinter jeder Position wiederum können sich mehrere Entnahmeeinheiten verbergen. Die Entnahmeeinheit stellt das kleinste Gebinde dar, das von einem Artikel entnommen werden kann. Als Pick wird im Allgemeinen ein einzelner Entnahmevorgang bezeichnet, bei dem allerdings auch gleichzeitig mehrere Entnahmeeinheiten gegriffen werden können, sofern es sich um Kleinteile handelt. In der Regel werden in einem Kommissionierbereich von jedem Artikel mehrere Entnahmeeinheiten vorgehalten. Die Gesamtheit aller Entnahmeeinheiten eines Artikels wird als Bereitstelleinheit bezeichnet. Unter einer Bereitstelleinheit versteht man folglich eine Einheit, mit der dem Kommissionierer die Artikel-Einheiten zur Entnahme angeboten werden. Entnommene Entnahmeeinheiten führt der Kommissionierer in einer Sammeleinheit bzw. Kommissioniereinheit zusammen. Bei einer Sammeleinheit handelt es sich häufig um einen Karton, Behälter oder eine Palette. Wenn ein Kommissionierauftrag mehrere Kundenaufträge umfasst, werden bei einer (kunden-)auftragsweisen Kommissionierung mehrere Sammeleinheiten bereitgestellt bzw. von dem Kommissionierer mitgeführt.

2.2 ALLGEMEINE SYSTEMATISIERUNG VON KOMMISSIONIERSYSTEMEN (FLW)

Eine Systematisierung von Kommissioniersystemen liefert die VDI Richtlinie 3590 Blatt 2. Hier werden die Systembereiche Materialflusssystem, Organisationssystem und Informationsflusssystem betrachtet.

Materialflusssystem

Das Materialflusssystem beschreibt zum einen, wie Kommissionierer und Artikel zur Durchführung der Vereinzelnung aus einer Bereitstellereinheit räumlich und zeitlich zusammengeführt werden und zum anderen in welcher Form die einzelnen Entnahmeeinheiten bzw. Sammeleinheiten weiter gefördert werden. Die Kommissionierung setzt sich aus folgenden materialflusstechnischen Grundfunktionen zusammen (vgl. [tHSN07]):

1. Transport der Güter zur Bereitstellung
2. Bereitstellung
3. Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung
4. Entnahme der Güter durch den Kommissionierer
5. Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe
6. Abgabe der Entnahmeeinheit
7. Transport der Kommissioniereinheit/Sammeleinheit zur Abgabe
8. Abgabe der Kommissioniereinheit
9. Rücktransport der angebrochenen Ladeinheit

Der morphologische Kasten in Abbildung 2-1 (nach [tHSN07]) zeigt Realisierungsmöglichkeiten innerhalb der genannten Grundfunktionen. Die Kombination der Realisierungsmöglichkeiten über alle Grundfunktionen liefert Lösungen für das Materialflusssystem einer Kommissionierung.

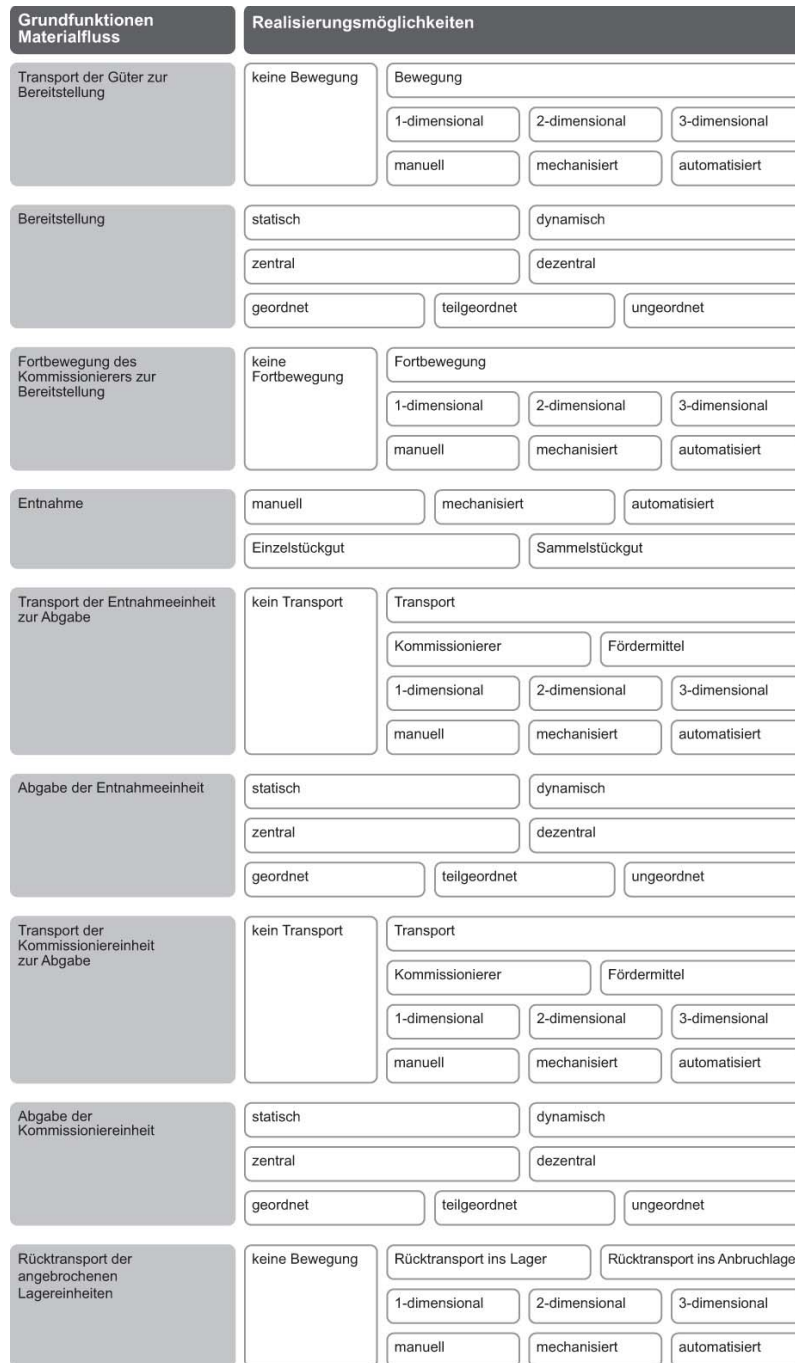


ABBILDUNG 2-1: GRUNDFUNKTIONEN DES MATERIALFLUSSSYSTEMS

1. Transport der Güter zur Bereitstellung

Sofern das Kommissioniersystem (Bereitstellungssystem) und das Lagersystem (Nachschubsystem) räumlich voneinander getrennt sind, müssen Teilmengen des Lagerbestands eines Artikels aus dem Nachschubsystem dem Bereitstellungssystem zugeführt werden. Dafür ist eine Bewegung der Güter erforderlich. Die Bewegung kann dabei ein-, zwei- oder dreidimensional sowie manuell, mechanisiert oder automatisiert erfolgen. Wird die Bewegung aus dem Lagersystem in das Kommissioniersystem ebenerdig durchgeführt, liegt eine eindimensionale Bewegung vor. Im Vergleich zu der eindimensionalen Bewegung, erfolgt bei der zweidimensionalen zusätzlich eine Bewegung in vertikaler Richtung. Dazu werden beispielsweise Gabelstapler oder Regalbediengeräte eingesetzt, um

Lagereinheiten aus einem höher gelegenen Lagerfach einer Regalwand auszulagern. Eine dreidimensionale Bewegung kann mittels Kran realisiert werden. Ein rein manueller Transport von Gütern zur Bereitstellung ist in der Praxis selten vorzufinden. Ein manueller Transport läge vor, wenn eine Person die Güter aus dem Nachschubsystem in das Kommissioniersystem tragen würde. In der Regel erfolgt der Transport mechanisiert mithilfe menschlich gesteuerter Fördermittel, wie zum Beispiel Gabelstapler, oder automatisiert, wobei hier ein Materialflussrechner den Prozess steuert.

Entspricht das Nachschubsystem dem Bereitstellensystem, erfolgt die Kommissionierung direkt von der Lagereinheit, so dass eine Umlagerung von Teilmengen der Lagereinheit in das Bereitstellensystem nicht erforderlich ist. In diesem Fall stellt die Lagereinheit gleichzeitig auch die Bereitstellungseinheit dar.

2. Bereitstellung

Mithilfe der Unterscheidung zwischen statischer und dynamischer Bereitstellung wird festgelegt, ob die Bereitstellungseinheit zur Durchführung einer Entnahme fördertechnisch bewegt werden muss. Bei statischer Bereitstellung verbleibt die Bereitstellungseinheit an einem festen Ort. Bei dynamischer Bereitstellung wird die Bereitstellungseinheit dagegen für jeden Entnahmevorgang zum Entnahmestandort befördert, um anschließend nach erfolgter Entnahme rückgelagert zu werden. Zentrale und dezentrale Bereitstellung umschreibt den Ort, an dem die Entnahme durchgeführt wird. Bei der zentralen Bereitstellung erfolgt die Entnahme an einem räumlich festen Punkt, an dem die Bereitstellungseinheiten in der Regel sequentiell angedient werden. Bei dezentraler Bereitstellung erfolgen die Entnahmen an verschiedenen Orten, zu denen sich der Kommissionierer bewegen muss. In der Literatur aber auch in der betrieblichen Praxis werden als Art der Bereitstellung die beiden Prinzipien „Person zur Ware“ (PzW) und „Ware zur Person“ (WzP) unterschieden und oft mit den Bereitstellungsformen statische bzw. dynamische Bereitstellung gleichgesetzt. Dabei ist zu beachten, dass die statische Bereitstellung nicht zwangsläufig eine Bewegung des Kommissionierers zur Ware voraussetzt, sondern auch zentral erfolgen kann. Dies gilt insbesondere für ein Kommissioniernest bzw. eine Kommissionierzelle, bei der der Kommissionierer Entnahmeeinheiten aus statisch bereitstehenden Bereitstellungseinheiten greift, sich jedoch zwischen den einzelnen Bereitstellungseinheiten nicht fortbewegen muss, da diese in unmittelbarer Nähe zum Standort des Kommissionierers und in Armreichweite, oft im Halbkreis oder einer U-Anordnung um den Kommissionierer, vorgehalten werden. Bei dem „Person zur Ware“ Prinzip handelt es sich folglich um eine statisch-dezentrale Bereitstellung. Ein typisches Realisierungsbeispiel des „Person zur Ware“ Prinzips in der Praxis stellt eine Fachbodenregalanlage dar. Dabei erfolgt die Bereitstellung in einem Fachbodenregal. Der Kommissionierer bewegt sich entlang der Regalfront und entnimmt entsprechend der Auftragsinformationen die geforderten Artikel. Üblicherweise muss der Kommissionierer mehrere Gassen durchlaufen, bis er alle Auftragspositionen eingesammelt hat. Eine dynamisch-dezentrale Bereitstellung liegt dann vor, wenn die Bereitstellungseinheiten aus einem Lagerbereich fördertechnisch zum Ort der Entnahme transportiert werden müssen, es sich allerdings nicht um einen fixen Ort handelt, sondern um mehrere Orte. Ein typisches Realisierungsbeispiel für eine dynamisch-dezentrale Bereitstellung ist ein Automatisches Kleinteilelager AKL mit seitlicher Regalfront. Die Bereitstellungseinheiten werden aus dem AKL ausgelagert und in Bereitstellungsplätze in bodennahen Regalebenen eingelagert, so dass auf der Rückseite der Regalwand auf die Bereitstellungseinheiten zugegriffen werden kann. Dabei fährt das Regalbediengerät des AKLs verschiedene Plätze an, so dass sich der Kommissionierer wie im Fall des Fachbodenregals vor der Regalzeile bewegen muss. Bei dem „Ware zur Person“ Prinzip handelt es sich dagegen um eine dynamisch-zentrale Bereitstellung. Die

Bereitstelleinheiten lagern oftmals in einem automatisierten Lagersystem und müssen zur Entnahme zu einem zentralen Übergabepunkt befördert werden. Bei den Bereitstelleinheiten handelt es sich in der Regel um die Lagereinheiten. Die Lagereinheiten werden nach der Abgabe am Übergabeplatz zumeist über eine Stetigfördertechnik zum Kommissionierplatz transportiert und nach der Entnahme durch den Kommissionierer wieder eingelagert.

Des Weiteren wird die Ordnung der bereitgestellten Güter unterschieden. Der Ordnungszustand der bereitgestellten Güter trifft eine Aussage über den erreichbaren Automatisierungsgrad bei der Entnahme. Mit steigendem Ordnungszustand der Einheiten lässt sich ein höherer Automatisierungsgrad realisieren.

3. Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung

Die Bewegung kann ein-, zwei- oder dreidimensional erfolgen. Die eindimensionale Bewegung setzt voraus, dass sich der Kommissionierer in der horizontalen Ebene fortbewegt. Bei der zweidimensionalen Bewegung erfolgt zusätzlich eine vertikale Bewegung. Ein Beispiel für die zweidimensionale Bewegung stellt die Kommissionierung an einer Regalfront mittels Man-up Kommissionierstaplern dar. Die dreidimensionale Fortbewegung kann mithilfe eines Krans realisiert werden, findet im Bereich der Kommissionierung allerdings keine praktische Relevanz.

Darüber hinaus wird zwischen manueller, mechanisierter und automatisierter Fortbewegung differenziert. Bewegt sich der Kommissionierer zu Fuß, liegt eine manuelle Bewegung vor. Von mechanisierter Fortbewegung wird gesprochen, wenn der Kommissionierer sich mithilfe eines Förderzeugs fortbewegt, die Steuerung des Geräts jedoch selbst übernimmt. Bei der automatisierten Fortbewegung nutzt der Kommissionierer auch ein Förderzeug, kann aber keinen Einfluss auf die Steuerung nehmen. Die Aktivität des Kommissionierers beschränkt sich damit auf den reinen Entnahme- und Abgabevorgang.

Eine Fortbewegung des Kommissionierers ist nicht erforderlich, wenn die Bereitstelleinheiten in direkter Greifweite des Kommissionierers bereitstehen und er folglich an einem festen Platz arbeitet.

4. Entnahme der Güter durch den Kommissionierer

Auch bei der Entnahme wird zwischen manueller, mechanisierter und automatisierter Entnahme unterschieden. Trotz fortschreitender Automatisierung im Bereich der Kommissionierung ist die manuelle Entnahme von Hand am weitesten verbreitet. Das liegt daran, dass eine Vielzahl von Gütern aufgrund ihrer Form und Beschaffenheit nicht automatisiert gehandhabt werden kann. Dazu gehören vor allem nicht formfeste Güter wie Beutel, zerbrechliche Teile wie Flaschen oder als Schüttgut bereitgestellte Kleinteile, deren Vereinzelung mit hohem sensorischen Aufwand verbunden ist. Lediglich bei homogenen Artikelspektren mit kubischen Formen und geringer Abmessungsvarianz lässt sich heute eine automatisierte Kommissionierung realisieren. Beispiele hierfür sind Kommissionierroboter und Schachtkommissionierer. Bei schweren oder unhandlichen Gütern kann die manuelle Entnahme durch mechanisierte Hilfsmittel unterstützt werden.

Sofern die Entnahmeeinheiten zu Sammelstückgütern zusammengefasst sind, kann der Kommissionierer das Sammelstückgut aufnehmen oder dieses aufbrechen, um Einzelstückgüter zu entnehmen.

5. Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe

In der Regel erübrigt sich der Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe, da der Kommissionierer die Sammeleinheit mit sich führt oder diese ihm in unmittelbarer Nähe angedient wird. Dabei erfolgen Entnahme und Abgabe am selben Ort. Werden diese beiden Prozesse jedoch räumlich getrennt voneinander durchgeführt, ist ein Transport der Entnahmeeinheiten zur Abgabe erforderlich. Der Transport kann grundsätzlich durch den Kommissionierer zu Fuß oder mithilfe von Stetig- oder Unstetigfördertechnik erfolgen. Des Weiteren werden die Dimension der Bewegung sowie der Automatisierungsgrad der Bewegung unterschieden. Da die beides bereits zuvor erläutert worden ist, soll an dieser Stelle nicht mehr darauf eingegangen werden.

6. Abgabe der Entnahmeeinheit

Auch bei der Abgabe von Entnahmeeinheiten wird zwischen statischer und dynamischer sowie zwischen zentraler und dezentraler Abgabe unterschieden. Eine statische Abgabe liegt vor, wenn die Entnahmeeinheiten in eine im Moment der Abgabe fördertechnisch unbewegte Sammel- bzw. Kommissioniereinheit gelegt werden. Wird die Entnahmeeinheiten dagegen auf einen Stetigförderer abgegeben, spricht man von dynamischer Abgabe. Zentrale und dezentrale Abgabe umschreiben analog zur Bereitstellung den Ort, an dem die Abgabe durchgeführt wird. Wenn der Kommissionierer eine Sammeleinheit mit sich führt und die Abgabe an unterschiedlichen Orten erfolgt, liegt eine dezentrale Abgabe vor. Wenn die Abgabe jedoch an einem festen Ort erfolgt, liegt eine zentrale Abgabe vor.

Durch die Kombination der genannten Abgabeformen lassen sich vier Arten der Abgabe von Entnahmeeinheiten unterscheiden. Bei der statisch-dezentralen Abgabe, auch als Pick-to-Box Kommissionierung bezeichnet, legt der Kommissionierer die Entnahmeeinheiten in einen mitgeführten Kommissionierbehälter ab. Zusammen mit dem Behälter bewegt sich der Kommissionierer zwischen den Entnahmeorten. Eine dynamisch-dezentrale Abgabe liegt vor, wenn der Kommissionierer keine Sammeleinheit mit sich führt, sondern die entnommenen Einheiten direkt auf eine Stetigfördertechnik abgibt. Die statisch-zentrale sowie dynamisch-zentrale Abgabe ist in „Ware zur Person“ Systemen wiederzufinden. Bei statisch-zentraler Abgabe werden die Entnahmeeinheiten in eine Sammeleinheit abgegeben, die direkt am zentralen Entnahmeort bereitgestellt wird, während bei der dynamisch-zentralen Abgabe auf einen Stetigförderer abgegeben wird.

Des Weiteren wird die Ordnung der abgegebenen Güter unterschieden. Der Ordnungszustand der abgegebenen Güter trifft eine Aussage über den erreichbaren Automatisierungsgrad bei dem weiteren Handhabung nach der Abgabe. Mit steigendem Ordnungszustand der Einheiten lässt sich ein höherer Automatisierungsgrad realisieren.

7. Transport der Kommissioniereinheit/Sammeleinheit zur Abgabe

Nachdem alle Positionen eines Kommissionierauftrags in die Sammeleinheit abgegeben worden sind, muss die Sammeleinheit abgegeben werden. Erfolgt dies an einer zentralen Kommissionierbasis, muss der Kommissionierer die Sammeleinheit dort hin transportieren. Besteht die Möglichkeit, die Sammeleinheit im Kommissionierbereich an eine Fördertechnik abzugeben, muss der Kommissionierer nicht zur Basis zurückkehren. Der Transport wird durch ein Fördermittel

durchgeführt. Ein Transport der Sammeleinheit zur Abgabe entfällt, wenn die Kommissionierung direkt an der Basis erfolgt. Des Weiteren wird wie bei den anderen Transportvorgängen zwischen ein-, zwei- und dreidimensionalem Transport sowie manuellem, mechanisierten und automatisierten Transport unterschieden.

8. Abgabe der Kommissioniereinheit

Wie bei der Abgabe der Entnahmeeinheit wird auch bei der Abgabe der Kommissioniereinheit zwischen statischer und dynamischer sowie zentraler und dezentraler Abgabe differenziert. Bei statischer Abgabe wird die Kommissioniereinheit an einer Basis abgegeben und nachfolgend nicht weiter fördertechisch bewegt. Wird die Kommissioniereinheit dagegen auf ein Fördermittel abgegeben, liegt eine dynamische Abgabe vor. Wenn zur Abgabe der Kommissioniereinheit immer ein fester Ort angelaufen werden muss, erfolgt die Abgabe zentral. Wird die Kommissioniereinheit dagegen an mehreren Orten abgegeben, liegt eine dezentrale Abgabe vor.

9. Rücktransport der angebrochenen Ladeinheit

Bei der dynamischen Bereitstellung erfolgt die Entnahme an einem räumlich festen Punkt, an dem die Bereitstellereinheiten in der Regel sequentiell angedient werden. Nach der Entnahme muss die Ladeinheit rückgelagert werden. Dies kann wiederum ein-, zwei- und dreidimensional sowie manuell, mechanisiert und automatisiert erfolgen. Bei statischer Bereitstellung erübrigt sich der Rücktransport der Ladeinheit. Der bereitgestellte Bestand verbleibt am Bereitstellungsort, bis er verbraucht wurde.

Organisationssystem

Die Organisationsform umfasst die Struktur und die Abläufe innerhalb des Kommissioniersystems. Die Aufbauorganisation beschreibt das Layout und die Anordnung der Lagerbereiche, während die Ablauforganisation die Abwicklung des Kommissionierprozesses beschreibt.

Im Fokus der Aufbauorganisation steht die Auswahl geeigneter Bereitstellungssysteme für Artikel mit unterschiedlichen Eigenschaften wie beispielsweise Gewicht, Abmessungen und Zugriffshäufigkeit. In der Regel werden mehrere Bereitstellungssysteme nebeneinander eingesetzt, so dass das Kommissioniersystem in mehrere Zonen untergliedert wird. Aber auch innerhalb einer Zone kann eine Zonung, bspw. nach der Zugriffshäufigkeit von Artikeln, durchgeführt werden.

Im Vordergrund der Ablauforganisation steht die Reduzierung der Wegzeit durch die Wahl eines geeigneten Prozesses. Im einfachsten Fall wird ein Kundenauftrag direkt in einen Kommissionierauftrag überführt und durch einen einzigen Kommissionierer bearbeitet, der den Auftrag vollständig bearbeitet (vgl. Abbildung 2-2).

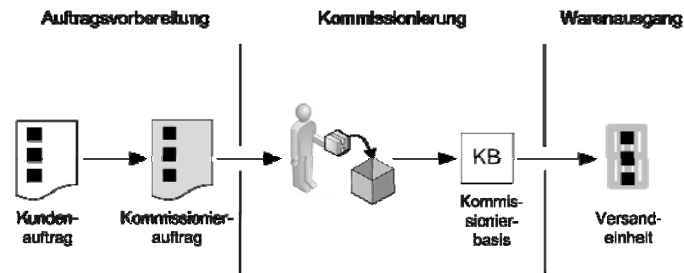


ABBILDUNG 2-2: SINGLE-ORDER-PICKING

Diese Form der Ablauforganisation wird auch als Single-Order-Picking bezeichnet und ist durch einen geringen Aufwand zur Vorbereitung des Kommissionierauftrags gekennzeichnet, führt aber zu ineffizienten Kommissionierwegen bei Aufträgen mit wenigen Positionen. Damit wird diese Form nur eingesetzt, wenn der Kundenauftrag die Transportkapazität des Kommissionierers ausschöpft. Ist dies nicht der Fall, bietet es sich an, mehrere Kundenaufträge zu einem Kommissionierauftrag zusammenzufassen (vgl. Abbildung 2-3), um die Entnahmepunktdichte zu steigern und den Kommissionierweg zwischen zwei Positionen zu verkürzen. Dieses Prinzip wird auch als auftragsparalleles Kommissionieren oder Multi-Order-Picking bezeichnet.

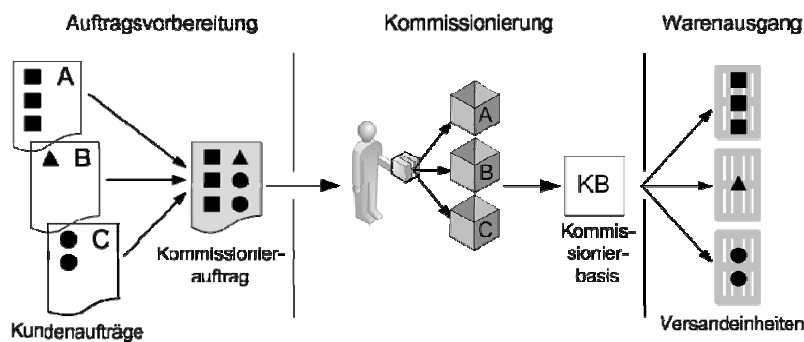


ABBILDUNG 2-3: MULTI-ORDER-PICKING

Die Organisation der Bereichsaufteilung in der Kommissionierung kann grundsätzlich einzonig oder mehrzonig gestaltet werden. In großen Systemen ist es sinnvoll, das gesamte System in einzelne Bereiche zu unterteilen, da sonst zwangsläufig lange Wegstrecken entstehen. Zudem bietet es sich bei inhomogenen Sortimenten an, ein Kommissioniersystem organisatorisch und räumlich in mehrere Kommissionierzonen aufzuteilen. Die Kommissionierung in mehrzonigen Systemen kann dabei seriell oder parallel erfolgen.

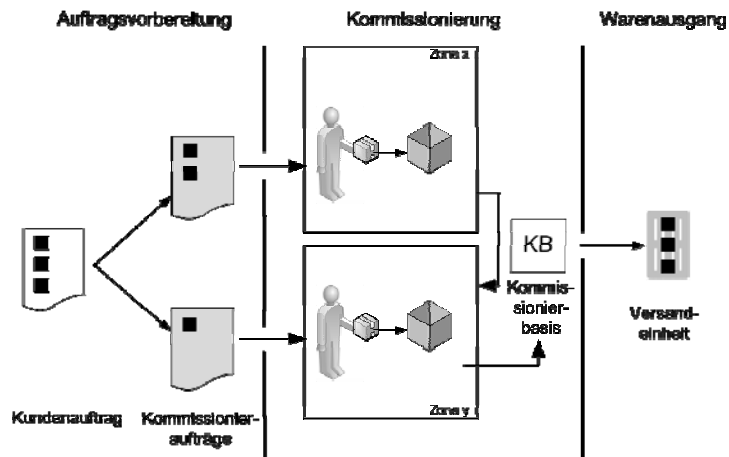


ABBILDUNG 2-4: ZONENSERIELLE KOMMISSIONIERUNG

Bei serieller Bearbeitung startet der Kommissionierauftrag in der Zone, in der die erste Entnahme vorzunehmen ist. Anschließend wird die Sammeleinheit, in der Regel ein Behälter oder Kommissionierwagen, zur Weiterbearbeitung in der nächsten Zone bereitgestellt. Alle erforderlichen Zonen werden nacheinander durchlaufen und der Auftrag schrittweise vervollständigt (vgl. Abbildung 2-4). Die zonenserielle Kommissionierung eignet sich besonders bei großen Sortimenten, die sich hinsichtlich der Artikelzugriffshäufigkeit stark unterscheiden, hinsichtlich der Artikeleigenschaften wie beispielsweise Volumen und Gewicht jedoch ähnlich sind. Hier bietet sich die Einführung von Zonen für Schnell-, Mittel- und Langsamdreher an, so dass den artikelgruppenspezifischen Durchsätzen durch unterschiedliche Automatisierungsgrade in den Zonen Rechnung getragen wird.

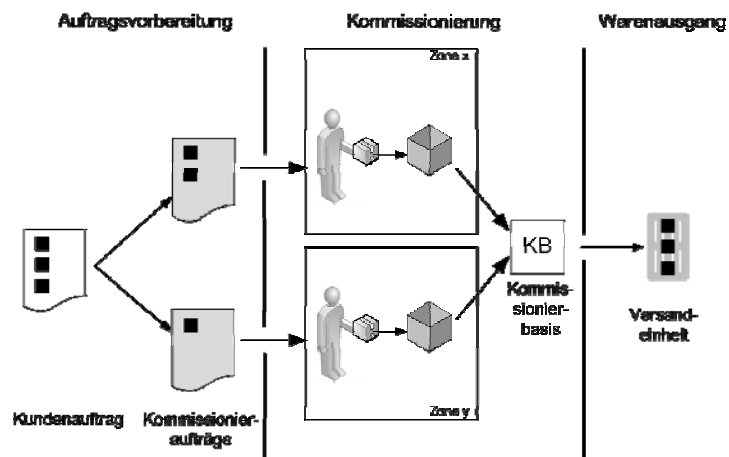


ABBILDUNG 2-5: ZONENPARALLELE KOMMISSIONIERUNG

Bei der parallelen Bearbeitung wird ein Kommissionierauftrag in zonenreine Teilaufträge zerlegt. Diese Teilaufträge werden dann gleichzeitig in den Kommissionierzonen abgewickelt und anschließend wieder zum Gesamtauftrag zusammengeführt (vgl. Abbildung 2-5). Die zonenparallele Kommissionierung ist überwiegend bei Sortimenten vorzufinden, die sich stark hinsichtlich ihrer Artikeleigenschaften unterscheiden und aufgrund dessen nicht nacheinander kommissioniert werden können. Als Beispiele können Artikelspektren mit leichten und schweren Produkten oder Spektren mit Klein- und Sperrteilen genannt werden. Bezüglich der Kommissionierzeit pro Auftrag ist die parallele Kommissionierung der seriellen überlegen, da im seriellen Fall Wartezeiten zwischen den

einzelnen Bereichen entstehen. Dafür muss bei der parallelen Kommissionierung zusätzlicher Aufwand in nachgelagerten Funktionsbereichen für die Auftragskonsolidierung bzw. -sortierung berücksichtigt werden. Dies kann den erstgenannten Zeitvorteil aufzehren.

Bei den bislang vorgestellten Ablauforganisationen handelt es sich um Verfahren der einstufigen Kommissionierung, bei deren stets eine Verbindung zwischen Artikel und Kundenauftrag besteht. Bei der zweistufigen bzw. artikelorientierten Kommissionierung werden die Entnahme und die Zuordnung der Artikel zu den Kundenaufträgen in zwei Schritten durchgeführt. Mithilfe dieser Organisationsform können alle identischen Artikel aus mehreren Kundenaufträgen in einem Kommissioniervorgang gleichzeitig entnommen werden. Auf diese Weise wird die Bereitstellereinheit nur einmal angesteuert, so dass Wegzeiten erheblich reduziert werden können. Erst in einem anschließenden Sortierprozess werden die einzelnen Entnahmeeinheiten den Kundenaufträgen zugewiesen.

Informationsflusssystem

Das Informationsflusssystem beschreibt die Erfassung, Aufbereitung und Verarbeitung der zur Durchführung der Kommissionierung erforderlichen Informationen. Das Informationsflusssystem umfasst dabei auch die Führung des Kommissionierers. Die Verfahren der Kommissionierführung lassen sich grundsätzlich in belegbehaftete (Pickliste) und beleglose (Pick-by-Scan, Pick-by-Light und Pick-by-Voice) Verfahren unterscheiden. Eine detailliertere Betrachtung der Möglichkeiten zur Kommissionierführung erfolgt im Zusammenhang mit Prüfstrategien.

2.3 ABGRENZUNG DER MANUELLEN AUFTRAGSWEISEN KOMMISSIONIERUNG (FLW)

Unter manueller Kommissionierung wird verstanden, dass die Fortbewegung, die Entnahme von Entnahmeeinheiten sowie die Abgabe der Entnahmeeinheiten und der Sammeleinheit von dem Kommissionierer durchgeführt werden. Folglich wird ausschließlich die statisch-dezentrale Bereitstellung nach dem „Person zur Ware“ Prinzip betrachtet. Neben der rein manuellen Fortbewegung wird auch die mechanisierte Fortbewegung mithilfe von Horizontalkommissionierfahrzeugen berücksichtigt, da auch hier die Steuerung manuell erfolgt. Abbildung 2-6 grenzt die manuelle Kommissionierung von den anderen Formen zusammenfassend ab.

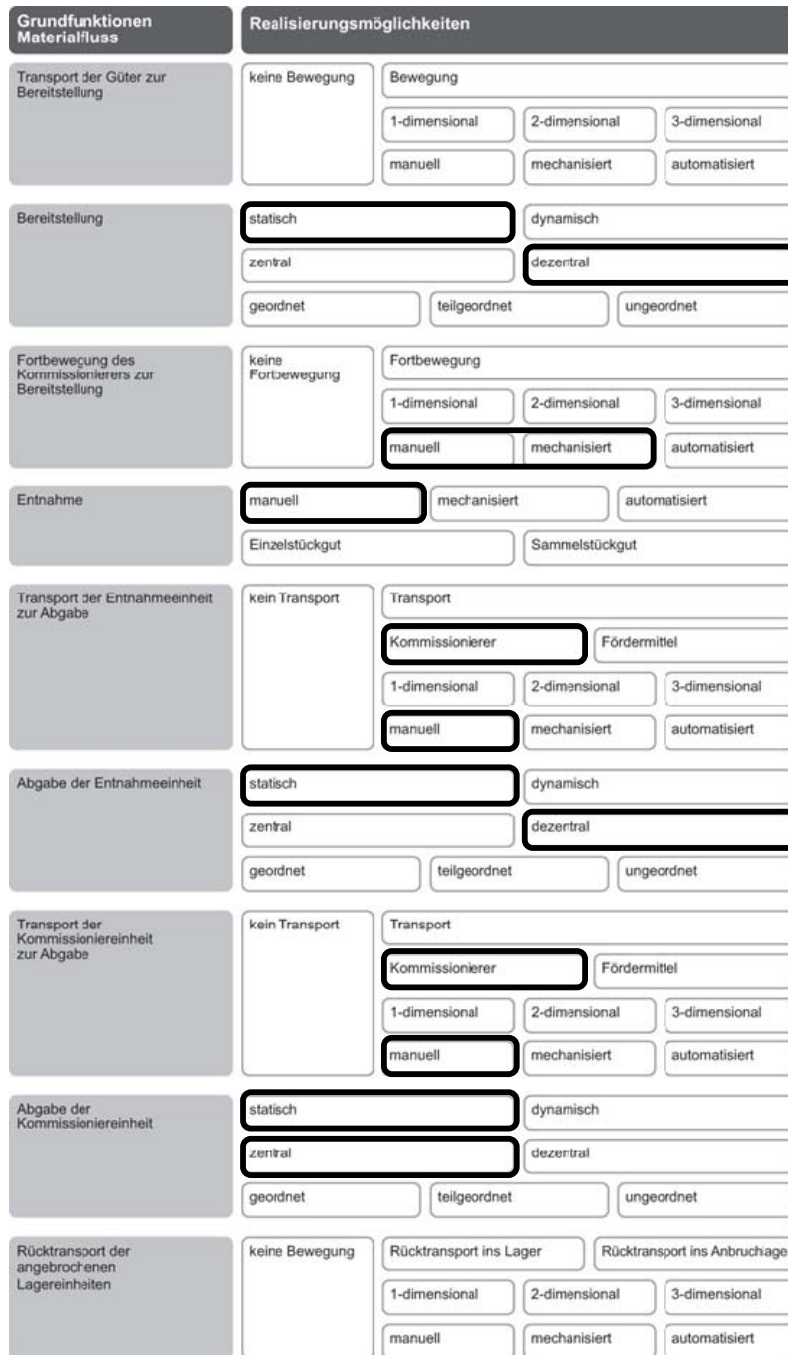


ABBILDUNG 2-6: ABGRENZUNG MANUELLER AUFTRAGSWEISER KOMMISSIONIERUNG

Der Prozess der Bereitstellung von Bereitstellungseinheiten aus dem Nachschubsystem in das Kommissioniersystem wird dabei nicht berücksichtigt. Genauso wenig findet der Rücktransport von Ladeeinheiten eine Berücksichtigung, da dies nur bei Systemen nach dem „Ware zur Person“ Prinzip erfolgt.

Unter den Formen der Ablauforganisation werden nur einstufige bzw. auftragsweise Formen berücksichtigt. Hinsichtlich des Informationsflusssystems werden sowohl belegbehafte als auch beleglose Verfahren der Kommissionierführung betrachtet.

2.4 PROZESS DER MANUELLEN, AUFTRAGSWEISEN KOMMISSIONIERUNG (FLW)

Durch die Abgrenzung der manuellen, auftragsweisen Kommissionierung im vorigen Kapitel kann der Prozess wie folgt dargestellt werden (vgl. Abbildung 2-7).

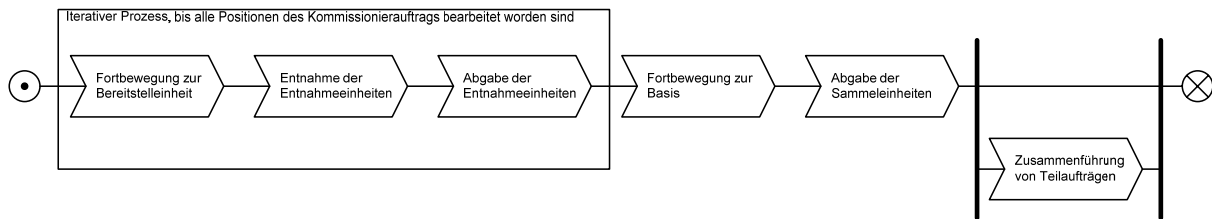


ABBILDUNG 2-7: PROZESS DER MANUELLEN, AUFTRAGSWEISEN KOMMISSIONIERUNG

Der Kommissionierprozess startet und endet an der Kommissionierbasis. Nach der Annahme eines Kommissionierauftrags bereitet der Kommissionierer abhängig von der Anzahl Kundenaufträge pro Kommissionierauftrag Sammeleinheiten vor. Bei mehreren Sammeleinheiten (siehe „Multi-Order-Picking“, Kapitel: 2.2 Allgemeine Systematisierung von Kommissioniersystemen) werden in der Regel ein Kommissionierwagen oder ein angetriebener Horizontalkommissionierer genutzt. Ab hier beginnt der eigentliche Kommissionierprozess. Der Kommissionierer bewegt sich zur ersten Position des Kommissionierauftrags fort. An der entsprechenden Bereitstellereinheit angekommen, entnimmt er die geforderte Menge des Artikels und gibt die Entnahmeeinheiten an die mitgeführte Sammeleinheit ab. Werden mehrere Sammeleinheiten gleichzeitig mitgeführt, muss der Kommissionierer die Entnahmeeinheiten dem zugehörigen Kundenauftrag bzw. der zugehörigen Sammeleinheit zuordnen. Anschließend bewegt sich der Kommissionierer zu nächsten Auftragsposition fort. Dieser Prozess wiederholt sich, bis alle Positionen des Kommissionierauftrags bearbeitet worden sind. Sobald dies der Fall ist, kehrt der Kommissionierer zur Kommissionierbasis zurück und gibt die Sammeleinheit/en ab. Wenn nur ein Teil eines Kundenauftrags durch den Kommissionierer bearbeitet worden ist (siehe „parallele Kommissionierung“, Kapitel 2.2), muss der Teilauftrag mit seinen restlichen Auftragsteilen zusammengeführt werden. Dies erfolgt zum Teil durch den Kommissionierer, der den bearbeiteten Teilauftrag zu einer Sammelstelle des Kundenauftrags befördert und dort abgibt.

2.5 ARTIKEL – UND AUFTRAGSSTRUKTUR (FLW)

Sowohl die Aufbau- als auch die Ablauforganisation eines Kommissioniersystems hängen im Wesentlichen von der Artikel- und Auftragsstruktur ab.

Unter der Artikelstruktur versteht man den gegliederten Aufbau der Artikel eines Sortimentes nach bestimmten Ordnungskriterien [MAR09]. Nach VDI 3590 Blatt 2 gliedern sich die Artikelstrukturdaten in physische Daten (Stück- oder Objektdaten), Zuordnungsdaten, und Sortimentsdaten. Unter physischen Daten versteht man auch Stück- oder Objektdaten, die fundamentale physische Informationen eines Artikels liefern. Dazu gehören u.a.:

- Abmessungen
- Volumen
- Gewicht
- Form

- Gefahrgutklasse
- Stapelfähigkeit
- Oberflächenmerkmale
- Druckempfindlichkeit
- Temperaturkriterien

Mithilfe von Zuordnungsdaten werden Artikel in homogenen Klassen zusammengefasst. Beispiele für Zuordnungsdaten sind:

- Zuordnung zu Artikelgruppen
- Zuordnung zu Ladehilfsmitteln
- Zuordnung zu Umschlagsklassen

Zu den Sortimentsdaten gehören zum Beispiel:

- Anzahl der Artikel
- ABC-Struktur
- Anzahl und Umfang von Artikelgruppen

Die Auftragsstruktur dagegen umfasst über den Zeitablauf feststellbare Kennwerte wie beispielsweise:

- Auftragsart (Groß-, Mittel-, Klein-, Eil-, Terminaufträge)
- Auftragsgröße (Positionen, Stück, Gewicht, und Volumen pro Auftrag)
- Anzahl Aufträge pro Zeiteinheit
- Zugriffe pro Position
- Auftragsdurchlaufzeit
- Zeitliche Verteilung des Auftragseingangs

Im Vordergrund des Forschungsvorhabens steht die dynamische Anpassung der Ablauforganisation entsprechend des aktuellen Systemzustands bzw. der aktuellen Systemlast. Unter Systemlast ist der zum Betrachtungszeitpunkt gegebene Zustand der Artikel- und Auftragsstruktur zu verstehen. Hierbei wurde festgestellt, dass die Artikelstruktur sich nur langfristig ändert und sie folglich für eine flexible Strategieauswahl in einem kurzfristigen Zeithorizont keine Rolle spielt. Allerdings wirkt sich die Artikelstruktur auf Handlingsvorgänge aus und wird im Rahmen der Prüfstrategie-Untersuchung als Einflussgröße berücksichtigt. Im Gegensatz zur Artikelstruktur konnten im Rahmen der Auftragsstruktur kurzfristige Änderungen und Schwankungen identifiziert werden. Dies trifft insbesondere auf die Anzahl Aufträge pro Zeiteinheit sowie die Anzahl Positionen pro Auftrag zu. Die Systemlast wird damit durch die Anzahl zu bearbeitender Auftragspositionen im zeitlichen Verlauf bestimmt.

2.6 KENNZAHLEN ZUR BEWERTUNG (FLW + RIF)

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde der Eignungsgrad von Kommissionier- und Prüfstrategien für verschiedene Systemlasten untersucht, mit dem Ziel, für jede Systemlast die optimale Kommissionier- und Prüfstrategie zu bestimmen. Um den Eignungsgrad der Kommissionierstrategien quantifizieren zu können wurden Bewertungskennzahlen abgeleitet. Die Bewertung von Kommissionierstrategien erfolgt anhand der erzielten Kommissionierleistung, während

Prüfstrategien neben ihrer Auswirkungen auf die Leistung auch anhand der Qualität in Form von Fehlerdurchschlupfraten bewertet werden.

2.6.1 LEISTUNG

Die Kommissionierleistung wird durch das Verhältnis von Kommissionierzeit zu der Anzahl bearbeiteter Auftragspositionen bestimmt. Die Kommissionierzeit setzt sich aus den Zeitanteilen für die Basis-, Weg-, Greif- und Totzeit zusammen.

Die Basiszeit beinhaltet die Zeit für organisatorische Tätigkeiten vor und nach der Kommissionierung. Diese fallen in einem „Person zur Ware“ Kommissioniersystem in der Regel an einer zentralen Basis an, zu der der Kommissionierer nach Beendigung eines Auftrags stets zurückkehrt. Zu den Tätigkeiten an der Basis zählen das Aufnehmen, Lesen und Ordnen von Kommissionierbelegen, das Bereitstellen von Ladehilfsmitteln bzw. Sammeleinheiten und Kommissionierwagen sowie die Übergabe der Sammeleinheit nach dem Kommissioniervorgang. Die Wegzeit bezeichnet die reine Fortbewegungszeit des Kommissionierers. Die Greifzeit umfasst die Tätigkeiten Artikel aus der Bereitstellereinheit entnehmen und Artikel in die Sammeleinheit legen. Unter der Totzeit werden allen Nebenzeiten zusammengefasst, die neben den anderen drei Zeitanteilen anfallen. Dazu zählen u.a. Suchvorgänge, Prüfvorgänge wie Scannen, Zählen, Wiegen und Vergleichen sowie Lese- und Schreibtätigkeiten.

Der größte Anteil an der Kommissionierzeit in manuellen Kommissioniersystemen nach dem „Person zur Ware“ Prinzip entfällt auf die Wegzeit. Basis-, Greif- und Totzeiten sind weitestgehend unabhängig von der Kommissionierstrategie, so dass im weiteren Verlauf bei der Untersuchung von Kommissionierstrategien die Betrachtung der Kommissionierleistung auf die Wegzeit beschränkt wird.

2.6.2 QUALITÄT

Neben der Leistung bildet die Qualität das zweite Bewertungskriterium, auf das im Rahmen des Forschungsvorhabens zurückgegriffen wird. Die Ursache für Qualitätsminderungen liegt generell in dem Auftreten von Fehlern. Höchste Qualität wird demnach erzielt, wenn im Kommissionierprozess keinerlei Fehler produziert werden. Allerdings muss für die spätere Bewertung eine differenzierte Betrachtungsweise herangezogen werden, die Qualität nicht durch das reine Auftreten von Fehlern bemisst. Maßgröße für die Qualität ist vielmehr die Anzahl an Fehlern, die im Kommissionierprozess verursacht und nicht entdeckt – dementsprechend also auch nicht korrigiert – werden. Fehler, die noch während des Kommissionierprozesses erkannt werden, führen dagegen zu entsprechenden Korrekturen und wirken sich negativ auf die Kommissionierleistung aus. Folglich können im Kommissionierprozess durchaus Fehler auftreten, ohne dass eine Beeinträchtigung der Kommissionierqualität vorliegt, sofern diese Fehler erkannt und korrigiert werden.

Maßgröße für die Qualität des Kommissionierprozesses ist daher nicht die Anzahl an Fehlern, die im Kommissionierprozess auftreten, sondern der Fehlerdurchschlupf. Nur unentdeckte Fehler wirken sich negativ auf die Prozessqualität aus. Somit kann ausgeschlossen werden kann, dass sich bei der Bewertung von Kommissioniertätigkeiten anhand der Kriterien Leistung und Qualität Redundanzen ergeben, die aus der Überschneidung der beiden Bewertungsgrößen resultieren.

Zunächst sind sämtliche Fehler, die in Kommissionierprozessen auftreten und somit die Ursache für Qualitätsminderungen darstellen, zu klassifizieren. Dabei wird sich im Rahmen des Projekts an Lolling (vgl. [Lol03]) orientiert, der innerhalb ausführlicher Analysen der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissionierprozessen eine Systematisierung der dort auftretenden Fehler vornimmt.

Ein fehlerfreier Kommissionierprozess ist gekennzeichnet durch die Erfüllung der Merkmale „richtiges Objekt“, „richtige Menge“ und „richtiger Zeitpunkt“. Tritt bei einem dieser Merkmale die Merkmalsausprägung „nicht erfüllt“ auf, liegt ein fehlerhafter Kommissionierprozess vor.

Fehler, deren Ursache in der Nichterfüllung der Qualitätsmerkmale „richtige Menge“ und „richtiges Objekt“ liegen, sind als originäre Fehler der Kommissionierung zu verstehen. Die Nichterfüllung des Merkmals „richtiger Zustand“ hat ihre Ursache in der Regel in den der Kommissionierung vorgelagerten Prozessen. Derartige Fehler werden innerhalb des Forschungsprojekts dennoch als Kommissionierfehler angesehen, sofern der fehlerhafte Zustand in der Kommissionierung hätte erkannt werden müssen.

Entsprechend dieser Merkmale kann eine Klassifizierung in vier Fehlerarten vorgenommen werden:

1. *Typfehler* resultieren aus der Kommissionierung falscher Artikel. Sie treten auf, wenn an Stelle des im Auftrag vorgesehenen Artikels ein anderer kommissioniert wird, der ursprünglich vorgesehener Artikel also fehlt, oder wenn zusätzliche, nicht vorgesehene Artikel kommissioniert werden.
2. *Mengenfehler* liegen vor, wenn die richtigen Artikel zwar in der Kommission vorhanden sind, aber in der falschen Anzahl kommissioniert werden.
3. *Auslassungsfehler* entstehen durch die Auslassung einer oder mehrerer Artikel, ohne dass ein anderer, falscher Artikel an deren Stelle kommissioniert wird.
4. *Zustandsfehler* sind insofern von den obigen Fehlerarten abzugrenzen, als dass sie nicht das Vorhandensein von Artikeln sondern deren Beschaffenheit beurteilen. Sie liegen vor, wenn Artikel beschädigt sind oder Serviceleistungen fehlen.

Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 2-8 nochmals sämtliche Fehlerarten dargestellt:

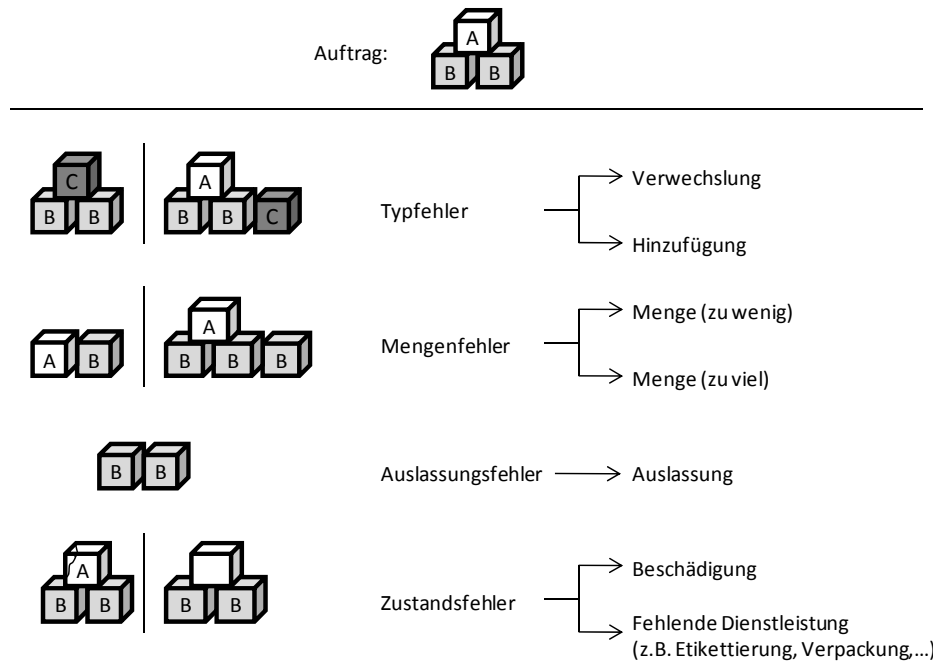


ABBILDUNG 2-8: FEHLERARTEN IN DER KOMMISSIONIERUNG (VGL. [LOL03])

Entsprechend dieser Fehlerklassifikation können für sämtliche Fehlerarten Fehlerquoten ermittelt werden, die sich aus dem Quotienten der Summe der erfassten Fehler und der entsprechenden Bezugseinheiten errechnen:

$$\text{Fehlerquot } e_{\text{FehlerartX}} [\%] = \frac{\text{Anzahl der Bezugseinheiten mit FehlerartX}}{\text{Anzahl der Bezugseinheiten}} \cdot 100$$

Die Summe aus Typ-, Mengen-, Auslassungs- und Zustandsfehlerquote entspricht der gesamten Kommissionierfehlerquote.

Wie eingangs bereits erwähnt, orientiert sich das Forschungsvorhaben an dieser Fehlerklassifizierung nach Lolling. Entsprechend greift das zur Beurteilung einzelner Prüfstrategien implementierte Simulationsmodell auf die oben genannten Fehlerarten zurück und beurteilt Prüfstrategien hinsichtlich des Durchschlupfes dieser Fehlerarten. Allerdings macht es die kombinierte Betrachtung von Prüfungsstrategien in Abhängigkeit der gewählten Kommissionierstrategie innerhalb des Forschungsvorhabens erforderlich, zwei weitere Fehlerarten zu definieren. Dabei handelt es sich um Ablage- und Abgabefehler.

5. *Ablagefehler* treten auf, wenn innerhalb eines Kommissionierprozesses mehrere Kommissionieraufträge bearbeitet werden. Bei einem solchen, aus mehreren Einzelaufträgen zusammengefassten Auftrag – einem Batch – besteht das Risiko der Zuordnung von Artikeln zu einem falschen Auftrag.
6. *Abgabefehler* treten auf, wenn Kommissionieraufträge aufgrund einer Zonung in mehrere Unteraufträge gegliedert werden. Da die Unteraufträge wieder zusammengeführt werden müssen, besteht die Gefahr einer fehlerhaften Zuweisung, aus der zwei fehlerhafte Kommissionieraufträge hervorgehen.

Sowohl Ablage- als auch Abgabefehler unterscheiden sich bezüglich des Betrachtungsobjekts von den vier erstgenannten Fehlerarten. Während Typ-, Mengen-, Auslastungs- und Zustandsfehler die Kommission bzw. das zu kommissionierende Gut als fehlerhaft identifizieren, betrachten Ablage- und Abgabefehler den jeweiligen Prozessschritt. Die Fehlerarten sind daher nicht vollständig voneinander abzugrenzen und weisen eine gemeinsame Schnittmenge auf. So führt ein Abgabefehler in der Regel zu einem Auslassungs- oder Mengenfehler in der Kommission, die eigentlich für den Artikel vorgesehen war. Gleichzeitig wird der Artikel aber einer anderen Kommission zugeteilt und löst hier einen Mengen- oder Typfehler aus. Ähnlich verhält es sich bei Abgabefehlern, die ebenfalls diverse Fehlerarten in mehreren Aufträgen verursachen.

Prinzipiell können also auch Ablage- und Abgabefehler durch die vier Fehlerarten nach Lolling abgebildet werden. Innerhalb des Forschungsvorhabens wird aber auf eine gesonderte Betrachtung zurückgegriffen, da auf diese Weise eine differenziertere Fehlerbetrachtung und -auswertung realisiert wird, die eine detaillierte Abbildung der fehlerverursachenden Prozesse ermöglicht und insbesondere die Auswirkungen unterschiedlicher Kommissionierstrategien auf die Fehlerquote verdeutlicht. Durch die Ermittlung und Hinterlegung interner Kennzahlen, die die Verursachung der übrigen Fehlerarten durch Ablage- und Abgabefehler betreffen, können die bezüglich der insgesamt auftretenden Fehlerarten ermittelten späteren Simulationsergebnisse wieder in die vier Fehlerarten nach Lolling überführt werden.

2.6.3 KOMBINATION DER BEWERTUNGSKRITERIEN (KOSTEN)

Da der Kommissionierprozess anhand der vorgenannten Kriterien der Leistung und der Qualität zu bewerten ist, stehen sich zwei Maßgrößen gegenüber, die nicht miteinander kompatibel sind. Während zur Bewertung der Leistung des Kommissionierprozesses die Einheit Sekunden pro Position vorgesehen ist, wird die Qualität anhand der Größe Fehlerdurchschlupf bemessen. Von einer kombinierten Betrachtung, die die beiden Zielgrößen der Kommissionierleistung und des Fehlerdurchschlupfes integriert, wird im Rahmen des Projektes abgesehen. Dies ließe sich bewerkstelligen, indem die beiden einzelnen Zielgrößen in eine gemeinsame monetäre Zielgröße überführt würden. Die monetäre Bewertung des Fehlerdurchschlupfs konnte auch nach Rücksprache mit den Industriepartnern nicht erfolgen. Insbesondere die Ermittlung der durch den Fehlerdurchschlupf verursachten, teilweise langfristigen Fehlerfolgekosten erweist sich in der Praxis als überaus problematisch (vgl. [Noe06]).

Da also keine Kosten als Bewertungskriterium herangezogen werden, ist die Gegenüberstellung unterschiedlicher Kommissionierprozesse durch die Existenz zweier Maßgrößen erschwert, die keine integrierte Betrachtung erlauben. Innerhalb des Forschungsvorhabens konnte aber eine alternative Methode entwickelt werden, die nicht auf Kostendaten zurückgreift und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Systemlastzustände eine Zusammenführung der Ergebnisse bezüglich Qualität und Leistung ermöglicht.

3 ABLAUFORGANISATION FÜR DIE KOMMISSIONIERUNG MIT INTEGRIERTER PRÜFUNG

3.1 KOMMISSIONIERSTRATEGIEN (FLW)

Um ein Kommissioniersystem flexibel an veränderte oder schwankende Systemlasten anzupassen, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, die in einem kurz- bis mittelfristigen Zeithorizont umsetzbar sind. Abbildung 3-1 stellt den Strategievorrat in Abhängigkeit der zeitlichen Umsetzbarkeit dar.

Multi-Order-Picking	Querverteilung der Bereitstelleinheiten	Anpassung von Arbeitsmitteln
TOP-Artikel an der Basis	Lagerplatzzuordnung	Layoutänderung
Wegstrategie		
kurzfristig	mittelfristig	langfristig (nicht betrachtet)

zeitliche Umsetzbarkeit

ABBILDUNG 3-1: STRATEGIEVORRAT

3.1.1 WEGSTRATEGIEN

Wegstrategien kommen in den für die manuelle Kommissionierung typischen Kommissionierlagersystemen mit mehreren Gassen zum Einsatz. Ziel ist die Minimierung der Wegzeit für den Kommissionierer. Dazu wird eine optimale Bearbeitungsreihenfolge der einzelnen Positionen eines Kommissionierauftrags angestrebt. Hierdurch ergibt sich ein Traveling-Salesman-Problem, dessen exakte Lösung durch vollständige Enumeration für die praktische Anwendung zu lange Rechenzeiten erfordert. Deshalb existieren unterschiedliche geometrische und numerische Heuristiken. In der Literatur werden insgesamt sechs Wegstrategien beschrieben (vgl. [Sad07], [tHS07]):

- Schleifenstrategie mit Überspringen
- Schleifenstrategie ohne Überspringen
- Stichgangstrategie mit Gangwiederholung
- Stichgangstrategie ohne Gangwiederholung
- Mittelpunkt-Heuristik
- Largest-Gap-Heuristik

Diese Strategien sind den geometrischen Heuristiken zuzuordnen. Als numerische Heuristiken zur Bestimmung einer zulässigen Lösung für praktische Probleme werden die Vorgehensweisen „Bester Nachfolger“, „Sukzessive Einbeziehung“ sowie „Savings“ empfohlen [Dom97]. Für die Umsetzung der „Beste Nachfolger“-Heuristik bietet sich die Klasse der Greedy-Algorithmen an. Diese numerischen Heuristiken werden im Folgenden zusammenfassend als „Kürzeste-Wege-Strategien“ (KW-Strategien) bezeichnet und ergeben Lösungen ohne geometrische Regelmäßigkeit. Neben den numerischen Heuristiken wurden Algorithmen zur Bestimmung des kürzesten Weges entwickelt, die das zugrunde liegende Travelling-Salesman-Problem unter bestimmten Voraussetzungen lösen. Ratliff und Rosenthal bilden das Lager in einem Graphen ab, deklarieren die zu pickenden Artikel als

Knoten [RaR83] und können damit kürzeste Wege in einem Standard-Lager ohne Quergänge berechnen. Roodbergen und de Koster erweitern diesen Algorithmus für Lager mit einem mittleren Quergang [RdK00]. Für eine beliebige Anzahl an Quergängen ist bisher noch kein praktisch anwendbarer Algorithmus entwickelt worden.

3.1.2 MULTI-ORDER-PICKING

Bearbeitet der Kommissionier mehrere Aufträge gleichzeitig, so wird dieses Vorgehen als Multi-Order-Picking [Mar09] oder Serienkommissionierung [Gud05] bezeichnet. Hierzu erfolgt das Zusammenfassen von mehreren externen Kundenaufträgen zu einem internen Kommissionierauftrag (Order-Batching), der innerhalb einer Kommissioniertour abgearbeitet wird. Hierfür nutzt der Kommissionierer meist einen Kommissionierwagen, um bei seiner Tour mehrere Auftragsbehälter gleichzeitig befördern zu können.

Beim Multi-Order-Picking ergibt sich durch Zusammenfassen von Aufträgen zu einem Kommissionierauftrag eine Erhöhung der Entnahmepunktdichte, was die durchschnittliche Wegzeit pro Position reduziert. Ziel ist es, die Auftragszusammenfassung so zu gestalten, dass unter verschiedenen Nebenbedingungen (max. mögliche Anzahl Auftragsbehälter pro Kommissioniertour, max. Gewicht pro Tour etc.) die Gesamtzeit aller Kommissioniertouren minimiert wird. Hierbei ergibt sich ein „Vehicle-Routing-Problem“, bei dem der externe Auftrag in Subvariablen zu unterteilen ist, welche die einzelnen Positionen des Auftrags repräsentieren. Wie beim „Traveling-Salesman-Problem“ kann eine exakte Lösung des „Vehicle-Routing-Problems“ durch vollständige Enumeration in der Praxis nicht erfolgen. Es existieren verschiedene Heuristiken zur Batchbildung, die hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet werden (vgl. u.a. [dKo99], [GiS92]).

Wesentliche Algorithmen zur Batchbildung sind:

- Prioritätsbasierte Algorithmen
 - First Come First Served- Heuristik (vgl. u.a. [GiS92], [DLR04]), in der Literatur vor allem als Benchmark verwendet
 - Patil-Heuristik [Pat07]
 - Sequential Minimum Distance- Heuristik [GiS92]
 - FASS-Kurven-Heuristik [Bar03], [Maa03]
- Seed-Algorithmen (vgl. u.a. [dKo99], [GiS92], [Liu99], [Ros96])
- Savings-Algorithmen (vgl. u.a. [dKo99], [HKD09])
 - Clark & Wright-Algorithmus
 - EQUAL-Algorithmus
 - Small/Large-Algorithmus

3.1.3 LAGERPLATZVERGABESTRATEGIEN

Innerhalb der Lagerplatzvergabestrategien wird festgelegt, welche Artikel bzw. welche Artikelgruppen auf welchen Lagerplätzen bereitgestellt werden. Ziel dieser Zuordnung ist die Reduzierung des Ein- und Auslageraufwandes im Lager. Im Bereich der Kommissionierung ist dabei die Erreichbarkeit des Artikels für den Kommissionierer der entscheidende Faktor. Meist erfolgt die Zuordnung der Artikel zu den Lagerplätzen nach Artikeleigenschaften wie Gewicht und Größe oder auf Grundlage bestimmter Kriterien wie der Zugriffs- oder Umschlagshäufigkeit. Es lassen sich folgende Lagerplatzvergabestrategien unterscheiden:

- Einfache Lagerplatzvergabestrategien
 - Gleichverteilung der Artikel (vgl. [Gud05])
 - Alphabetische und numerische Reihenfolge (vgl. [Ber98])
 - Packoptimale Pickplatzfolge (vgl. [Gud05])
 - Greifoptimale Platzbelegung (vgl. [Sac96] und [Gud05])
 - Starres/ dynamisches Flip-Flop-Verfahren (vgl. [Gud05])
- Artikelunabhängige Lagerplatzvergabestrategien
 - Closest-Open-Location-Strategie (vgl. [HSG76], [MaF08])
 - Duration-Of-Stay-Strategie (vgl. [GoR90])
 - Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeit / ABC-Zonung(vgl. [HSG76], [tHS07])
 - Cube-Per-Order-Index (vgl.[Hes63],[CMP98])
- Artikelabhängige Lagerplatzvergabestrategien
 - Contact-Based-Strategie (vgl. [vOT88] und[ReW00])
 - Clustering-Strategien (vgl. [Liu99], [Ber98])

Innerhalb eines Kommissionierbereichs kann von einem hinsichtlich der physischen Artikeleigenschaften (s. Kapitel 2.5) homogenen Artikelspektrum ausgegangen werden. Entscheidend für die Kommissionierleistung ist die Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeit der Artikel. Die Zuordnung von Artikeln zu den Lagerfächern eines Bereitstellsystems hat einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des gesamten Kommissioniersystems. Bei der ungeordneten Fachzuordnung der Artikel kann von einer Gleichverteilung der Entnahmeorte im Lager ausgegangen werden. Damit ist sowohl die Gleichverteilung der anzulaufenden Gassen gemeint, wie auch die Gleichverteilung der Entnahmeorte innerhalb der Gassen. Durch die Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeiten wird hingegen die Grundlage geschaffen, Entnahmeorte in der Nähe der Basis öfter anzulaufen, als entferntere Entnahmeorte. So können die unproduktiven Wegzeiten minimiert werden.

Eine weit verbreitete Strukturierung für die effiziente Fachbelegung nach Zugriffshäufigkeiten ist die ABC-Zonung des Kommissionierlagers. Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3 zeigen die in der Praxis gängigen Varianten „Segmentsystem“ und „Streifensystem“ (vgl. auch [tHS07]). Diese beiden Varianten werden auch in der späteren Simulation berücksichtigt.

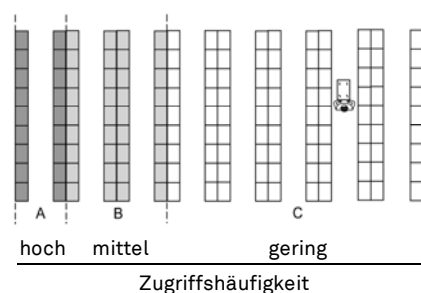


ABBILDUNG 3-2: SEGMENTSYSTEM

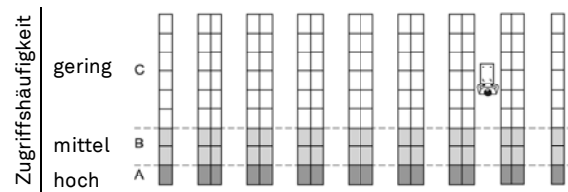


ABBILDUNG 3-3: STREIFENSYSTEM

3.1.4 VIRTUELLE ZONEN

Die Organisation der Bereichsaufteilung in der Kommissionierung kann grundsätzlich einzonig oder mehrzonig gestaltet werden [GIF08]. Gerade bei großen und inhomogenen Sortimenten bietet es sich an, ein Kommissioniersystem organisatorisch und räumlich in mehrere Kommissionierbereiche aufzuteilen [AIK08]. Die Kommissionierung in mehrzonigen Systemen kann dabei seriell oder parallel erfolgen.

Wie im Abschnitt 2.2 beschrieben wird in der einschlägigen Logistikliteratur als Hintergrund für eine mehrzonige Organisation die Sortimentsgröße sowie die Heterogenität des Artikelspektrums genannt (u.a. [Gud05], [tHSN07]). Im Rahmen des Forschungsprojekts „FlexKom“ wurde jedoch untersucht, in wie fern eine parallele Organisation flexibel eingesetzt werden kann. Grundsätzlich kann jedes Kommissioniersystem in Zonen organisiert werden. So kann beispielsweise ein Elementarsystem, bestehend aus einer sechsgassigen Fachbodenregalanlage, in drei Zonen aus je zwei Gassen untergliedert werden (s. Abbildung 3-4). Da diese Zonen physisch nicht existieren, werden sie als Virtuelle Zonen bezeichnet. Erfolgt eine Zerlegung der Kundenaufträge in zonenreine Teilaufträge und eine Zusammenfassung der Teilaufträge einer Zone zu Sammelaufträgen (Batchbildung), kann die Entnahmepunktdichte innerhalb einer Zone deutlich erhöht werden. Folglich sinkt die Wegzeit pro Position, wodurch die Leistung steigt.

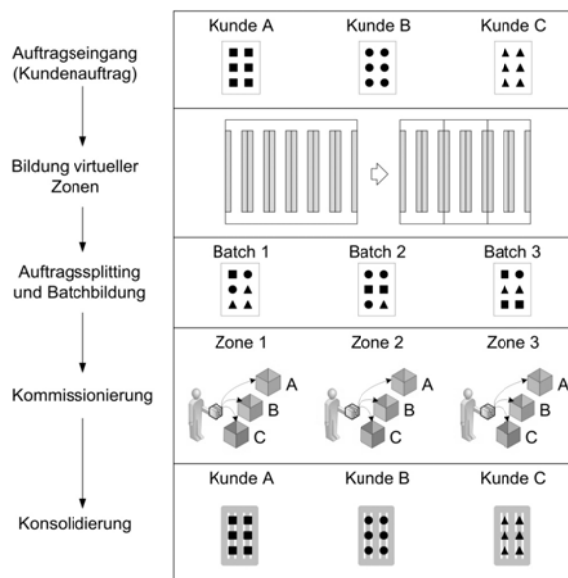


ABBILDUNG 3-4: MEHRZONIGE KOMMISSIONIERUNG

3.1.5 QUERVERTEILUNG VON BEREITSTELLEINHEITEN

Wenn die Bestandsmenge eines Artikels die Bereitstellungskapazität eines Lagerfachs übersteigt, werden die Bereitstellereinheiten des Artikels auf mehrere Lagerfächer verteilt. In der Praxis werden

die Bereitstelleinheiten in mehrere nebeneinander liegende Lagerfächer eingelagert. Die Strategie der Querverteilung von Bereitstelleinheiten sieht es vor, die Einheiten nicht nebeneinander einzulagern, sondern diese über mehrere Gassen zu verteilen. Auf diese Weise können Kommissionierwege reduziert werden, da für Artikel mit verteilten Bereitstelleinheiten mehrere Entnahmeorte angeboten werden. Es kann immer der am günstigsten gelegene Entnahmeort angelaufen werden.

3.1.6 BEREITSTELLUNG VON TOP-ARTIKELN AN DER BASIS

Die einzelnen Artikel eines Artikelspektrums unterscheiden sich häufig in Bezug auf ihre Zugriffshäufigkeit. Artikel mit einer besonders hohen Zugriffshäufigkeit werden in der Kommissionierung als Schnelldreher oder A-Artikel bezeichnet. Die zugriffsstärksten A-Artikel stellen die TOP-Artikel eines Artikelspektrums dar. Sie werden in beinahe jedem Kundenauftrag nachgefragt, so dass das Bereitstellfach des Artikels stark frequentiert würde. Eine erste Maßnahme die Kommissionierwege zu verkürzen, ist es, TOP-Artikel in der Nähe der Kommissionierbasis zu platzieren (s. Lagerplatzvergabe-strategien Kapitel 3.1.3). Eine weitere Optimierung kann durch die Bereitstellung der TOP-Artikel direkt an der Basis erzielt werden. In diesem Fall entfällt die Wegzeit für TOP-Artikel. Es ist jedoch zu beachten, dass aufgrund von Platzrestriktionen nur eine begrenzte Anzahl von TOP-Artikeln direkt an der Basis bereitgestellt werden kann. Für die folgenden Untersuchungen dieser Strategie werden die TOP-10-Artikel an der Basis aufgestellt. Diese Strategie lässt sich in der Praxis sehr kurzfristig realisieren, indem die TOP-Artikel aus dem Lager an die Basis umgelagert werden. Selbst bei sich ändernden TOP-10-Artikeln (z.B. Aktionswaren im wöchentlichen Turnus) ist diese Strategie mit geringem Aufwand umsetzbar.

3.2 PRÜFSTRATEGIEN (RIF)

Nachdem Grundlagen der Kommissionierstrategien erläutert wurden, wird in den weiteren Ausführungen die ablauforganisatorische Integration von Prüfprozessen in den Kommissionierprozess diskutiert. Bereits in Abschnitt 2.6.2 wurde eine Klassifizierung von Fehlern vorgestellt, um zu definieren, was bei der Prüfung zu identifizieren ist. An dieser Stelle erfolgt durch die Vorstellung der Dimensionen der Prüfung eine theoretische Einführung in die Thematik, bevor schließlich konkrete Verfahren und Techniken zur Sicherstellung einer hohen Qualität in der manuellen Kommissionierung diskutiert werden. Dabei wird zwischen solchen Verfahren unterschieden, die durch die Führung des Kommissionierers dem Auftreten von Fehler vorbeugen sollen (Fehlerprävention), und solchen, die durch Kontrollmaßnahmen der Identifikation von Kommissionierfehlern dienen (Fehlerdetektion).

3.2.1 GRUNDLAGEN VON PRÜFSTRATEGIEN

Innerhalb des Forschungsvorhabens werden unter Prüfstrategien zielgerichtete Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel verstanden, die dem Zweck dienen, eine hohe Kommissionierqualität sicherzustellen. Eine konkrete Prüfstrategie wird über sämtliche in den Kommissionierprozess integrierte Prüfungen definiert. Pfeifer (vgl. [Pfe01]) nennt fünf Freiheitsgrade, sog. Prüfdimensionen, die einen Raum aufspannen, in den sich jede Prüfung anhand der Ausprägung der Freiheitsgrade einordnen lässt. Aufgrund der Vielzahl an Variablen herrschen zwischen diesen Freiheitsgraden allerdings komplexe Zusammenhänge bezüglich ihrer Kombinierbarkeit (vgl. [CHL04]). Im Folgenden werden die fünf Prüfdimensionen kurz vorgestellt:

1. *Prüfzeitpunkt*: Der Prüfzeitpunkt bestimmt die Position innerhalb der Prozesskette, zu dem die Prüfung stattfindet. Der erstmögliche Zeitpunkt zur Prüfung ist direkt im Anschluss an die Erstellung eines Qualitätsmerkmals. Generell gilt, dass eine Prüfung unmittelbar nach dem für das Prüfkriterium verantwortlichen Prozessschritt eine Weiterverarbeitung fehlerhafter Teile ausschließt und somit Nacharbeit und Ausschuss minimiert. Allerdings wirken die hohen Prüfkosten vereinzelter prozessnaher Prüfungen diesem positiven Effekt entgegen.
2. *Prüfumfang*: Mit dem Prüfumfang wird der stochastische Umfang von Prüfungen definiert. Zu unterscheiden ist zwischen 100%-Prüfungen (Sortierprüfungen), innerhalb derer fehlerhafte Positionen von konformen getrennt werden, und Teilprüfungen, die auf Basis anteiliger Prüfungen Rückschlüsse auf die Gesamtmenge der Prüfteile zulassen. Erneut herrscht ein Zielkonflikt zwischen hoher Qualität, die mit einem großen Prüfumfang gewährleistet wird, und niedrigen Kosten, die mit einem geringen Prüfumfang korrelieren.
3. *Prüfort*: Der Prüfort beschreibt die räumliche Position des Prüfmittels bezüglich der Position des Kommissionierers. Die Prüfung kann entweder direkt vor Ort am Kommissionierpunkt erfolgen, oder an einem speziell dafür vorgesehenen Prüfplatz. Hier ist zwischen Güte der zu erwartenden Prüfergebnisse und dem Aufwand für den Transport abzuwägen.
4. *Prüfmittel*: Die Festlegung des Prüfmittels hat entscheidenden Einfluss auf den Prüfprozess insgesamt. Mit der Auswahl eines Prüfmittels erfolgt häufig auch die unmittelbare Festlegung der Ausprägung der übrigen vier Prüfdimensionen, da Prüfmittel in der Regel einen speziellen Einsatz vorsehen.
5. *Prüfart*: Die Prüfart beschreibt die zwangsläufig an das Prüfmittel gekoppelte Auswertungsmöglichkeit der Prüfung. Generell ist zwischen kontinuierlicher und attributiver Prüfung zu unterscheiden. Die attributive Prüfung kontrolliert Kriterien rein qualitativ auf Konformität oder Nicht-Konformität. Auf den Kommissionierprozess bezogen betrifft dies den Zustand eines Artikels und seinen Typ. Die kontinuierliche Prüfung beinhaltet einen quantitativen Abgleich.

Die Leistungsfähigkeit der Prüfung, die Möglichkeit der Integration in den Prozess und der Aufwand der Prüfungsdurchführung variieren und hängen wesentlich vom Prüfmittel ab. Jedes Prüfmittel bietet einen Satz an charakteristischen Merkmalen, die die fünf Dimensionen der Prüfung mit konkreten Ausprägungen belegen. Die Auswahl des Prüfmittels hängt wiederum maßgeblich von der anzuwendenden Prüfmethode ab. Unter diesen *Prüfmethoden* sind in der Kommissionierung die *Wahrnehmung eines Merkmals* (z.B. Einheit vorhanden/beschädigt), der *Vergleich eines Merkmals* (z.B. Abgleich von Artikelnummern) und das *Zählen eines Merkmals* (z.B. Anzahl Artikel in Kommission) zu verstehen. Diese Methoden wirken den unter Abschnitt 2.6.2 vorgestellten Fehlerarten entgegen, oder dienen der Identifikation der Fehler, sofern diese bereits aufgetreten sind.

3.2.2 VORSTELLUNG UND FORMALISIERUNG DER PRÜFUNG

Ein übergeordnetes Ziel des Forschungsvorhabens liegt darin, die Prüfstrategien derart in den Kommissionierprozess zu integrieren, dass die Qualität des Prozesses insgesamt erhöht wird. Zur Umsetzung dieses Vorhabens lassen sich zwei unterschiedliche Herangehensweise identifizieren, die an dieser Stelle zu differenzieren sind. Es handelt sich dabei um die Möglichkeiten der Fehlerprävention und der Fehlerdetektion. Während die *Fehlerprävention* Maßnahmen umfasst, die eine Verbesserung der Prozessfähigkeit anstreben um so dem Auftreten von Fehlern vorzubeugen,

zielt die *Fehlerdetektion* darauf ab, Fehler möglichst unmittelbar nach ihrer Entstehung zu erkennen und zu korrigieren, um weiteren Schaden zu vermeiden.

Eine Prüfstrategie setzt sich sowohl aus Maßnahmen der Fehlerprävention, als auch aus Maßnahmen der Fehlerdetektion zusammen. Erstere umfassen alle technischen Unterstützungsmöglichkeiten zur Führung der Kommissionierer, um deren Fehlerquote zu minimieren. Maßnahmen der Fehlerdetektion umfassen dagegen in den Kommissionierprozess eingebundene Kontrollmaßnahmen, die sowohl mit als auch ohne technische Unterstützung umgesetzt werden können.

FEHLERPRÄVENTION DURCH KOMMISSIONIERERFÜHRUNG

Die Kommissionierführung beinhaltet Maßnahmen der Informationsversorgung des Kommissionierers, um eine zielgerichtete und fehlerarme Abarbeitung von Kommissionierpositionen zu gewährleisten. Ten Hompel macht als Hauptaufgabe der Kommissionierführung die „Übermittlung der relevanten Entnahmeanforderungen mit der generellen Zielsetzung einer maximalen Kommissionierleistung und der Minimierung möglicher Pickfehler“ (vgl. [tHS07]) aus. Zur technischen Umsetzung dieser Informationsübermittlung stehen eine Reihe unterschiedlicher Methoden zur Verfügung. Für den im Rahmen des Forschungsvorhabens fokussierten Anwendungsfall der auftragsweisen manuellen Kommissionierung im Mann-zur-Ware-Prinzip, lassen sich vier Methoden ausmachen, die den industriellen Alltag in KMU weitgehend abdecken. In den nachfolgenden Ausarbeitungen und der späteren Simulation von unterschiedlichen Prüfstrategien wird sich bezüglich der Fehlerprävention auf diese Verfahren beschränkt, die vorab allgemeinen erläutert werden:

1. *Pickliste*: Das einfachste Verfahren zur Versorgung des Kommissionierers mit den zur Bearbeitung eines Kommissionierauftrags benötigten Informationen ist die Bereitstellung einer Pickliste, aus der die abzuarbeitenden Positionen zu entnehmen sind. Diese beleggebundene Art des Kommissionierens stellt unter den hier betrachteten Verfahren die klassische Methode dar und zeichnet sich durch einen geringen Automatisierungsgrad aus, der das Verfahren einfach und kostengünstig macht. Mit dem geringen Automatisierungsgrad geht allerdings auch ein vergleichsweise hohes Fehlerpotential einher, da die Lenkung des Kommissionierers nur eine geringe Intensität aufweist und mit dem Prozess die permanente, inhärente Gefahr des Verlesens einhergeht. Ungünstig ist darüber hinaus der hohe Totzeitanteil zur Identifizierung der nächsten Entnahmeposition und der Handhabung der Liste. (vgl. [tHS07], [GIM09])

Eine gängige Variante der picklistenbasierten Kommissionierung stellt die Verwendung von Klebeetiketten dar, um die Entnahmeeinheiten mit diversen Informationen zu versehen. Eine Quittierung kann in Form des Abhakens einzelner Positionen bzw. des Abzeichnen abgeschlossener Kommissionierlisten eingebunden werden.

Alternativ zum beleggebundenen Kommissionieren unter Rückgriff auf Picklisten existieren beleglose Verfahren, die insbesondere den Vorteil einer Online-Erfassung des Bearbeitungsfortschritts bieten und daher einen Flexibilitätsvorteil aufweisen. Derartige Verfahren unterstützen außerdem bessere Möglichkeiten der Quittierung. Auch die relevanten beleglosen Verfahren werden kurz skizziert:

2. *Datenterminal (inkl. Scanner)/Pick-by-Scan*: Die displaygestützte Kommissionierung mit einem Datenterminal (DT) weist eine große Ähnlichkeit zur Picklisten-Kommissionierung auf und kann prinzipiell als deren papierlose Variante aufgefasst werden. Wie aus einer Pickliste entnimmt der Kommissionierer die einzelnen Positionen eines Kommissionierauftrags dem Display. Entsprechend niedrig ist auch hier der Grad der Kommissionierführung. Gegenüber der Pickliste ergibt sich allerdings der bereits genannten Vorteil der Online-Erfassung des Bearbeitungsstatus. Darüber hinaus erlaubt das Display durch die Möglichkeit der Kopplung mit weiteren Prüfgeräten eine Integration von Kontrollmethoden und lässt sich so in umfangreichere Prüfstrategien eingliedern. In der Praxis ist insbesondere die Kombination aus displaygestützter Kommissionierung und dem Einsatz von Scannern verbreitet. Unter displaygestützter Kommissionierung wird daher im Rahmen dieses Berichtes der kombinierte Einsatz von Scannern und mobilen Displays verstanden.
3. *Pick-by-Light*: Das Pick-by-Light-Verfahren ist ein nichtpersonengebundenes Kommissionierverfahren, da die zugehörige Technik nicht vom Kommissionierer mitgeführt wird, sondern im Regal verbaut ist. Signallichter zeigen den Ort der zu kommissionierenden Ware und Ziffernanzeigen die entsprechende Menge an. Die Quittierung erfolgt mittels einer im Lagerplatz integrierten Taste. Dies weist in der Praxis aber den Nachteil auf, dass Kommissionierer dazu tendieren, die Taste schon vor dem Pick in der geforderten Häufigkeit zu drücken und so üblicherweise Mengenfehler produzieren. (vgl. [tHo08], [ArF09])
In wie fern der optische Suchaufwand zum Auffinden eines Regalfachs gegenüber dem einfachen Ablesen bei der Kommissionierung mit Pickliste oder Display vorteilhaft ist, ist vor allem von der Ausgestaltung des Kommissionierbereichs abhängig. Durch die strenge Führung des Kommissionierers hin zu einem markierten Regalfach wird aber insbesondere dem Auslassen von Positionen und der Entstehung von Typfehlern entgegengewirkt. (vgl. [tHS07], [Mar09])
4. *Pick-by-Voice*: Das Pick-by-Voice-Verfahren bedient sich der Sprache als natürliche Kommunikationsform. Sowohl die Auftragsübermittlung als auch die Rückmeldung erfolgt akustisch über Kopfhörer bzw. Mikrofon. Das Verfahren zeichnet sich vor allem durch hohe zeitliche Effizienz aus, da die Informationsübermittlung parallel zum Kommissionierprozess stattfinden kann und der Kommissionierer seine Hände und Augen zum simultanen Handling der Waren nutzt. Studien belegen, dass das Pick-by-Voice-Verfahren allen bisher vorgestellten Verfahren zur Kommissionierführung bezüglich der durchschnittlichen Fehlerraten überlegen ist. (vgl. [Pul09], [Arn06], [Lol03])

Sämtlichen Verfahren ist gemein, dass eine Rückkopplung mit der im Rahmen der gewählten Kommissionierstrategie festgelegten Wegstrategie stattfinden muss. Dies hat zwar keinen Einfluss auf die Kommissionierqualität, ist aber entscheidend für die Kommissionierleistung.

Bezüglich der Flexibilisierung der Kommissionierung spielen die Verfahren der Kommissionierführung keine Rolle. Ein Wechsel zwischen den Verfahren ist mit erheblichem organisatorischem und finanziellem Aufwand verbunden und eignet sich daher nicht für kurzfristige Änderungen. Um eine situationsgerechte Prüfstrategie zu ermitteln, muss aber berücksichtigt werden, wie die Kommissionierführung ausgestaltet ist, da dies große Auswirkungen auf die Kommissionierqualität und die zu integrierenden Prüfungen hat.

FEHLERDETEKTION DURCH KONTROLLMECHANISMEN

Methoden zur Fehlerdetektion dienen der Identifikation bereits aufgetretener Fehler. Dabei ist unter einem aufgetretenen Fehler nicht zwangsläufig ein bereits falsch kommissioniertes Teil zu verstehen. Ein Fehler ist bereits aufgetreten, wenn ein Kommissionierer einen anderen als den tatsächlich zu kommissionierenden Artikel aufnimmt und auf Richtigkeit prüft, die Kommissioniererführung also nicht erfolgreich war. Als Prüfmethode betreffend den Kommissionierprozess sind oben bereits das Wahrnehmen, das Zählen und das Vergleichen von Merkmalen angeführt worden. Die nachstehende Tabelle nimmt eine qualitative Beurteilung der grundsätzlich in der Kommissionierung einsetzbaren Prüfmittel bzgl. ihrer Eignung für diese Prüfmethode vor.

<i>Prüfmittel</i>	<i>Wahrnehmen</i>	<i>Zählen</i>	<i>Vergleichen</i>
Ohne	+	O	O
Stationäre Datenterminals	+	O	+
Mobile Lesegeräte	+	O	+
Mobile Datenterminals	+	O	+
Stationäre Wägesysteme	+	O	+
Mobile Wägesysteme	+	O	+
Bildverarbeitung	+	+	O
+ = gut geeignet		O = bedingt geeignet	

ABBILDUNG 3-5: EIGNUNG PRÜFMITTEL HINSICHTLICH PRÜFMETHODEN

Mit der Auswahl der Prüfmittel wird mittelbar auch die Prüfmaßnahme definiert. In der Kommissionierung häufig anzutreffende *Prüfmaßnahmen*, die im weiteren Verlauf auch wesentlicher Bestandteil des Simulationskonzepts sein werden, sind kurz zu charakterisieren. Dazu werden die Verfahren beschrieben und anschließend tabellarisch anhand einiger Merkmale klassifiziert. Dies betrifft insbesondere die Ausprägung der Prüfdimensionen und vorweggreifend bereits die Angabe der Entdeckungswahrscheinlichkeiten bezüglich verschiedener Fehlerarten:

1. Das einfachste Prüfverfahren stellt die *Sichtprüfung* ohne technische Hilfsmittel dar. Sie beruht auf der visuellen Kontrolle von Merkmalen und erlaubt die Identifikation sowie die Feststellung von Zustand und Menge verschiedener Artikel. Unterstützend kann dabei auf eine Checkliste zurückgegriffen werden.
Die Sichtprüfung im Kommissionierprozess findet nach der Entnahme eines Artikels aus einem Lagerplatz und vor der Ablage des Artikels in einen Sammelbehälter statt. Die Entdeckungswahrscheinlichkeiten von Fehlern ist situationsbedingt von der Entnahmeart abhängig. Bei der Sammelentnahme mehrerer Artikel sind die Entdeckungswahrscheinlichkeiten teilweise geringer.

Sichtprüfen							
Dimensionen der Prüfung	Prüfart	qualitativ					
	Prüfumfang	flexibel					
	Prüfort	ortsfrei					
	Prüfzeitpunkt	prozessnah					
Fehlerart spezifische Entdeckungswahrscheinlichkeit	Prüfmerkmal	Typfehler	Auslassungsfehler	Mengenfehler	Zustandsfehler	Ablegefehler	Abgabefehler
	Prüffähigkeit	geeignet	ungeeignet	geeignet	geeignet	ungeeignet	ungeeignet
	Entdeckungswahrscheinlichkeit [%]	Einzel: 95 Mehrere: 90	0	95	Einzel: 90 Mehrere:80	0	0

ABBILDUNG 3-6: PRÜFVERFAHREN SICHTPRÜFEN

- Bei dem Prüfverfahren des *Scannens* werden Informationen unter Zuhilfenahme eines elektro-optischen Geräts eingelesen. Dabei ist zwischen dem Scannen von Geometrien und dem Scannen von Barcodes zu unterscheiden. Da das Scannen von Geometrien in der manuellen Kommissionierung üblicherweise nicht eingesetzt wird, beschränken sich die weiteren Ausführungen auf das Scannen von Barcodes. Dies erfolgt häufig als Einzelquittierung zur Kontrolle jedes einzelnen Artikels eines Auftrags, um sicherzustellen, dass diese sowohl in der richtigen Menge als auch in der richtigen Zusammensetzung kommissioniert werden. Die Scanner werden dabei vom Kommissionierer mitgeführt und erlauben eine prozessnahe, ortsfreie Kontrolle.

In dem Kommissionierprozess kann der Scanvorgang zur Identifikation des korrekten Lagerplatzes oder eines bestimmten Artikels verwendet werden. Entsprechend handelt es sich bei den Prüfungen um einen Platz- bzw. einen Artikelscan. Wird eine Artikelscan in der oben geschilderten Weise bei jedem Artikel einzeln vorgenommen, liegt eine Einzelquittierung vor.

Scannen								
Dimensionen der Prüfung	Prüfart	quantitativ						
	Prüfumfang	flexibel (i.d.R. 100%)						
	Prüfort	ortsfrei						
	Prüfzeitpunkt	prozessnah						
Fehlerart spezifische Entdeckungswahrscheinlichkeit	Prüfmerkmal	Typfehler	Auslassungsfehler	Mengenfehler	Zustandsfehler	Ablegefehler	Abgabefehler	
	Prüffähigkeit	geeignet	teilweise geeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	
	Entdeckungswahrscheinlichkeit [%]	Platzscan	99,5	0	0	0	0	0
		Artikelscan	99,5	0	0	0	0	0
Einzelquit.		99,5	99	0	0	0	0	

ABBILDUNG 3-7: PRÜFVERFAHREN SCANNEN

3. Eine Art „akustischer Scanvorgang“ kann bei der Pick-by-Light-Kommissionierung vorgesehen werden, wenn eine Kontrolle eines gegriffenen Artikels anhand einer angebrachten Artikelkennung vorgenommen wird. Der Kommissionier spricht dafür die Artikelkennung aus, die vom System auf Übereinstimmung mit der tatsächlich zu kommissionierenden Artikelkennung geprüft wird.

Artikelkennung sprechen							
Dimensionen der Prüfung	Prüfart	quantitativ					
	Prüfumfang	flexibel (i.d.R. 100%)					
	Prüfort	ortsfrei					
	Prüfzeitpunkt	prozessnah					
Fehlerart spezifische Entdeckungswahrscheinlichkeit	Prüfmerkmal	Typfehler	Auslassungsfehler	Mengenfehler	Zustandsfehler	Ablegefehler	Abgabefehler
	Prüffähigkeit	geeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
	Entdeckungswahrscheinlichkeit [%]	99,5	0	0	0	0	0

ABBILDUNG 3-8: PRÜFVERFAHREN ARTIKELKENNUNG SPRECHEN

4. Das Verfahren des *Wiegens* beruht auf unterschiedlichen Eigengewichten der zu kommissionierenden Artikel und erlaubt eine zeitlich sehr effiziente Kontrolle der Kommissionieraufträge auf Vollständigkeit. Der Prüfumfang ist flexibel. In der Regel werden Sammeleinheiten als eine Einheit gewogen und so eine 100%-Prüfung vorgenommen. Abhängig davon, ob das Wiegesystem stationär installiert oder mobil ist, findet die Prüfung

entweder unmittelbar am Entnahmeort statt, oder es werden vollständige Kommissionieraufträge als Sammeleinheit an ortsfesten Prüfpunkten auf das korrekte Gewicht kontrolliert. Voraussetzung ist die Speicherung der Artikelgewichte im Materialstamm. Dieser Wiegevorgang entspricht einer Endprüfung. (vgl. [Mer07])

Da jede Waage aber mit einer gewissen Toleranz versehen ist, kommt es hinsichtlich der Einsatzgebiete zu gewissen Einschränkungen. So sind verschiedene Artikel, deren Gewichtsdivergenz innerhalb des Toleranzfensters liegt, nicht voneinander zu unterscheiden (vgl. [Cro07]). Ebenso problematisch ist das fehleranfällige Wiegen besonders kleiner Artikel, das entsprechend teure und empfindliche Waagen voraussetzt. Ob im Kommissionierprozess ein zweckmäßiger Einsatz des Wiegeverfahrens möglich ist, hängt also in hohem Maße vom Artikelsortiment ab.

Wiegen								
Dimensionen der Prüfung	Prüfart	quantitativ						
	Prüfumfang	flexibel ("Sammeleinheit")						
	Prüfort	ortsfrei/ortsgebunden						
	Prüfzeitpunkt	prozessnah						
Fehlerart spezifische Entdeckungswahrscheinlichkeit	Prüfmerkmal	Typfehler	Auslassungsfehler	Mengenfehler	Zustandsfehler	Ablegefehler	Abgabefehler	
	Prüffähigkeit	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	
	Entdeckungswahrscheinlichkeit [%]	Stationär (Endprüfung)	99	99,5	99,5	0	99,5	99,5
		Mobil	99	99,5	99,5	0	99,5	99,5

ABBILDUNG 3-9: PRÜFVERFAHREN WIEGEN

- Ein größeres Investitionsvolumen erfordern Verfahren der *automatisierten Prüfung*, die auf Lichtschranken, taktile Sensoren oder Bildverarbeitungen zurückgreift, innerhalb der manuellen Kommissionierung aber zu vernachlässigen sind.

Die Gegenüberstellung von Prüfmitteln bzw. Prüfmaßnahmen verdeutlicht, dass bei der Auswahl eines Prüfmittels und der Entscheidung für eine bestimmte Prüfstrategie zu berücksichtigen ist, welche Fehlerart detektiert bzw. vermieden werden soll, da die Entdeckungswahrscheinlichkeiten der Prüfmittel diesbezüglich deutlich divergieren. Da auch hier der bereits mehrfach angesprochene Zielkonflikt zwischen Qualität und Kosten vorherrscht, ist bei der Wahl eines Prüfmittels nicht ausschließlich eine hohe Fehler-Entdeckungswahrscheinlichkeit ausschlaggebend. Zahlreiche weitere Faktoren sind hier zu berücksichtigen. Abschließend werden die Prüfmittel daher anhand der Kriterien 'Implementierungskosten', 'Zeitaufwand für die Prüfung' und 'Flexibilität' qualitativ gegenübergestellt.

<i>Prüfmittel</i>	<i>Implementierungskosten</i>	<i>Flexibilität</i>	<i>Zeitaufwand der Prüfung</i>
<i>Sichtkontrolle</i>	++	++	-
<i>Scannen</i>	0	+	+
<i>Wiegen</i>	0	+	0
++ = sehr gut	+ = gut	0 = mäßig	- = schlecht

ABBILDUNG 3-10: WEITERE FAKTOREN ZUR BEWERTUNG DER PRÜFMETHODEN

3.2.3 PRÜFUNGSRELEVANTE PROZESSKETTEN

Die vorangegangenen Abschnitte widmen sich der Darstellung von grundlegenden Maßnahmen bzw. Techniken, die durch die Integration in den Kommissionierprozess zur Fehlerprävention bzw. –detektion beitragen. In einem nächsten Schritt ist nun darzustellen, welche ablauforganisatorischen Konsequenzen mit dieser Integration einhergehen. Am anschaulichsten kann dieses Vorhaben durch die graphische Aufbereitung der Abläufe mittels Prozessketten geschehen.

Ausgehend von den generellen materialflusstechnischen Grundfunktionen, die bereits in Abschnitt 2.1 angesprochen wurden, sind verschiedenen Varianten des Kommissionierprozesses aufzuzeigen. Als maßgeblich für die Organisation des Kommissioniervorgangs ist dabei die Technik anzusehen, die zur Führung des Kommissionierers, also zur Fehlerprävention eingesetzt wird. Somit ist je eine Prozesskette für jedes der vier betrachteten Verfahren zur Kommissionierführung aufzustellen. Für die Varianten der *Picklisten-Kommissionierung*, des *Pick-by-Scan*, des *Pick-by-Light*- und des *Pick-by-Voice-Verfahren* erfolgt je eine gesonderte Betrachtung, bevor schließlich einzelne Bestandteile dieser Prozessketten einer gemeinsamen, detaillierteren Analyse unterzogen werden.

Der chronologische Ablauf eines typischen Kommissioniervorgangs aus Abschnitt 2.1 kann aber nur zur groben Orientierung herangezogen werden, die eine weitere Detaillierung erforderlich macht. Dabei wird der Fokus auf diejenigen Teilprozesse gelenkt, die qualitätsrelevant sind und somit die Kommissionierqualität maßgeblich bestimmen. Die in der Prozesskette enthaltenen Bewegungstätigkeiten bilden die Schnittstelle zu den Wegstrategien, die in den Bereich der Kommissionierstrategien fallen und damit nicht Betrachtungsgegenstand dieses Abschnitts sind.

KOMMISSIONIERPROZESSE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KOMMISSIONIERERFÜHRUNG

Die bei KMU typischerweise vorzufindenden Systeme lassen sich wie bereits geschildert in die vier Gruppen „beleggebundene Kommissionierung mit Pickliste“, „Pick-by-Scan“, „Pick-by-Light“ und „Pick-by-Voice“ einteilen. Im Hinblick auf die spätere, prozessgerichtete Simulation der Kommissioniertätigkeiten, müssen Prozessbeschreibungen der Abläufe auf einem geeigneten Abstraktionsniveau vorliegen. Diese sind so zu gestalten, dass Unterschiede zwischen den Varianten hinsichtlich des Zeitbedarfs deutlich werden. Eine zu detaillierte Unterteilung führt allerdings zu einem Overhead bei der Datenermittlung, dem keine signifikante Verbesserung der Simulation und der Ergebnisse gegenübersteht.

Neben der Beschreibung der Prozessketten erfolgt deren Visualisierung. In den entsprechenden Darstellungen finden sich gegebenenfalls optionale Elemente. Diese in den Abbildungen gestrichelt dargestellten Prozesselemente sollen die Abläufe und deren Kausalität veranschaulichen, etwa indem das Ablesen des Bereitstellortes an den Anfang der Prozesskette gestellt wird. Der Fokus der Beschreibungen liegt aber auf den qualitätsrelevanten Tätigkeiten. Die Schnittstelle zu den

„Leistungs- und Wegstrategien“ ist jeweils durch das in grau hervorgehobene Element „Bewegung“ gegeben. Zudem werden die Einflussgrößen, die auf die Prozesselemente einwirken, dargestellt. Diese beeinflussen die Ausgestaltung der betroffenen Prozessschritte und können signifikante Einflüsse auf den entsprechenden Zeitbedarf und die Prozessqualität haben.

Die Prozessschritte zur Artikelentnahme haben die Auftragsposition als Betrachtungsgegenstand, d.h. die genannten Tätigkeiten werden vom Kommissionierer für jede Auftragsposition durchgeführt (vgl. auch [AIF14638]). Die abschließenden Prozessschritte „Abgabe“ und „Endprüfung“ beziehen sich hingegen nicht auf einzelne Positionen, sondern auf deren Aggregation in Sammel- oder Versandbehältern. Im Hinblick auf die Simulation bedeutet dies, dass der Zeitbedarf für diese Prozessschritte auf alle enthaltenen Positionen gleichermaßen angerechnet werden muss.

Um Redundanzen zu vermeiden, ist der bereits erwähnte zweigeteilte Aufbau dieses Abschnitts vorgesehen: Zunächst erfolgt die Betrachtung der generellen Kommissionierabläufe in Abhängigkeit des vorliegenden Verfahrens zu Kommissioniererführung. Anschließend werden die besonders qualitätsrelevanten Teilprozesse „Entnahme und Ablegen“, „Abgabe“ und „Endprüfung“, die Bestandteil aller vier Prozessketten sind und auf die innerhalb der Betrachtung der Gesamtprozesskette nur kurz eingegangen wird, gesondert betrachtet. In den Darstellungen sind die entsprechenden Prozesselemente hervorgehoben.

KOMMISSIONIERUNG MIT PICKLISTE

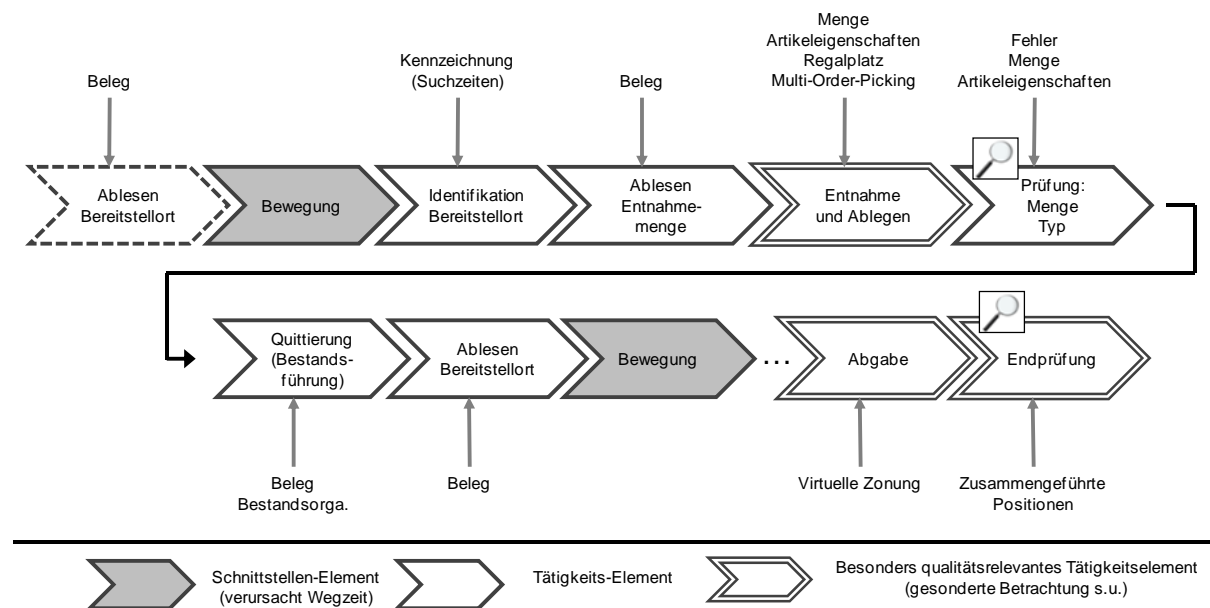


ABBILDUNG 3-11: GRUNDLAGEN-PROZESSKETTE FÜR BELEGGEFÜHRTE KOMMISSIONIERUNG

Die Kommissionierung mit Pickliste ist die am wenigsten automatisierte der manuellen Kommissionierarten. Der Gesamtablauf ist in Abbildung 3-11 dargestellt. Die Information zum Kundenauftrag wird per Beleg an der Basis des Systems an die Kommissionierer weitergeben. Daraufhin begibt sich der Kommissionierer auf den Weg zur ersten Entnahme. Den Bereitstellort liest er dazu vom Beleg ab (oder es ergibt sich für ihn die Möglichkeit, aus Artikelname oder -kennung auf den Bereitstellort zu schließen). Nach dem Ansteuern der Regalzeile erfolgt die Identifikation des Bereitstellortes – in den meisten Fällen eines Regalplatzes – über den Abgleich der Fachnummer mit

der auf dem Beleg angegebenen Nummer. Der Kommissionierer liest die zu entnehmende Menge an Artikeln für diese Position, und beginnt mit der Entnahme. Diese kann je nach Szenario bzw. Artikeleigenschaft unterschiedlich ausgeprägt sein. So sind etwa bei Multi-Order-Picking mehrere Sammelbehälter zu befüllen oder bei der Entnahme mehrere handliche Artikel gleichzeitig zu greifen. Die Entnahme-Tätigkeiten werden weiter unten gesondert aufgegriffen und detailliert betrachtet. Nach erfolgter Entnahme und Ablage der Artikel muss der Kommissionierer die Entnahme auf dem Beleg quittieren und ggf. eine manuelle Bestandführung am Fach durchführen, um Nachschub auslösen zu können. Letzteres wird aber in die Betrachtungen der Prozessketten für die Prüfstrategien nicht mit einbezogen. Nach der Quittierung wird die nächste Auftragsposition vom Beleg gelesen und die Fortbewegung dorthin angetreten. Wurden alle Positionen auf diese Weise abgearbeitet, erfolgt im Fall Virtueller Zonen im Lager die Zusammenführung mehrerer Sammelbehälter mit Teilaufträgen zum Gesamtauftrag. Abschließend wird eine Endprüfung der Sammelbehälter vorgenommen, bei der der Auftrag vor der Weiterverarbeitung (Verpackung, Versendung) auf Fehlerfreiheit überprüft wird. Dies kann manuell, in vielen Fällen aber auch automatisiert, etwa über eine an das Warehouse-Management-System angeschlossene Wiegeeinrichtung, erfolgen. Auch für die Prozesselemente „Abgabe“ und „Endprüfung“ erfolgt die detaillierte Beschreibung weiter unten.

PICK-BY-SCAN: MOBILES DATENTERMINAL MIT SCANNER FÜR BARCODES

Aufgrund der auf Erfahrung beruhenden und damit mit einer hohen Einarbeitungszeit verbundenen z.T. schwankenden Leistung bei beleggeführter Kommissionierung, wird in vielen Fällen auf eine „einfache“ technische Unterstützung der Kommissionierer mittels eines mobilen Datenterminals (*handheld*, oder fest am Kommissionierwagen montiert) zurückgegriffen. Dabei werden häufig die Aspekte der Kommissionierführung und der Kommissionierprüfung miteinander vereint. Ein Display dient zur Anzeige von Bereitstellplatz, Artikel und Artikelmenge (und ggf. des Sammelbehälters, in den die Ablage erfolgen soll). Das Ablesen von einem Display ist vergleichbar mit dem Ablesen von einem strukturierten Beleg, beansprucht allerdings je nach Position des Displays etwas mehr Zeit. Der Barcode-Scanner erlaubt mittels dafür angebrachter Codes die Kontrolle des Bereitstellplatzes, des entnommenen Artikels (bei Einzelquittierung auch der Entnahmemenge) und des Sammelbehälters. Im Rahmen dieser Arbeit wird aber – sofern nicht explizit abweichend geschildert – von der gängigen Kopplung von Display und Scanner ausgegangen.

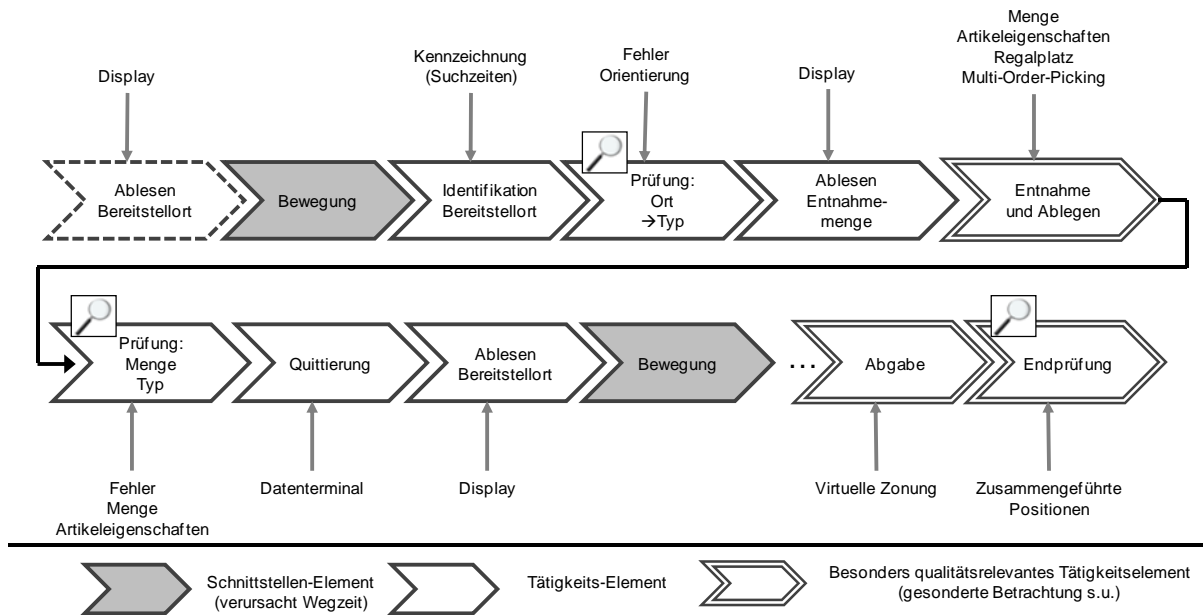


ABBILDUNG 3-12: GRUNDLAGEN-PROZESSKETTE FÜR PICK-BY-SCAN

Das generelle Vorgehen mit den entsprechenden Prüfmöglichkeiten ist in Abbildung 3-12 dargestellt. In diesem Fall wird der Abgabeort vom Display gelesen und der Kommissionierer begibt sich zur Entnahmestelle. Nach dem Ansteuern der Regalzeile erfolgt die Identifikation des Bereitstellortes über den Abgleich der Fachnummer mit der angezeigten Nummer. Die fehlerfreie Orientierung des Kommissionierers kann sichergestellt werden, indem der Regalplatz gescannt wird. Das Datenterminal kann nach einem Abgleich mit dem erwarteten Regalcode einen möglichen Fehler signalisieren und weitere Eingaben so lange blockieren, bis der korrekte Barcode gescannt wurde. Anschließend beginnt der Kommissionierer, die vom Display gelesene Menge der Position zu entnehmen. Nach erfolgter Entnahme und Ablage der Position kann diese wiederum auf Vollständigkeit geprüft werden. Der Kommissionierer quittiert anschließend die Entnahme (meist durch Bestätigung der entnommenen Menge) und bekommt den nächsten Bereitstellort angezeigt. Datenterminals bieten außerdem die Möglichkeit, Mindermengen oder zusätzliche Entnahmen, die im Falle von Beschädigungen am Artikel auftreten, zu quittieren. Mit der Bewegung des Kommissionierers zum nächsten Entnahmeort (Schnittstelle zum Wege-Modell) wiederholt sich der Vorgang. Ist eine Zonung vorgesehen, kann der Scanner bei der abschließenden Auftragsabgabe erneut unterstützend eingesetzt werden, indem die Aufnahmebehälter ebenfalls mit Barcodes versehen werden. Die Endprüfung erfolgt auch hier zumeist über ein automatisiertes Wiegesystem.

PICK-BY-LIGHT

Das Mitführen und die Handhabung mobiler Barcode-Scanner schränken den Kommissionierer in seinen Bewegungen und hinsichtlich seiner Tragekapazität ein. Mit dem Ziel dem Kommissionierer beide Hände für Kommissioniertätigkeiten zur Verfügung zu stellen, setzt das Verfahren Pick-by-Light darauf, Anzeigen und Quittiervorrichtungen an den Regalplätzen anzubringen. Außer dem Kommissionierhandwagen führt der Kommissionierer keine Betriebsmittel mit sich. Die Pick-by-Light-Anzeigen geben Entnahmeort und -menge vor.

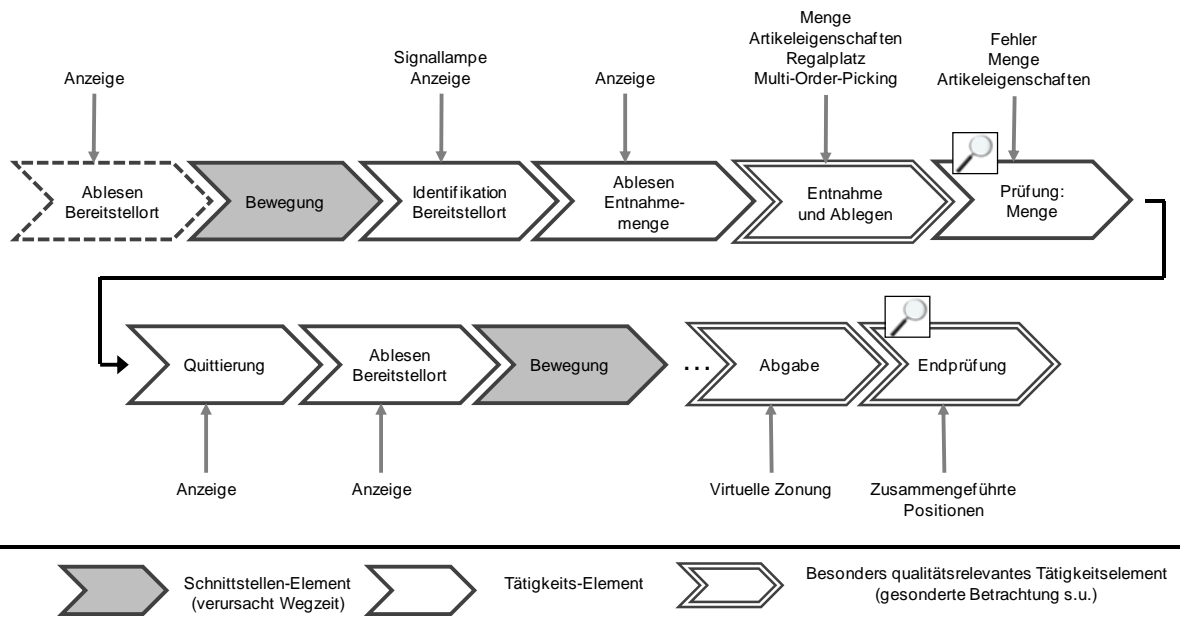


ABBILDUNG 3-13: GRUNDLAGEN-PROZESSKETTE FÜR PICK-BY-LIGHT

Der Gesamtablauf ist in Abbildung 3-13 dargestellt. Nach Ablesen des Entnahmeortes von einer solchen Anzeige (oder an der Basis) bewegt sich der Kommissionierer dorthin. Die Identifikation des Regalplatzes erfolgt direkt über die Signalleuchte. Bei mehreren Kommissionierern muss zusätzlich (z.B. durch eine Farbmarkierung) eine eindeutige Zuordnung der zu bearbeitenden Position erfolgen. Neben dem Signal zur Ortsangabe zeigt die Anzeige die zu entnehmende Menge an. Der Kommissionierer liest diese ab und beginnt mit der Entnahme. Im Anschluss quittiert er die entnommene Menge (zumeist sind auch hier einfache Möglichkeiten zur Mengenkorrektur vorgesehen) und bekommt daraufhin den nächsten Entnahmeort auf dem am Regalfach angebrachten Display angezeigt. Nach dem Ablesen begibt sich der Kommissionierer dorthin. Die Abgabe und mögliche Zusammenführung von Sammelbehältern geschieht ebenso wie die Endprüfung analog zum bereits vorgestellten Ablauf. Ein „Zielbehälter“ bei der Zusammenführung kann aber auch durch eine Pick-by-Light-Signalanzeige angegeben werden.

PICK-BY-VOICE

Das letzte der vorzustellenden Methoden der Kommissionierführung ist die Pick-by-Voice-Kommissionierung. Wie bei Pick-by-Light steht die Bewegungsfreiheit und Unabhängigkeit von mitzuführenden Datenendgeräten und Scannern im Vordergrund. Die Kommunikation mit dem Gesamtsystem erfolgt sprachbasiert.

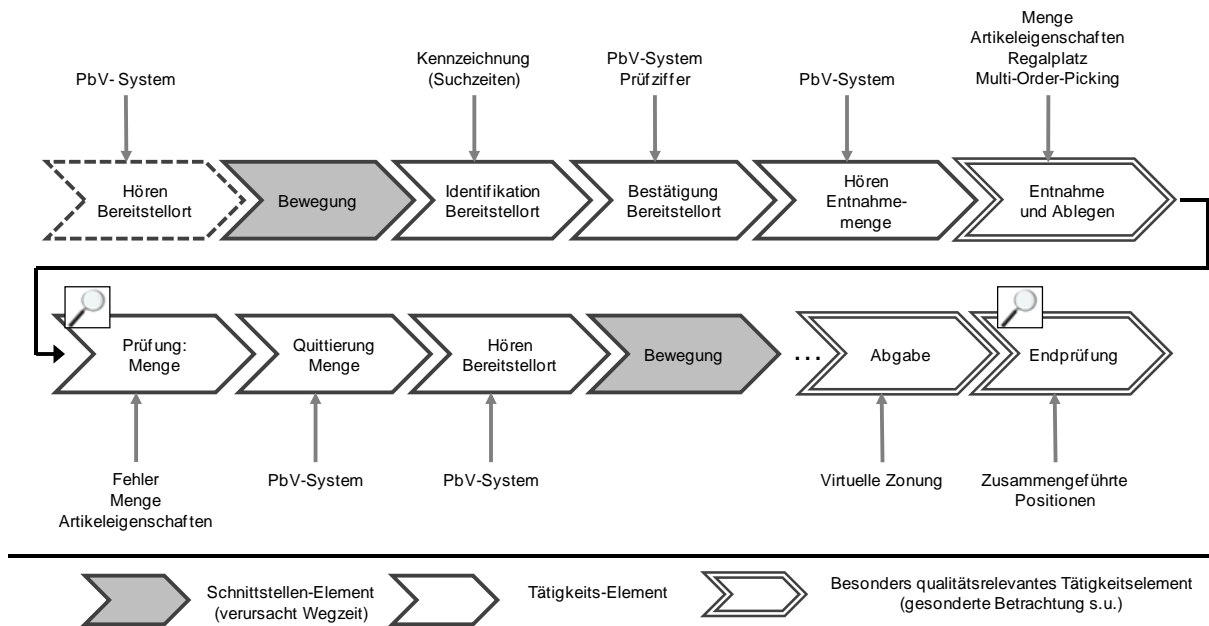


ABBILDUNG 3-14: GRUNDLAGEN-PROZESSKETTE FÜR PICK-BY-VOICE

Der Kommissionierer bekommt einen Bereitstellort vom System genannt und begibt sich dorthin. Die endgültige Identifikation des Regalplatzes erfolgt über den Abgleich der genannten Regalnummer mit den Regalbezeichnern. Bei Unsicherheit besteht für den Kommissionierer die Möglichkeit, die letzten Ansagen wiederholen zu lassen. Zudem werden Regalfächer von ihm über gesprochene Prüfziffern bestätigt. Das System nennt die zu entnehmende Menge für die vorliegende Auftragsposition. Nach erfolgter Entnahme wird diese Menge durch Ansage der Anzahl entnommener Einheiten quittiert. Der Kommissionierer bekommt daraufhin den nächsten Bereitstellort genannt und begibt sich dorthin. Sind alle Positionen kommissioniert, kann eine mögliche Zusammenführung von Sammelbehältern aus zwei Virtuellen Zonen über das Pick-by-Voice-System gesteuert werden. Die Endprüfung der zusammengeführten Positionen erfolgt wie gehabt.

Das Prinzip der sprachgestützten Kommissionierung ist in Abbildung 3-14 dargestellt. An dieser Stelle ist allerdings der Hinweis erforderlich, dass sich die Pfeildarstellung des Prozesses, die einen chronologischen Ablauf suggeriert, als irreführend erweist. Pick-by-Voice bietet aufgrund der Sprachsteuerung hinsichtlich des Zeitbedarfs den Vorteil, dass einzelne Tätigkeiten parallel ausgeführt werden können. So kann der Kommissionierer mit der Fortbewegung beginnen und „auf dem Weg“ den nächsten Entnahmeort genannt bekommen. Durch die Sprachführung ist keine physikalische Nähe zu bestimmten Anzeigen oder Quittiervorrichtungen erforderlich.

DETAILANALYSE EINZELNER KOMMISSIONIERPROZESSE

Wie eingangs erwähnt, widmet sich dieser Abschnitt der detaillierten Betrachtung derjenigen Prozesselemente, die als besonders qualitätsrelevant anzusehen sind und in den vorangegangenen Ausführungen weitgehend vernachlässigt wurden. Dies betrifft sowohl die Entnahme- und Ablegetätigkeiten, als auch die den Kommissioniervorgang abschließenden Tätigkeiten der Abgabe und Endprüfung.

ENTNAHME- UND ABLEGEN

In sämtlichen bisherigen Prozessketten sind die Entnahme- und Ablagetätigkeiten weitgehend vernachlässigt bzw. nur am Rande diskutiert worden. Da diese Tätigkeiten aufgrund der Vielzahl der wirkenden Einflussgrößen und ihrer Bedeutung für den Kommissionierprozess eine zentrale Rolle einnehmen, sollen sie aber im Folgenden gesondert betrachtet werden.

Als bedeutsamste Einflussgröße auf den Prozess der Entnahme ist das Artikelspektrum auszumachen, das auf einer geeigneten Abstraktionsebene mit zu berücksichtigen ist, da die Artikeleigenschaften den Prozess maßgeblich beeinflussen. Es lassen sich drei von den Artikeleigenschaften abhängige Varianten unterscheiden: die *Einzelentnahme* und die *Sammelentnahme* als Extremfälle im Hinblick auf die zu entnehmenden Einheiten, sowie die „gemischte“ Variante der *Sammelentnahme mit maximaler Menge k*.

Bei der „Einzelentnahme“ wird davon ausgegangen, dass jede Entnahmeeinheit einzeln vom Kommissionierer aus dem Regal entnommen und zur Ablage geführt wird. Der Fall „Sammelentnahme“ geht hingegen davon aus, dass der Kommissionierer die vorgegebene Menge Entnahmeeinheiten auf einmal entnehmen und zur Ablage bringen kann. Oftmals schränken aber die Artikeleigenschaften wie Artikelgeometrie, -masse und -volumen die maximal gleichzeitig handhabbare Anzahl an Teilen deutlich ein. In einem solchen Fall muss eine (konstante) Anzahl an Artikeln für die Entnahme angenommen werden. Einzel- und Sammelentnahme sind demnach als Spezialfälle mit $k=1$ und k =Entnahmemenge aufzufassen. Entsprechend der maximal vom Kommissionierer zu bewältigenden Entnahmemenge führen diese Varianten zu unterschiedlichen Pickzahlen, was bei der Auswertung der Kommissionierleistung eine wichtige Rolle spielt. Ein Pick ist in diesem Zusammenhang definiert als einzelner Zugriff auf einen Regalplatz. Bei der Einzelentnahme entspricht die Anzahl der Picks folglich der Entnahmemenge. Bei Sammelentnahme i.e.S. liegt nur ein Pick vor, und die Variante „Sammelentnahme mit k “ führt zu $[Entnahmemenge / k]$ Regalzugriffen.

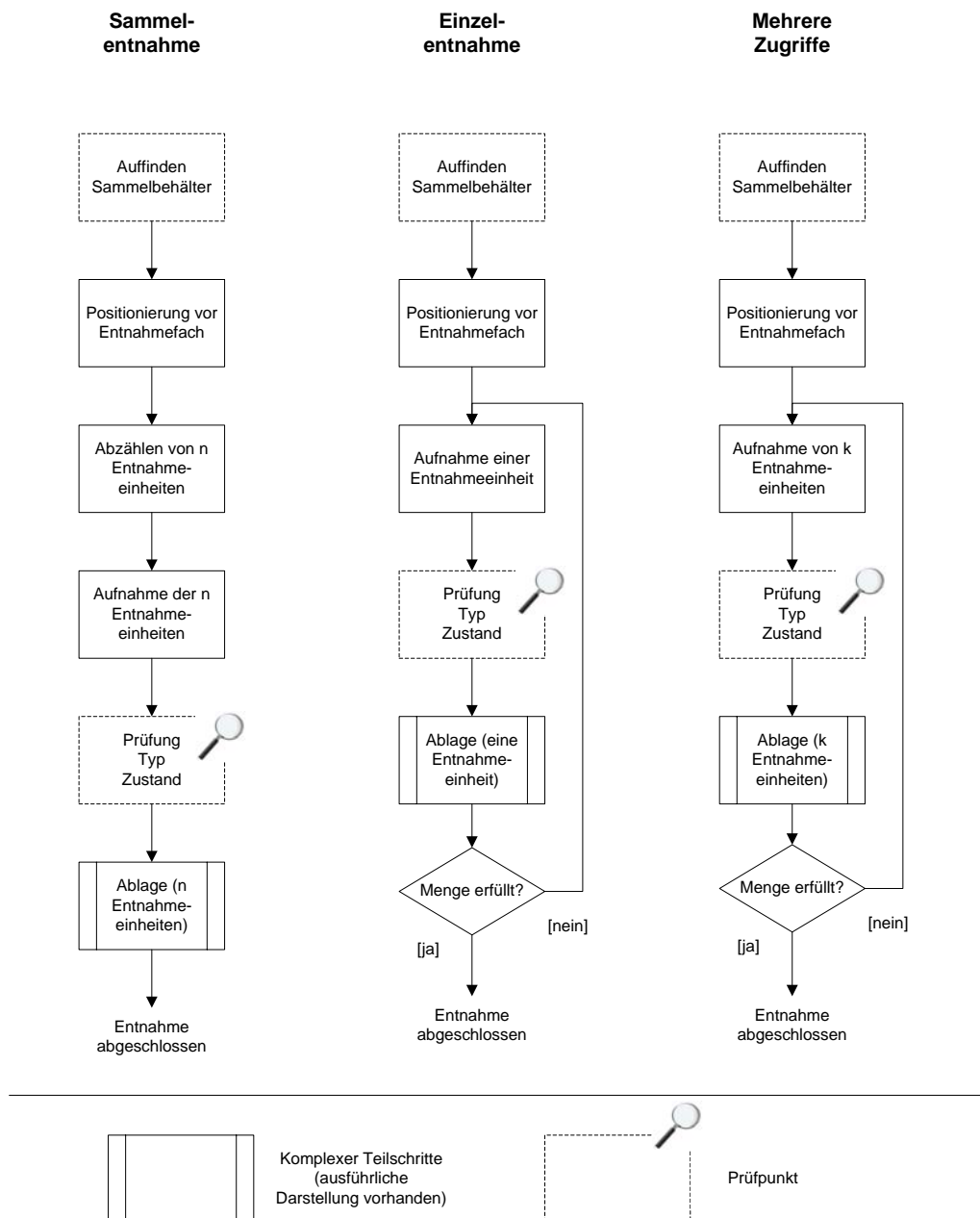


ABBILDUNG 3-15: VARIANTEN DER ARTIKELNENTNAHME

Abbildung 3-15 veranschaulicht die alternativen Entnahmeprozesse anhand von Ablaufdiagrammen. Sämtliche Entnahmen beginnen mit der Positionierung des Kommissionierers vor dem Entnahmefach. Diese wird von der Art des verwendeten Regals, von der erwarteten Greifhöhe und -tiefe, sowie von dem zu entnehmenden Artikel beeinflusst. Bei den „Sammel-Varianten“ erfolgt nun ein Abzählen der Einheiten, entweder bis zur Höhe der Entnahmemenge oder bis zur Höhe der maximal bei einer Entnahme handhabbaren Einheiten. Liegt die entsprechende Information vor, kann die Identifikation des Artikels erfolgen. Zudem lassen sich an dieser Stelle Prüfungen des Artikelzustandes in den Prozessablauf einbinden. Besonders geeignet ist dazu die Einzelentnahme, da der Kommissionierer genau einen Artikel gleichzeitig händelt. Bei Sammelentnahmen sind Zustandsprüfungen ebenfalls möglich, evtl. aber weniger effektiv (s.u).

Die entnommenen Einheiten werden im Anschluss an ggf. erfolgte Kontrollen abgelegt. Neben der Entnahme ist aufgrund der unterschiedlichen Möglichkeiten zur technischen Ausgestaltung der Artikelablage auch dieser Teilprozess differenziert zu betrachten. Entscheidenden Einfluss hat der Einsatz des Multi-Order-Pickings. Erfolgt die Kommissionierung nach dem Prinzip des Single-Order-Picking, d.h. führt jeder Kommissionierer nur einen Auftrag mit sich, muss die Ablage der Entnahmeeinheiten nicht geführt werden, da eine eindeutige Zuordnung zu dem (einzigen) Sammelbehälter gegeben ist. Für eine Batchgröße $vBatch > 1$ parallel kommissionierter Aufträge kann die Unterstützung für die Ablage hingegen per Datenterminal oder per Sprach- bzw. Lichtsignal erfolgen. Letzteres wird als Put-to-Light bezeichnet und durch spezielle Kommissionierhandwagen unterstützt. Zur Veranschaulichung werden die Abläufe in Abbildung 3-16 dargestellt.

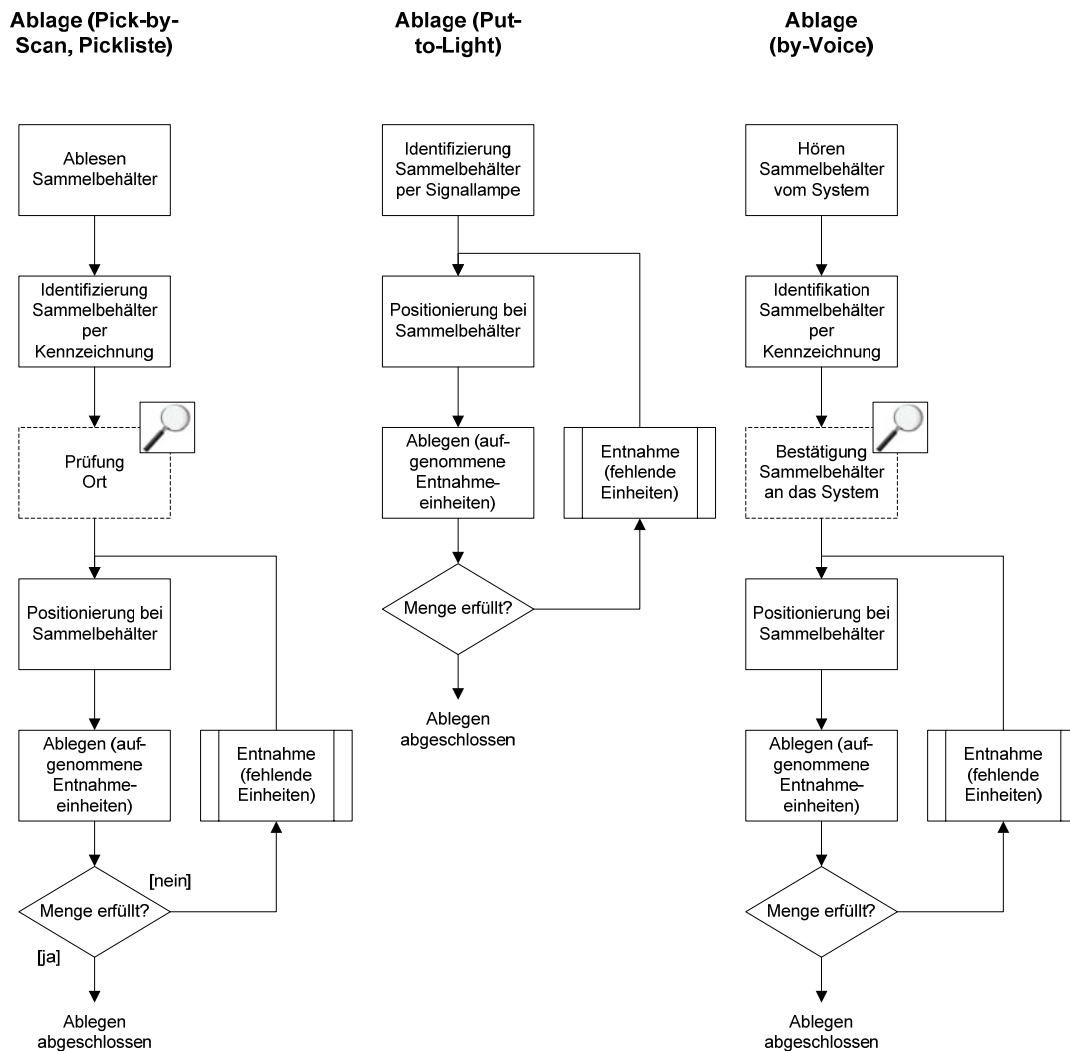


ABBILDUNG 3-16: ABLEGEN ENTNOMMENER ARTIKEL

Die Ablage per Datenterminal setzt voraus, dass der Kommissionierer den zu bedienenden Sammelbehälter vor oder nach der Entnahme vom Display des Terminals abliest. Der Sammelbehälter wird auf Basis der Angaben identifiziert. Weiter existiert die Möglichkeit, die Identität des Sammelbehälters durch Verwendung eines Scanners zu überprüfen. Wurde der korrekte Sammelbehälter ausgemacht, positioniert sich der Kommissionierer entsprechend und legt die aufgenommenen Entnahmeeinheiten ab. Sind noch weitere Einheiten zu entnehmen fährt er

damit fort, ansonsten schließt die Entnahme mit Beginn der Quittierung (siehe Haupt-Prozessketten) ab.

Das Ablegen per Put-to-Light erfordert kein Ablesen des Sammelbehälters vom Display – der entsprechende Behälter wird dem Kommissionierer per Lichtsignal angezeigt. Das eigentliche Ablegen der Artikel erfolgt wie zuvor beschrieben: Sind keine Artikel mehr zu entnehmen, fährt der Kommissionierer mit der entsprechenden Prozesskette zur Abarbeitung der Positionen fort.

Bei der sprachgeführten Kommissionierung wartet der Bearbeiter auf die Angabe des zu bedienenden Behälters und bestätigt ggf. die Identifikation durch das Ansagen einer mit dem Sammelbehälter verbundenen Prüfziffer, analog der Identifikation des Bereitstellorts.

ABGABE UND ENDPRÜFUNG

Sind im Anschluss an die Ablage keine weiteren Positionen zu entnehmen, erfolgt üblicherweise der Transport der Behälter zu einem speziellen Abgabeort oder zurück zur Basis, um einen neuen Auftrag zu beginnen und die gefüllten Behälter durch neue, leere zu ersetzen. Durch die Berücksichtigung Virtueller Kommissionierzonen im Modell muss nun allerdings die Zusammenführung von Sammelbehältern berücksichtigt werden, da die zu einem Auftrag gehörenden Positionen auf die Zonen verteilt sein können und die Zusammenführung ein gewisses Fehlerpotential birgt. Um einen Gesamtauftrag zu komplettieren sind demnach die zugehörigen Sammelbehälter zusammenzufassen. Die Abläufe sind erneut in Abhängigkeit der vorliegenden Technik zur Kommissionierführung dargestellt.

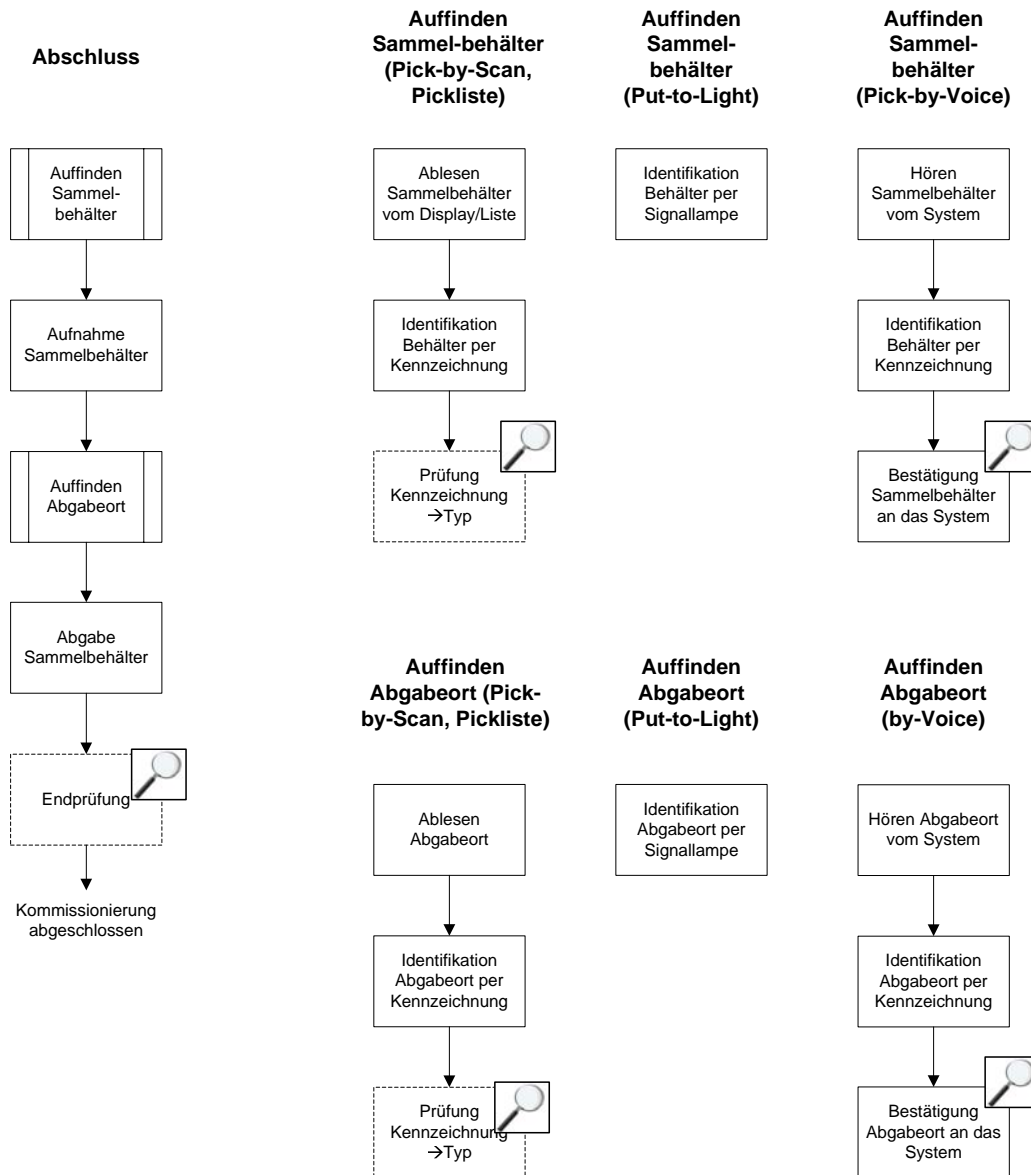


ABBILDUNG 3-17: VARIANTEN DER ABGABEVORGÄNGE UND ENDPRÜFUNG

Es sind Sonderfälle denkbar, die trotz vorhandener Zonung keine Zusammenführung erforderlich machen. So ist bei Ein-Positions-Bestellung oder in dem Fall, dass die bestellten Artikel allesamt in derselben Zone gelagert werden, eine abschließende Zusammenführung hinfällig. Von diesen stochastisch zu berücksichtigenden Einzelfällen abgesehen, verläuft die Abgabe der Sammelbehälter analog zur Ablage der Entnahmeeinheiten. Allerdings ändert sich der Betrachtungsgegenstand: Während beim Ablegen einzelne Positionen und die jeweilige Entnahmemenge betrachtet werden, sind bei der Abgabe die mit mehreren Positionen gefüllten Sammelbehälter zu betrachten. Sie werden entweder auf Paletten abgegeben, um anschließend weiterverarbeitet zu werden, oder aber vom Kommissionierer direkt in einen Zielbehälter gefüllt. Der Ausgangssammelbehälter und besagter Zielbehälter werden dazu wie oben beschrieben per Datenterminal, Pick-by-Light oder Pick-by-Voice identifiziert. Auch eine beleggeführte Zusammenführung ist theoretisch möglich, stellt aber kein praxisrelevantes Verfahren dar.

Das letzte Glied der Prozesskette bildet jeweils die Endprüfung der Kommissionierung. Sie soll die korrekte Kommissionierung aller bearbeiteten Positionen sicherstellen und verhindern, dass ein Fehler den Kunden erreicht. Der Endprüfung kommt folglich die wichtige Funktion zu, hohe Fehlerfolgekosten zu vermeiden. Daher wird sie in vielen Unternehmen bereits automatisiert über spezielle Wiegesysteme durchgeführt, die das Soll-Gesamt-Gewicht des Auftrags mit dem tatsächlichen Gewicht vergleichen. Diesem Verfahren liegt zugrunde, dass die typischen Fehlerarten bei der Kommissionierung bis auf wenige, statistisch kaum relevante Kombinationen, zu einer Gewichtsabweichung des Sammelbehälters gegenüber dem Sollgewicht führen. Indirekt kann so in vielen Fällen das Vorliegen eines Fehlers nachgewiesen werden, ohne allerdings den Fehlertyp oder den Zeitpunkt der Fehlerentstehung bestimmen zu können.

4 ABLEITUNG VON REFERENZSYSTEMEN

Um möglichst allgemeingültige und praxisgerechte Aussagen über den flexiblen Einsatz von Kommissionier- und Prüfstrategien in manuellen Kommissioniersystemen treffen zu können, wurden mehrere reale Systeme analysiert und aus diesen Referenzsysteme abgeleitet.

4.1 REFERENZSYSTEME ZUR UNTERSUCHUNG VON KOMMISSIONIERSTRATEGIEN (FLW)

Bei manuellen Kommissioniersystemen nach dem Prinzip „Person zur Ware“ handelt es sich überwiegend um Systeme mit rechteckigem Layout, in dem mehrere Gassen nebeneinander angeordnet sind. An den beiden Stirnseiten der Gassen befinden sich sog. Kopfgänge, über die ein Gassenwechsel möglich ist. Bei besonders großen Systemen und bei Systemen mit langen Gassen sind in der Regel Quergänge vorzufinden. Diese ermöglichen dem Kommissionierer einen Gassenwechsel auch innerhalb der Gasse, ohne zu einem der Kopfgänge zurückkehren zu müssen. Die Basis, die den Start- und Endpunkt einer Kommissioniertour darstellt, ist vorwiegend in einer zentralen Position vor einem Kopfgang platziert. Untersuchungen belegen jedoch, dass die Anordnung der Basis einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Wegzeit hat (vgl. [RdK01]). Die Bereitstellung von Entnahmeeinheiten erfolgt in der Regel in Fachbodenregalen oder auf Paletten in einer Bodenzeilenlagerung. Des Weiteren werden in den meisten Fällen Kommissionierwagen eingesetzt, die entweder selbst als Sammeleinheit fungieren oder dazu dienen, mehrere Sammeleinheiten mitzuführen. Die Fortbewegung des Kommissionierers erfolgt entweder zu Fuß oder mechanisiert mithilfe von angetriebenen Horizontalkommissionierern.

Die abgeleiteten Referenzsysteme unterscheiden sich hinsichtlich Systemgröße (Anzahl Artikel bzw. Bereitstelleneinheiten), Layout (Anzahl Gassen, Gassenlänge, Anzahl Quergänge), Lagertechnik sowie der Art der Fortbewegung des Kommissionierers (siehe Abbildung 4-1).

Die Referenzsysteme 1 bis 4 bilden unterschiedliche Realisierungsmöglichkeiten eines einfachen Fachbodenregallagers ab. Referenzsystem 2 (siehe Abbildung 4-3) unterscheidet sich dabei ausschließlich durch Hinzufügen eines Quergangs von Referenzsystem 1 (siehe Abbildung 4-3). Ebenso sind Referenzsystem 3 und 4 (siehe Abbildung 4-4) identisch, wobei Referenzsystem 4 in der Gassenmitte einen Quergang besitzt. Im Unterschied zu den Referenzsystemen 1 und 2 ist bei den Systemen 3 und 4 die Gassenlänge verdoppelt und die Anzahl der Gassen halbiert.

Ebenso können die Referenzsysteme 5, 6 und 7 zu einer Gruppe zusammengefasst werden. Sie stellen ein Palettenregallager mit Bodenzeilenbereitstellung und unterscheiden sich lediglich in der Anzahl an Quergängen (siehe Abbildung 4-5, Abbildung 4-6, Abbildung 4-7). Dies sind die Systeme mit den größten Systemabmessungen in der Untersuchung. Im Gegensatz zu den Referenzsystemen 1 bis 4 erfolgt die Fortbewegung des Kommissionierers in diesen Referenzsystemen mit einem Horizontalkommissionierer.

Die Referenzsysteme 8 und 9 repräsentieren ein großes Fachbodenregalsystem mit und ohne Quergang (siehe Abbildung 4-8). Diese Systeme beinhalten die größte Anzahl an Bereitstelleneinheiten im Versuchsfeld. Die Fortbewegung des Kommissionierers erfolgt auch hier mit einem Horizontalkommissionierer.

	Systemgröße	Layout			Lagertechnik	Fortbewegung
	Anzahl Bereitstelleinheiten	Anzahl Gassen	Anzahl Quergänge	Gassenlänge		
Referenzsystem 1	3.200	8	-	20,0m	Fachbodenregal	zu Fuß
Referenzsystem 2	3.200	8	1	22,5m	Fachbodenregal	zu Fuß
Referenzsystem 3	3.200	4	-	40,0m	Fachbodenregal	zu Fuß
Referenzsystem 4	3.200	4	1	42,5m	Fachbodenregal	zu Fuß
Referenzsystem 5	4.960	20	-	117,85m	Paletten-Bodenzeilenbereitstellung	Horizontalkommissionierer
Referenzsystem 6	4.960	20	1	122,12m	Paletten-Bodenzeilenbereitstellung	Horizontalkommissionierer
Referenzsystem 7	4.960	20	2	126,34m	Paletten-Bodenzeilenbereitstellung	Horizontalkommissionierer
Referenzsystem 8	12.288	8	-	96,0m	Fachbodenregal	Horizontalkommissionierer
Referenzsystem 9	12.288	8	1	98,5m	Fachbodenregal	Horizontalkommissionierer

ABBILDUNG 4-1: PARAMETER REFERENZSYSTEME

REFERENZSYSTEM 1

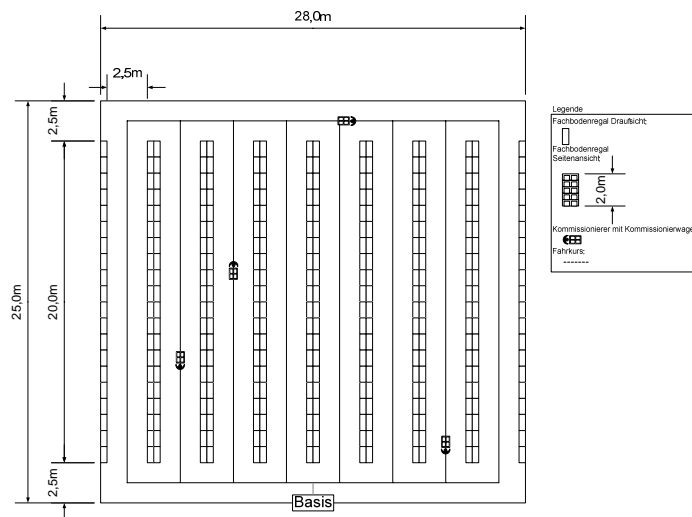


ABBILDUNG 4-2: LAYOUT REFERENZSYSTEM 1

REFERENZSYSTEM 2

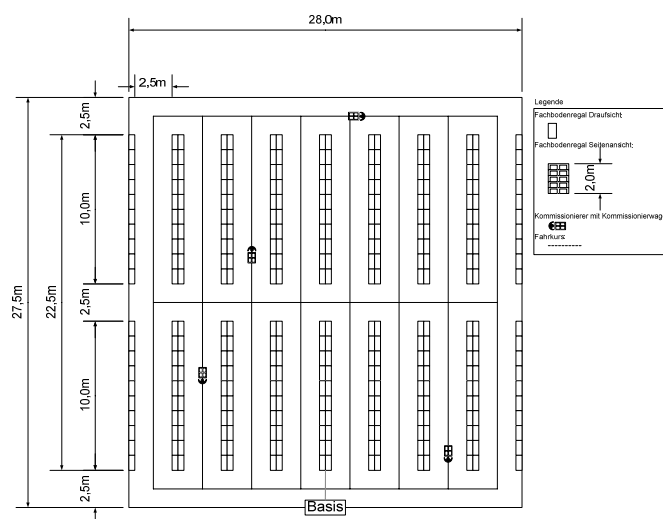


ABBILDUNG 4-3: LAYOUT REFERENZSYSTEM 2

REFERENZSYSTEM 3 (LINKS) UND 4 (RECHTS)

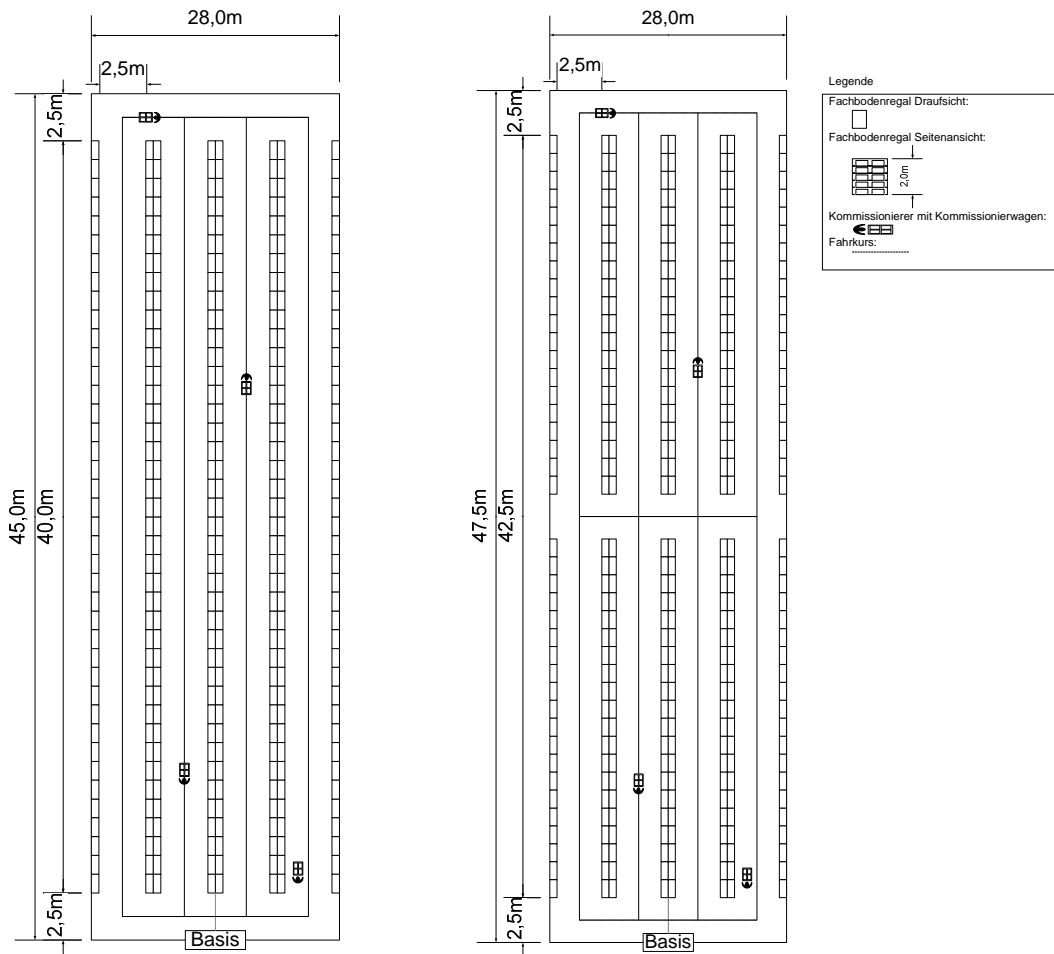


ABBILDUNG 4-4: LAYOUT REFERENZSYSTEM 3 UND 4

REFERENZSYSTEM 5

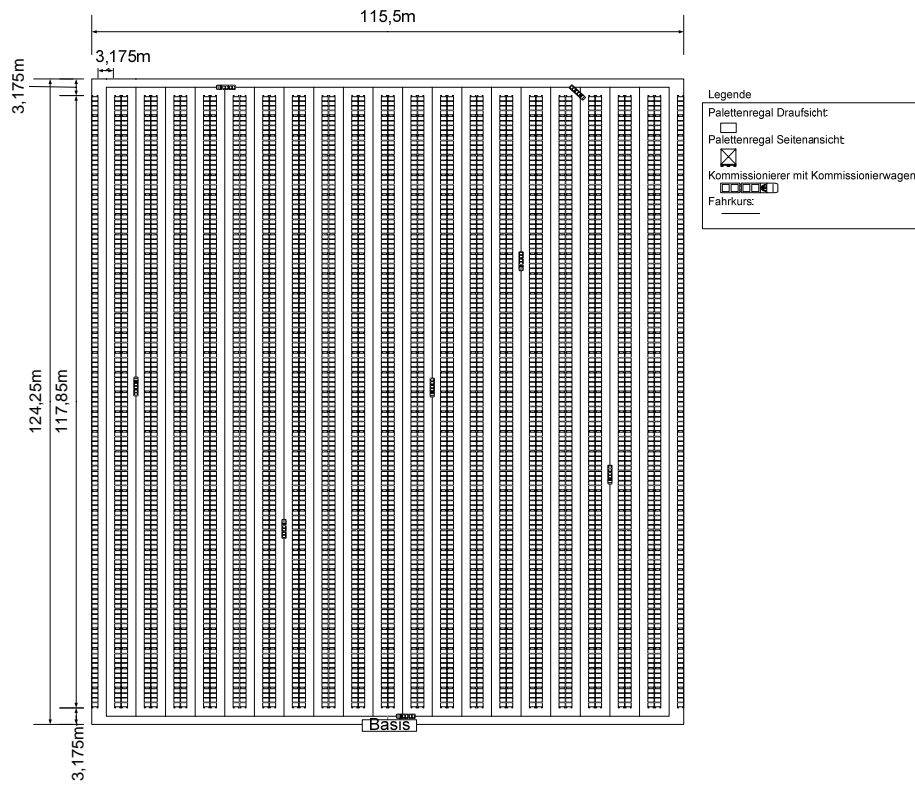


ABBILDUNG 4-5: LAYOUT REFERENZSYSTEM 5

REFERENZSYSTEM 6

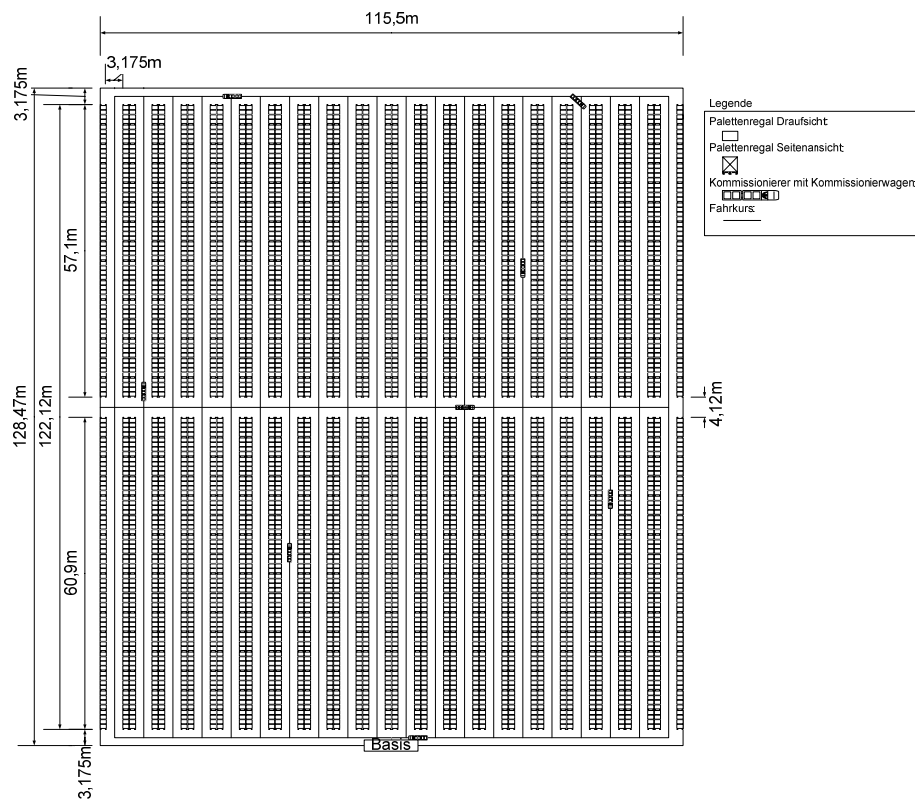


ABBILDUNG 4-6: LAYOUT REFERENZSYSTEM 6

REFERENZSYSTEM 7

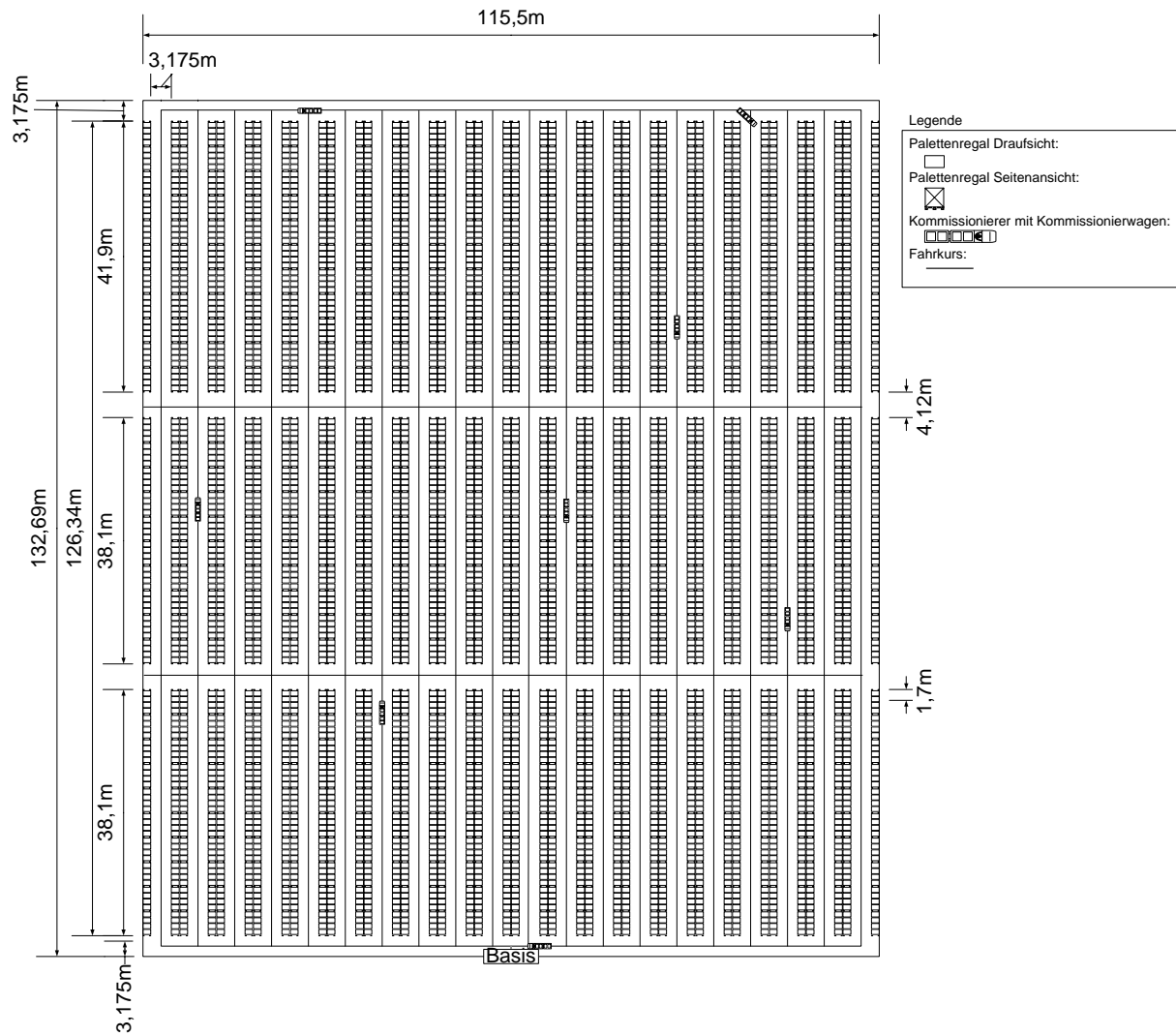


ABBILDUNG 4-7: LAYOUT REFERENZSYSTEM 7

REFERENZSYSTEM 8(LINKS) UND 9 (RECHTS)

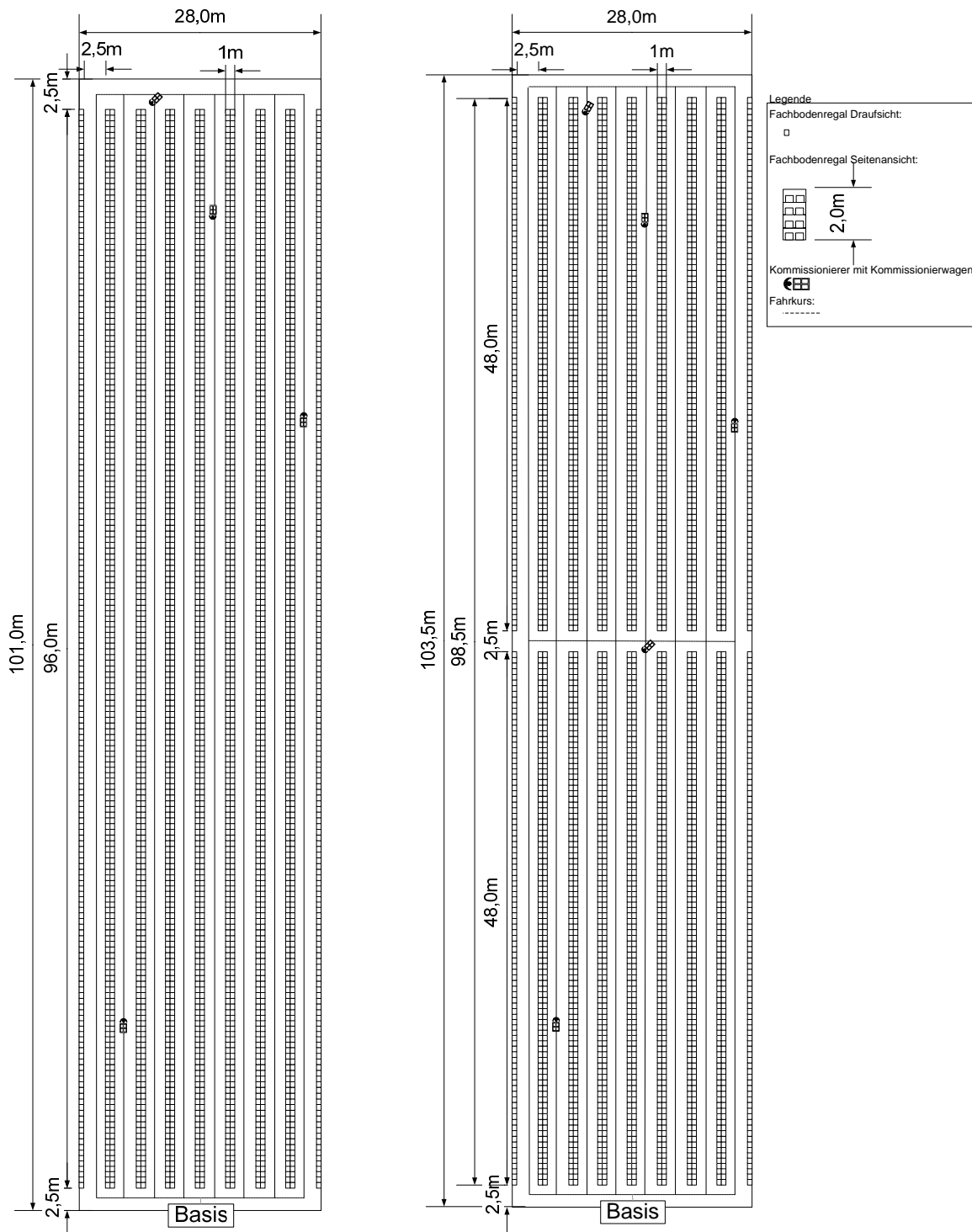


ABBILDUNG 4-8: LAYOUT REFERENZSYSTEM 8 UND 9

4.2 REFERENZSYSTEME ZUR UNTERSUCHUNG VON PRÜFSTRATEGIEN (RIF)

Nach Ableitung der Referenzsysteme hinsichtlich der späteren Wegzeit-Simulation, werden nachfolgend auch Referenzsysteme zur Simulation der Prüftätigkeit aufgestellt. Die in Kapitel 3.2 vorgestellten Prozessketten beschreiben die prüfungsrelevanten Vorgänge bei der Kommissionierung

nach Pickliste, Pick-by-Scan, Pick-by-Light und Pick-by-Voice. Diese vier alternativen Verfahren der Kommissioniererführung können bereits jeweils als ein Referenzsystem aufgefasst werden, das nachfolgend weiter zu spezifizieren ist.

Die für die Prozessschritte maßgeblichen Einflüsse sind bereits kurz beschrieben worden, um diese bei der Modellbildung berücksichtigen zu können. Im Hinblick auf die Prüfstrategien, insbesondere die wichtige Dimension „Prüfzeitpunkt“, sind Platzhalter in den Prozessketten untergebracht worden, die Zeitpunkte repräsentieren, zu denen Prüfungen durchgeführt werden können. Auch haben die Prozessbeschreibungen erste Hinweise gegeben, welche Fehlerarten mit den jeweils zur Verfügung stehenden Prüfmethode erfasst werden können. Im Hinblick auf die Simulation der Prozessketten mit integrierter Prüfung, müssen die Charakteristiken der Prüfmittel mit den Anforderungen der Kommissionier-Varianten abgeglichen werden, um geeignete und sinnvolle Kombinationen für die Simulation zu ermitteln und so die Referenzsysteme zu charakterisieren. Dieser Arbeitsschritt wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens in enger Zusammenarbeit mit den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschuss durchgeführt, um sicherzustellen, dass die tatsächlich praxisrelevanten Prüfungsverfahren erfasst werden.

4.2.1 EIGNUNG DER PRÜFVERFAHREN ZUR INTEGRATION IN DEN KOMMISSIONIERPROZESS

Die Grundlage für den Abgleich der Charakteristiken der Prüfmittel mit den Anforderungen der Kommissioniervarianten bildet, neben den dargestellten Prozessketten, die vorgenommene Formalisierung der Prüfmittel. Bereits in Abschnitt 3.2.2 sind allgemein die Prüfmethode vorgestellt worden. Diese müssen nun auf ihre Eignung in Abhängigkeit des eingesetzten Kommissionierverfahrens untersucht werden. Hierbei lässt sich eine Bewertung wiederum nur qualitativ durchführen, da die tatsächliche Eignung in einem Szenario von artikel- oder sortimentsspezifischen Gegebenheiten und den vorliegenden Möglichkeiten zur Informationsbereitstellung abhängt. Die Kombinationsmöglichkeiten der präventiven Methoden der Kommissioniererführung und der der Fehlerdetektion dienenden Prüfmittel muss schrittweise ermittelt werden.

Aus den Prozessbeschreibungen lassen sich insgesamt sechs im Laufe der Kommissionierung zu prüfende Merkmale ableiten:

- **Position sicherstellen:** Der Kommissionierer soll jede der vorgegebenen Positionen ohne Ausnahme und zumeist in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeiten. Letzteres ist insbesondere dann wichtig, wenn die Stapelung der Artikel auf einer Palette vorberechnet wurde, um fragile Güter zuoberst abzulegen. Hier erweist sich allein die Pickliste als weniger geeignet, da je nach Anordnung der Positionen auf der Liste eine Restwahrscheinlichkeit existiert, dass der Kommissionierer eine Position übersieht und auslässt. Dies kann durch eine zusätzliche Sichtprüfung kontrolliert werden. Bei den Varianten Display, Pick-by-Light und Pick-by-Voice, die eine Anbindung an das WMS bieten, wird die Abarbeitungsreihenfolge durch das System bestimmt und durch den Quittierungsmechanismus sichergestellt. Insbesondere der Scan der Lagerplätze dient als zusätzliche Kontrolle, die sicherstellt, dass praktisch nur mutwillig falsche Quittierung als Fehlerursache zum Auslassen einer Position führen kann.

- Ort sicherstellen: Der Kommissionierer wird bei jeder Methode zur Kommissionierführung durch die Angabe des nächsten Lagerplatzes nach der Quittierung der vorangegangenen Position an den Bereitstellort geführt. Aufgrund der vom Kommissionierer zu leistenden Orientierungs- und Suchaufgaben erweist sich dieser Prozess dennoch als fehleranfällig. Meterlange Regalzeilen bieten in vielen Fällen kaum Orientierungspunkte. Daher ist es oftmals sinnvoll, zusätzliche Kontrollmöglichkeiten zu schaffen, die den korrekten Bereitstellort zweifelsfrei identifizieren.

Picklisten, Displays und Pick-by-Voice-Systeme können den Ort durch die Quittierung mittels einer Prüfziffer sicherstellen. Pick-by-Light bietet den Vorteil, dass der Entnahmeort durch die in unmittelbarer Nähe angebrachte Anzeige gekennzeichnet ist. Seitens der Prüfmittel kann der Scanner zur zusätzlichen Kontrolle des Regalplatzes herangezogen werden.
- Artikel prüfen: Selbst wenn der korrekte Bereitstellort durch eine zusätzlich Prüfung sichergestellt ist, besteht die Möglichkeit, dass sich der Kommissionierer bei der Entnahme vergreift, also die Artikel aus einem nebenstehenden Behälter entnimmt, oder der Bereitstellort widererwartend nicht den gewünschten Artikel beinhaltet. Letzteres ist auf eine fehlerhafte Beschickung bzw. Einlagerung zurückzuführen. Da beide Fälle in einem Typfehler resultieren, kann es angebracht sein, die Identität des entnommenen Artikels zu überprüfen.

Wie bereits geschildert, bieten Pickliste und Display dem Kommissionierer in den meisten Fällen die Artikelbezeichnung an, so dass ein Abgleich erfolgen kann. Häufig reicht diese Information bei einer Sichtprüfung aus, um Verwechslungen zu entdecken und Typfehler zu vermeiden. Die meiste Sicherheit bietet aber der Scan des Artikels, der allerdings voraussetzt, dass jeder Artikel mit einem eigenen Barcode versehen ist (vgl. Buchsortiment). Dies bedeutet einen zusätzlichen Vorbereitungsaufwand in den Fällen, in denen Artikel bei der Anlieferung noch nicht über derartige Codes verfügen. Theoretisch ließe sich auch mit einer Waage die Kontrolle des Artikels vornehmen.
- Einzelquittierung: Eng verknüpft mit der Artikelprüfung ist die Forderung nach einer Einzelquittierung der entnommenen Artikel. Sie schlägt die Brücke zur Sicherstellung der entnommenen Menge, indem jeder tatsächlich „in Händen gehaltene“ Artikel einzeln quittiert wird.

Seitens der Kommissionierführung kann bei Verwendung eines Displays oder bei Pick-by-Light ein Mechanismus implementiert werden, bei dem ein Quittierungs-Knopf entsprechend der Anzahl der entnommenen Artikel gedrückt werden muss. Zweckdienlicher – zumindest in der Theorie – ist hier der Scanner, bei dem jeder Artikel einzeln erfasst werden kann. Alle Varianten laufen allerdings Gefahr, vom Kommissionierer als zu aufwendig angesehen und missachtet zu werden. Anstatt also jeden Artikel einzeln zu scannen, entnimmt der Kommissionierer die vermeintliche Menge und scannt den letzten Artikel entsprechend der Mengenvorgabe. Das Risiko der Mengenfehler wird so nur in geringem Maße abgemildert.
- Menge sicherstellen: Es soll sichergestellt sein, dass die geforderte Menge entnommen wird, bzw. dass die geforderte Menge zustandsfehlerfreier Artikel entnommen wird. Wie bereits dargestellt, kann dies während der Entnahme durch eine Einzelquittierung erfolgen. Im Anschluss an die Entnahme aller Einheiten können mobile oder festinstallierte

Wiegeeinrichtungen das Gewicht des Sammelbehälters mit dem Sollgewicht vergleichen und – unter gewissen Toleranzbedingungen – eine Abweichung als Mengenfehler ausweisen. Grundvoraussetzung für dieses Vorgehen ist die Verfügbarkeit entsprechender Waagen und der gewichtsbezogenen Artikel-Daten im WMS-System.

- Ablage sicherstellen: Nach erfolgter Entnahme eines oder mehrerer Artikel muss sichergestellt werden, dass die Position in dem für sie vorgesehenen Sammelbehälter platziert wird. Sind die Plätze der Sammelbehälter durchnummeriert, kann ein Display oder ein Pick-by-Voice-System den zu verwendenden Behälter ausweisen und den Kommissionierer führen. Effektiver gestaltet sich die Variante „Put-to-Light“, bei der die Sammelbehälter über Fachanzeigen hervorgehoben werden. Dies erfordert allerdings eine Anbindung der Put-to-Light-Kommissionierhandwagen an das WMS. Sind die Sammelbehälter mit Barcodes oder Prüfziffern versehen, kann bei einer Führung des Kommissionierers durch Displayanzeige eine zusätzliche Kontrolle des korrekten Sammelbehälters vorgesehen werden. Dies wird in den meisten Fällen durch das Scannen des Sammelbehälters vor der Ablage umgesetzt. Eine weitere Möglichkeit bietet die Verwendung von mobilen oder festen, an das WMS angebundene Wiegeeinrichtungen. Wie bereits beschrieben kann theoretisch jeder Sammelbehälter auf einer solchen Waage montiert werden, der Eich- und Wartungsaufwand ist allerdings groß. Eine festinstallierte Waage zu Prüfzwecken ist aufgrund der zusätzlichen Wegzeiten kaum praktikabel.

		Position sicherstellen	Ort sicherstellen	Artikel prüfen	Einzelquittierun g möglich	Menge sicherstellen	Ablage sicherstellen
Kommissionierführung	Pickliste	O	O	O	-	-	-
	Pick by Scan	+	O	O	O	O	O
	Pick by Light	+	+	-	O	O	+
	Pick by Voice	+	O	-	-	-	O
Prüfmittel	Sicht-prüfung	O	O	O	O	O	O
	Scan	+	+	+	+	+	+
	Feste Waage	-	-	O	-	+	+
	Mobile Waage	-	-	O	-	O	O
+ gute Eignung		O mäßige Eignung			- schlechte Eignung		

ABBILDUNG 4-9: EIGNUNG VON KOMMISSIONIERERFÜHRUNG UND PRÜFMITTELN

Die im Text dargelegte Eignung der Kommissionier- und Prüfmittel bezüglich der sechs genannten Prüfmerkmale ist in Abbildung 4-9 dargestellt. Die Bewertung erfolgt qualitativ.

Abbildung 4-10 fasst die Eignung der Prüfmittel auf dieselbe Art noch einmal bezogen auf die qualitätsrelevanten Prozessschritte Entnehmen, Ablegen, Abgeben und Endprüfung zusammen.

	Entnehmen			Ablegen	Abgeben	Endprüfung
	Einzelentnahme	Sammelentnahme	Mehrere Picks			
Sichtprüfung	+	O	O	O	O	-
Scanner	+	O	O	+	+	-
Mobile Waage	X	X	X	+	-	X
Feste Waage	X	X	X	-	+	+
+ gute Eignung	O mäßige Eignung		- schlechte Eignung		X unabhängig	

ABBILDUNG 4-10: EIGNUNG DER PRÜFMITTEL FÜR DIE ENTNAHME UND ENTLANG DER PROZESSKETTE

Sichtprüfung und Einzelscan sind generell für alle Entnahmeformen geeignet, erweisen sich aber insbesondere bei der Identifizierung von Zustands-, respektive Mengenfehlern im Falle einer Einzelentnahme als zweckmäßig. Um das gleiche Resultat bzgl. der Fehlerkontrolle zu erzielen, ist der zeitliche Aufwand bei Sammel- oder Mischentnahme deutlich größer, weil mehrere Artikel gleichzeitig gehandhabt werden müssen. Die Kontrolle mittels Waagen sind naturgemäß von der Art der Entnahme unabhängig (durch ein Kreuz symbolisiert).

Das Ablegen des Artikels kann unterstützt werden, indem eine zusätzliche Sichtprüfung ggf. mit Eingabe einer Prüfziffer oder ein Scan des Sammelbehälters eingesetzt wird. Alternativ kann eine mobile Waage jedes Sammelbehälters sinnvoll integriert werden. Eine weitere Variante, die aufgrund ihrer geringen Verbreitung hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt, bei der Modellbildung aber nicht berücksichtigt wird, ist ein Mittelweg zwischen fester Waage und einer Waage pro Sammelbehälter. Sie bestünde darin, jeden Handwagen mit einer Wiegeeinrichtung auszustatten, um das Gewicht und damit die Identität der Artikel und die entnommene Menge zu prüfen. Der Aufwand zum „Umpacken“ der Artikel bedeutet allerdings einen großen Zeitverlust.

Die Abgabe der Sammelbehälter zu einer Zusammenführung kann über eine Sichtkontrolle oder den Scan eines Abgabeortes unterstützt werden, wobei zumeist die bei der Kommissionierung vorhandene Technik eingesetzt wird, um „Medienbrüche“ zu vermeiden. Da Abgabeorte üblicherweise einen festen Platz innerhalb des Kommissioniersystems aufweisen, bietet sich hier allerdings die Verwendung von festen Wiegeeinrichtungen an. Mobile Waagen sind eher ungeeignet.

Bei der Endprüfung eines Sammelbehälters ist die Wiegeprüfung per festinstallierter Waage den Varianten Sichtprüfung und mobile Waage vorzuziehen. Eine Sichtprüfung ist zur Fehlerentdeckung nur eingeschränkt geeignet, da komplette Sammelbehälter mit mehreren Positionen à mehreren Artikeln manuell durchsucht werden müssen. Daher werden automatisierte Endprüfungen als Indikator für das Vorkommen eines Fehlers (oder auch zur Stichprobenprüfung) genutzt. Wird ein Sammelbehälter aufgrund einer Gewichtsabweichung ausgeschleust bzw. als fehlerhaft markiert, kann sich eine getrennte Sichtprüfung anschließen, um die Ursache des Fehlers zu entdecken und die Nachbestellung eines fehlenden Artikels auszulösen.

ZWISCHENFAZIT

Mit der Identifikation möglicher Prüfungen innerhalb der zu betrachtenden Prozessketten, sind die potentiellen Prüfzeitpunkte festgelegt. Die an diesen Punkten vorzunehmenden Prüfungen dienen dem Zweck, eine Position hinsichtlich eines bestimmten (Fehler-)Merkmals zu untersuchen. Es wurde für jeden Prüfzeitpunkt qualitativ bewertet, welche Prüfmittel sich für diesen speziellen Zweck eignen und an den vorgesehenen Stellen zum Einsatz kommen können. Dabei konnte bereits festgestellt werden, dass sich das Scannen von Barcodes bzgl. der Lagerplatz-, Artikel- und Sammelbehälter-Identifikation als besonders zweckmäßig erweist. Die Kommissionierung Pick-by-Scan stellt also die variantenreichste Grundprozesskette im Hinblick auf die Prüfstrategien dar. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse kann nachfolgend dargestellt werden, welchen Prüfungen abhängig vom vorliegenden Verfahren der Kommissioniererführung praxisrelevant und somit von den Referenzsystemen zu berücksichtigen sind, um in die späteren Simulationstätigkeiten einzufließen.

4.2.2 EINSATZ- UND KOMBINATIONSMÖGLICHKEITEN VON PRÜFVERFAHREN (DARSTELLUNG PRAXISRELEVANTER VARIANTEN)

Für die kritischen Punkte der manuellen Kommissioniervarianten ließen sich bislang die geeigneten Prüfmethoden auf Basis der Prozessketten und der Beschreibung von Kommissioniererführung und Prüfmitteln bewerten. Dies erlaubt eine Übersicht über den Einsatz der Prüfmittel in verschiedenen Anwendungsbereichen. Im Hinblick auf die Charakterisierung der Referenzsysteme sind zusätzlich diejenigen konkreten Ausprägungen der Prozessketten festzulegen, die in späteren Simulationsläufen berücksichtigt werden. Diese Ausprägungen betreffen die bereitgestellte Kommissionier- und Prüftechnologie und deren sinnvolle Kombinationsmöglichkeiten. So sollte beispielsweise bei den Varianten der Kommissionierung nach Pick-by-Light-Prinzip, welches bewusst auf den Einsatz mobiler Datenendgeräte verzichtet, damit der Kommissionierer sich freier bewegen kann, auf Scanner oder die Interaktion mit Displays (außer den Pick-by-Light-Anzeigen) verzichtet werden.

Im Hinblick auf die Prüfstrategien gilt es, die an einigen Stellen unterschiedlichen Möglichkeiten zur Prüfung zu berücksichtigen, um die unter Qualitäts-, Zeitaspekten geeignete Alternative zu identifizieren. Darüber hinaus müssen auch die Strategien berücksichtigt werden, die auf dem Verzicht bestimmter Prüfungen entlang der Prozesskette beruhen. Zu diesem Zweck werden im Simulationsmodell Verzweigungselemente berücksichtigt, über die jede Prüfung aktiviert oder deaktiviert werden kann. So können theoretisch beliebige Kombinationen berücksichtigt werden. Allerdings ist nur eine Teilmenge aller Kombinationen praxisrelevant. Diese Teilmenge ist im Vorfeld der Durchführung von Simulationsläufen zu identifizieren. Die Ergebnisse der zu diesem Zweck durchgeführten Analyse der Prozessketten (auf Basis der Ergebnisse aus den vorangegangenen

Abschnitten; in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss) werden im Folgenden dargelegt. Dabei werden die vier Referenzsystem erneut separat betrachtet, da das eingesetzte Verfahren zur Kommissioniererführung im Rahmen der kurzfristigen Flexibilisierung des Kommissionierprozesses als gegeben angenommen werden muss.

REFERENZSYSTEM PICKLISTE

Die Pickliste als beleggeführte Kommissionierung verfügt nur über wenige optionale Zeitpunkte für den Einsatz von Prüfmitteln. Zudem ist die Auswahl der Prüfmittel aufgrund der (bewusst) geringen technischen Unterstützung auf Sichtprüfungen durch den Kommissionierer begrenzt. Als einziges Hilfsmittel kann der Kommissionierbeleg dienen, auf dem sich der Kommissionierer Notizen wie „Strichlisten“ machen kann. Entlang der Prozesskette ergeben sich die folgenden Prüfmöglichkeiten:

<i>Prüfzeitpunkt und -merkmal</i>	<i>Mögliches Prüfmittel</i>
Entnahme: Prüfung Zustand	Sichtprüfung
Entnahme: Prüfung Typ	Sichtprüfung
Nach Entnahme: Menge	Sichtprüfung
(Ablegen: Sammelbehälter)	(Sichtprüfung)
(Abgabe: Abgabebehälter)	(Sichtprüfung)
Endprüfung	Automatisiert: Wiegung

ABBILDUNG 4-11: REFERENZSYSTEM PICKLISTE

Das Ablegen der Einheiten bei Multi-Order-Picking oder eine Zusammenführung von Sammelbehältern im Fall von Virtuellen Zonen stellen einen Sonderfall bei der Kommissionierung nach Pickliste dar, da sie den „einfachen Rahmen“ der Informationsbereitstellung sprengen. Allerdings ist es auch hier wie beschrieben denkbar, dass der Kommissionierer mit durchnummerierten Sammelbehältern parallel Kommissioniert und auf dem Beleg der entsprechende Behälter angegeben ist. In kleinen Unternehmen kann der Kommissionierer für die Zuordnung der Sammelbehälter zu den Auftragspositionen selbst verantwortlich sein, etwa indem er sich den jeweiligen Behälter merkt oder markiert. Dies birgt jedoch ein stark erhöhtes Fehlerpotential und ist nur bei wenigen mitzuführenden Sammelbehältern anwendbar. In beiden Fällen lassen sich Fehler nur durch erhöhte Wachsamkeit vermeiden und im Rahmen von Sichtprüfungen („Kontrollblick“) entdecken. Dies besitzt in der industriellen Praxis als Prüfmethode allerdings keine Relevanz und wird daher vom Referenzsystem nicht berücksichtigt (durch Einklammerung markiert).

REFERENZSYSTEM PICK-BY-SCAN

Wie in schematisch dargelegt, bietet der Barcodescanner die flexibelste Einsatzmöglichkeit. Daher weist auch die Prozesskette für das Pick-by-Scan die meisten Prüfoptionen auf. Da zudem ein permanenter Datenaustausch zwischen den Kommissionier-Datenterminals und dem Hauptrechner besteht, liegen dem Kommissionierer alle positionsbezogenen Informationen vor. In den meisten Fällen kann sogar davon ausgegangen werden, dass die artikelbezogenen Daten erfasst sind und mit einer mobilen Wiegeeinrichtung verknüpft werden können. Bezüglich der Einzelprozesse lassen sich folgende Prüfmittel einsetzen:

<i>Prüfzeitpunkt und -merkmal</i>	<i>Mögliches Prüfmittel</i>
Vor Entnahme: Prüfung Ort	Platzscan
Entnahme: Prüfung Zustand	Sichtprüfung
Entnahme: Prüfung Typ	Artikelscan
Entnahme: Prüfung Menge	Einzelquittierung, Sichtprüfung
Nach Entnahme: Menge	Wiegung, Sichtprüfung
(Ablegen: Sammelbehälter)	(Ablage DT + Scan, Put-to-Light, Wiegung)
(Abgabe: Abgabebehälter)	(Abgabe DT + Scan, Put-to-Light, Sichtprüfung)
Endprüfung	Automatisiert: Wiegung

ABBILDUNG 4-12: REFERENZSYSTEM PICK-BY-SCAN

Sollen alle Kombinationsmöglichkeiten entlang der Prozesskette berücksichtigt werden, ergeben sich aufgrund der Aktivierung der einzelnen Prüfungen an dieser Stelle $2^6=64$ Prozessvarianten, die jeweils eine Prüfstrategie repräsentieren. Dabei sind die Möglichkeiten der Prüfung bei Ablegen und Abgeben von Artikeln bzw. Behältern noch nicht berücksichtigt, da unter Rückgriff auf den projektbegleitenden Ausschuss diese als wenig praxisrelevant identifiziert werden konnten und deshalb aus den Simulationsexperimenten ausgeklammert werden (analog bei Pick-by-Light und Pick-by-voice).

REFERENZSYSTEM PICK-BY-LIGHT

Die Variante Pick-by-Light verzichtet bewusst auf das Mitführen von Scannern o.ä. und ist damit auf die technische Unterstützung „by-Light“ beschränkt. Berücksichtigt wird aber dennoch die Wiegung der entnommenen Artikel, um die Vollständigkeit der Position (und als indirekte Merkmale auch die Identität der Artikel) sicherzustellen.

<i>Prüfzeitpunkt und -merkmal</i>	<i>Mögliches Prüfmittel</i>
Entnahme: Prüfung Zustand	Sichtprüfung
Nach Entnahme: Menge	Wiegung, Sichtprüfung
(Ablegen: Sammelbehälter)	(Ablage Put-to-Light, Wiegung)
(Abgabe: Abgabebehälter)	(Abgabe Put-to-Light, Sichtprüfung)
Endprüfung	Automatisiert: Wiegung

ABBILDUNG 4-13: REFERENZSYSTEM PICK-BY-LIGHT

REFERENZSYSTEM PICK-BY-VOICE

Ähnlich eingeschränkt ist die Auswahl bei der Kommissionierung „by-Voice“. Da aber der bereits erläuterte „akustische Artikelscan“ angewendet werden kann, ergibt sich gegenüber der Anwendung des vorgenannten Pick-by-Light-Verfahrens eine insgesamt höhere Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten.

<i>Prüfzeitpunkt und -merkmal</i>	<i>Mögliches Prüfmittel</i>
Entnahme: Prüfung Zustand	Sichtprüfung
Nach Entnahme: Menge	Wiegung, Sichtprüfung
Nach Entnahme: Typ	Arkustischer Artikelscan
(Ablegen: Sammelbehälter)	(Ablage by-Voice, Put-to-Light, Wiegung)
(Abgabe: Abgabebehälter)	(Abgabe by-Voice, Put-to-Light, Sichtprüfung)
Endprüfung	Automatisiert: Wiegung

ABBILDUNG 4-14: REFERENZSYSTEM PICK-BY-VOICE

Mit der Einordnung potentieller Prüfungen in die entsprechend der eingesetzten Technik zur Kommissionierführung erstellten Prozessketten, sind die Referenzsysteme hinsichtlich der Prüftätigkeit beschrieben. Aus ihnen lässt sich der zu untersuchende Vorrat an Prüfstrategien ermitteln. Für jedes Kommissionierverfahren liegt eine Sammlung an Kombinationsmöglichkeiten bezüglich einzusetzender Prüfungen vor, die durch spätere Simulationsexperimente abgebildet werden soll, um unter dem Einfluss der wechselnden Systemlast eine situationsgerechte Prüfstrategie identifizieren zu können. Die Aufstellung des Versuchsplans zur Simulationsdurchführung in Abschnitt 6.3 erfolgt also im Wesentlichen auf Basis der hier gewonnenen Erkenntnisse.

5 UNTERSUCHUNG DER KOMMISSIONIERSTRATEGIEN

In diesem Kapitel wird die Untersuchung der Kommissionierstrategien durchgeführt. Dazu wird zu Beginn in allgemeinen Vorüberlegungen diskutiert, wie das Untersuchungsziel am besten erreicht werden kann. Im darauf folgenden Abschnitt des Kapitels werden die Entwicklung und der Aufbau des Simulationsmodells vorgestellt. Nach der Versuchsplanung werden abschließend die Ergebnisse der Untersuchung präsentiert.

5.1 VORÜBERLEGUNGEN (FLW)

Kommissionierstrategien kommen zum Einsatz, um die Leistung des zugrunde liegenden Systems zu verbessern. Dazu wird, versucht mit Hilfe dieser Strategien die Wegzeiten der Kommissionierer zu reduzieren. Für die Untersuchung von Kommissionierstrategien ist demnach die Betrachtung der Wegzeit ausreichend. Allerdings existieren derzeit nur eingeschränkte mathematische Modelle, mit denen die Wegzeiten in manuellen, auftragsweisen Kommissioniersystemen berechnet werden können. Zur Kombination von bestimmten geometrischen Heuristiken der Wegfindung mit einer Lagerplatzzuordnung im Streifensystem wurde ein Berechnungsansatz von Sadowsky entwickelt [Sad07]. Für Lagerplatzzuordnungen im Segmentsystem, für die KW-Strategie, für das Multi-Order-Picking, für die Querverteilung und für die Kombinationen dieser Kommissionierstrategien in beliebigen Systemlayouts mit beliebigen Systemlasten bestehen bisher keine analytischen Ansätze zur Leistungsermittlung. Aus diesem Grund muss die Untersuchung der Kommissionierstrategien unter Zuhilfenahme der Simulation erfolgen. Da bei dieser Untersuchung auch die Einflussgrößen des Systemlayouts und der Systemlast betrachtet werden müssen, ist die Entwicklung eines parametrierbaren Simulationsmodells notwendig.

5.2 ENTWICKLUNG DES SIMULATIONSMODELLS (FLW)

Die Simulationsexperimente zur Untersuchung der Kommissionierstrategien werden mit dem ereignisorientierten Simulationsprogramm AutoMod der Firma Brooks Automation, Inc. durchgeführt. AutoMod ermöglicht die Simulation von diversen statischen und dynamischen Systemelementen. Der Simulator bietet eine windowsähnliche grafische Oberfläche für die Erstellung des Modells, sowie eine an die Programmiersprache C angelehnte Simulationsprache zur Programmierung der Steuerstrategien.

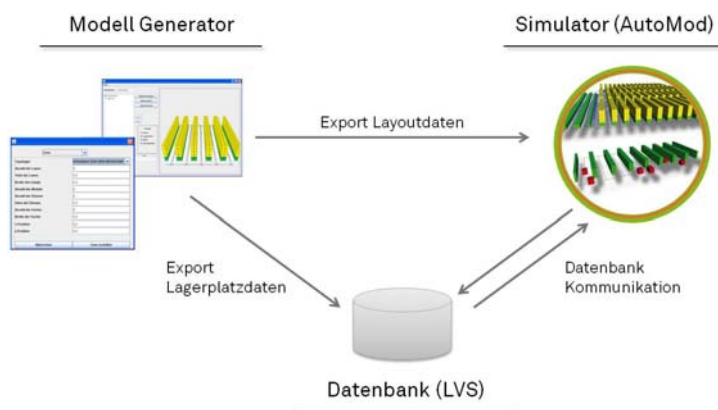


ABBILDUNG 5-1: KOMPONENTEN BEI DER SIMULATION

Unter die statischen Elemente des Simulators fallen zum einen die sogenannten Ressourcen zur Simulation von zeitverbrauchenden Vorgängen, wie z.B. Arbeitsschritte oder Objekte, wie Menschen und Maschinen, zum anderen Bewegungssysteme, wie die Fördersysteme mit den entsprechenden Lagereinrichtungen. Die standardmäßig in AutoMod realisierten Bewegungssysteme sind Stetigförderer (Conveyor), automatische Lagersysteme wie RBG inklusive der benötigten Regalzeilen (AS/RS), fahrerlose Transportsysteme (AGV) und Schleppkreisförderer (Power & Free-systems). Diese Elemente können mit Attributen für Beschleunigung, Geschwindigkeit, Belegkapazität usw. versehen werden. Die dynamischen Elemente des AutoMod Simulators sind die sogenannten Ladungen oder Loads. Diese Objekte können diverse Elemente wie Ladeeinheiten und Produkte repräsentieren. Aber auch die Nutzung als beschreibbare Informationseinheit, wie z.B. als Regalplatz oder Listenelement ähnlich dem Element einer dynamischen Liste in herkömmlichen Programmiersprachen, ist möglich.

Für das Verständnis des Simulationsablaufes ist es wichtig, das Zusammenspiel zwischen Ladungen und Prozessen, Subroutinen und Funktionen zu verstehen. Prozesse, Subroutinen und Funktionen können nicht wie in Programmiersprachen, z.B. „C++“, prozedural ablaufen. Ihre Ausführung bedarf des Eintritts einer Ladung in das Softwaremodul. Die Ladung durchläuft Codezeile für Codezeile, die daraufhin ausgeführt werden. Während der Bewegung innerhalb des Programmcodes vergeht keine Simulationszeit. Diese wird erst verbraucht, wenn eine Ressource genutzt wird, z.B. ein Bearbeitungsschritt auf einer Werkzeugmaschine, oder wenn sich die Ladung auf einem Stetigförderer über eine gegebene Strecke mit definierten Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bewegt. Jegliche Aktionen des Simulators sind also direkt mit einer Ladung verknüpft.

Zur Untersuchung der Kommissionierstrategien ist ein parametrierbares Simulationsmodell erforderlich. Wie Abbildung 5-1 darstellt, wird dies durch die Verknüpfung von drei Komponenten erreicht. Im Modellgenerator können sämtliche Parameter zu Systemlayout, Systemlast und dem Einsatz von Kommissionierstrategien festgelegt werden. Im Anschluss wird mit dem Modellgenerator mittels Codegenerierung ein ausführbares AutoMod-Simulationsmodell erzeugt, welches alle zuvor festgelegten Eigenschaften besitzt. Zusätzlich wird eine Microsoft Access-Datenbank generiert, in der alle notwendigen Daten hinterlegt sind. Mithilfe dieser Datenbank und dem generierten AutoMod-Modell wird die Simulation in AutoMod durchgeführt. Die Eingabeparameter und die resultierenden Ausgaben der drei Komponenten zur Simulation sind in Abbildung 5-2 aufgeführt.

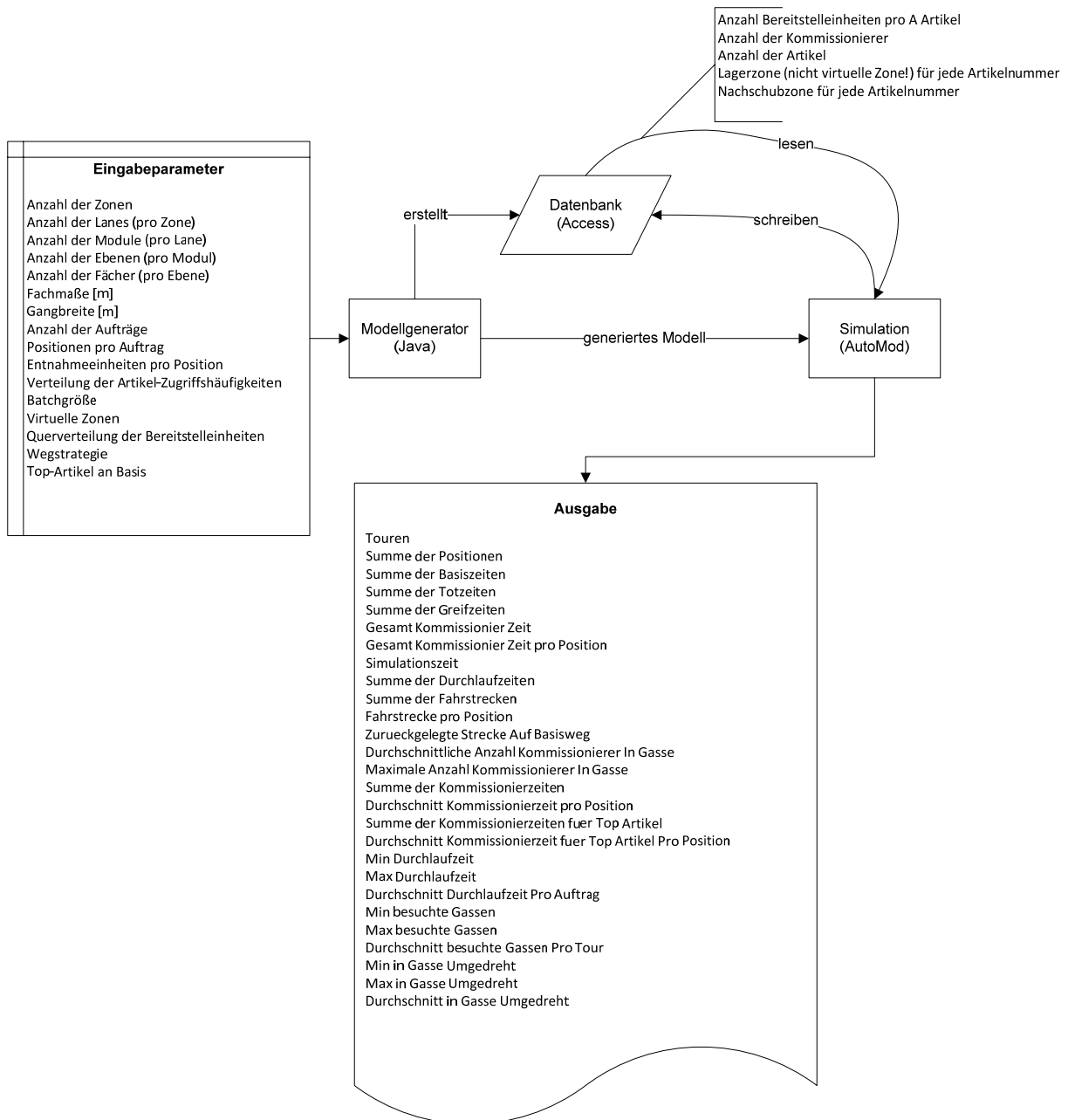


ABBILDUNG 5-2: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES ARBEITSFLUSSES

5.2.1 MODELLGENERATOR

Wie beschrieben, ist im Modellgenerator die Möglichkeit gegeben, ein Modell zu generieren, das in der Simulationssoftware AutoMod ausführbar ist.

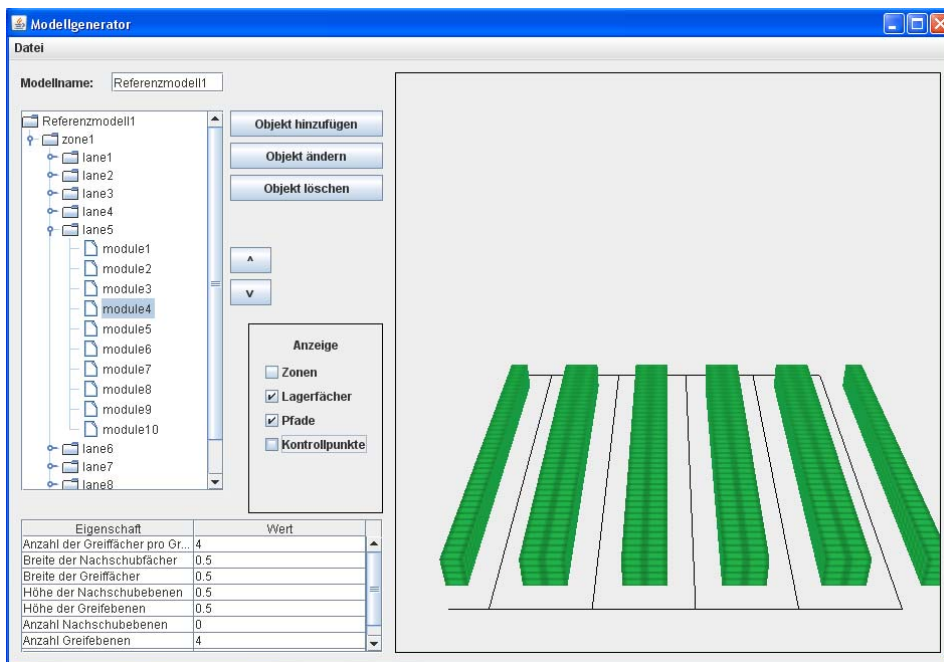


ABBILDUNG 5-3: SCREENSHOT DES MODELLGENERATORS

Zunächst wird ein individuelles Systemlayout mit Hilfe von speziellen Objekten erstellt (siehe Abbildung 5-3). Solche Objekte sind entweder Lagerfächer, Module oder Zonen. Eine Zone kann in beliebig viele Module unterteilt werden. Die einzelnen Module wiederum enthalten Lagerfächer. Die Abmaße von Zonen, Modulen und Lagerfächern können frei gewählt werden (siehe Abbildung 5-4). Auf diese Weise können Simulationsmodelle mit beliebigen Layouts nachgebildet werden. Unterschiedliche Lagertechniken, wie Palettenregale oder Fachbodenregale können homogen oder auch in allen denkbaren Kombinationen modelliert werden. Beispielsweise wurde ein Palettenregal realisiert, bei dem in der unteren Ebene verschiedene Arten von Fachböden zur Kommissionierung integriert sind. Die erstellten Systemlayouts können im Modellgenerator gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt verändert werden.

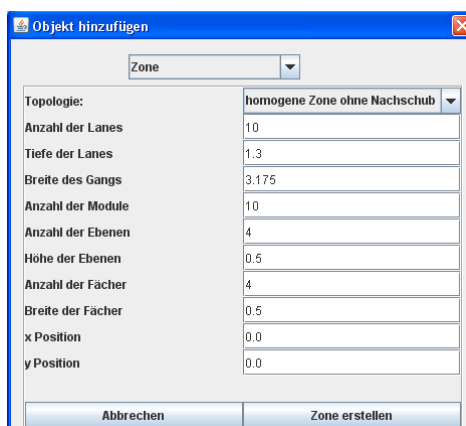


ABBILDUNG 5-4: SCREENSHOT VOM HINZUFÜGEN EINES OBJEKTES IM MODELLGENERATOR

Desweiteren gibt es die Möglichkeit, die Simulationsparameter anzupassen. Dazu gehören die Anzahl an Aufträgen, die Positionen pro Auftrag und ihre Verteilung, die Verteilung der Zugriffshäufigkeit auf die Artikel und die verschiedenen Kommissionierstrategien. Das entwickelte Modell kann nach der

Fertigstellung gespeichert und auch wieder geladen werden, um Änderungen vorzunehmen. Beim Speichern wird allerdings weder eine Datenbank noch ein AutoMod-Modell generiert. Wird das Modell exportiert, erstellt der Modellgenerator die notwendigen Dateien, um die Simulation in AutoMod durchzuführen. Dazu gehört neben dem eigentlichen AutoMod-Modell auch die Datenbank.

Eine detaillierte Beschreibung der Anwendungsmöglichkeiten des Modellgenerators liefert Abbildung 5-5.

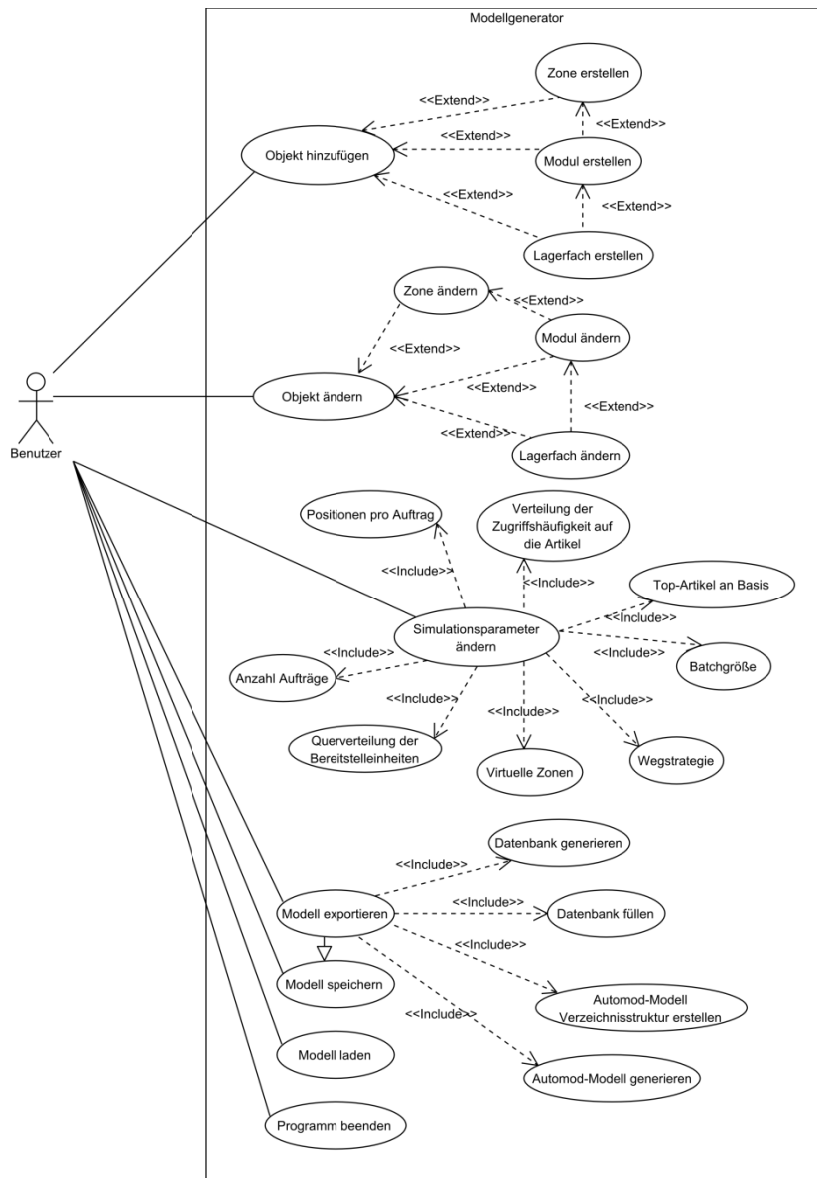


ABBILDUNG 5-5: ANWENDUNGSFALLDIAGRAMM FÜR DEN MODELLGENERATOR

5.2.2 DATENBANK

In der Access-Datenbank, die der Modellgenerator erstellt und mit Daten füllt, sind alle für die Simulation in AutoMod benötigten Daten enthalten. Die Daten werden in verschiedene Gruppen unterteilt. Eine Tabelle enthält die Artikelstammdaten. Sie ordnet jeder Artikelnummer eine Zugriffshäufigkeit und die Anzahl der Bereitsteleinheiten zu. Eine weitere Tabelle besteht aus Daten

zu den Lagerplätzen. Ein Eintrag in dieser Tabelle beschreibt einen Lagerplatz durch verschiedene Parameter, wie die Zone in der der Lagerplatz liegt, die zugehörige Gasse, das Modul zu dem der Lagerplatz gehört, die Artikelnummer und der verfügbare Bestand des Artikels, der in diesem Fach gelagert wird.

Die Daten zu den Aufträgen werden ebenfalls in einer eigenen Tabelle hinterlegt. Jeder Eintrag der Tabelle beschreibt eine Position eines Kundenauftrags, welche durch die bestellte Anzahl eines Artikels beschrieben wird. Zur Simulationslaufzeit wird jeder Position eine Kommissionierauftragsnummer zugeordnet. Werden mehrere Zonen parallel durchlaufen, so wird der Kundenauftrag auf mehrere Kommissioniertouren aufgeteilt, da jede Kommissioniertour nur durch eine der parallelen Zonen geht. Wird Multi-Order-Picking eingesetzt, so werden mehreren Kundenaufträgen zu einer Kommissioniertour zusammengefasst. Bei der Kombination von parallelen Zonen und Multi-Order-Picking werden die Kundenaufträge zunächst nach Zonen aufgesplittet und dann innerhalb der Zonen zusammengefasst (vgl. Abbildung 3-4).

In der Datenbank gibt es je eine Tabelle, die jeder Artikelnummer eine oder mehrere Lagerzonen bzw. eine oder mehrere Nachschubzonen zuordnet. Zusätzlich werden in der Tabelle *config* zusätzliche benötigte Parameter hinterlegt. Hierzu zählen zum Beispiel die Anzahl der Kommissionierer oder die Anzahl der A-Artikel, für die mehrere Bereitstellereinheiten erstellt werden sollen. Ein schematisches Modell der Datenbankstruktur wird in Abbildung 5-6 dargestellt.

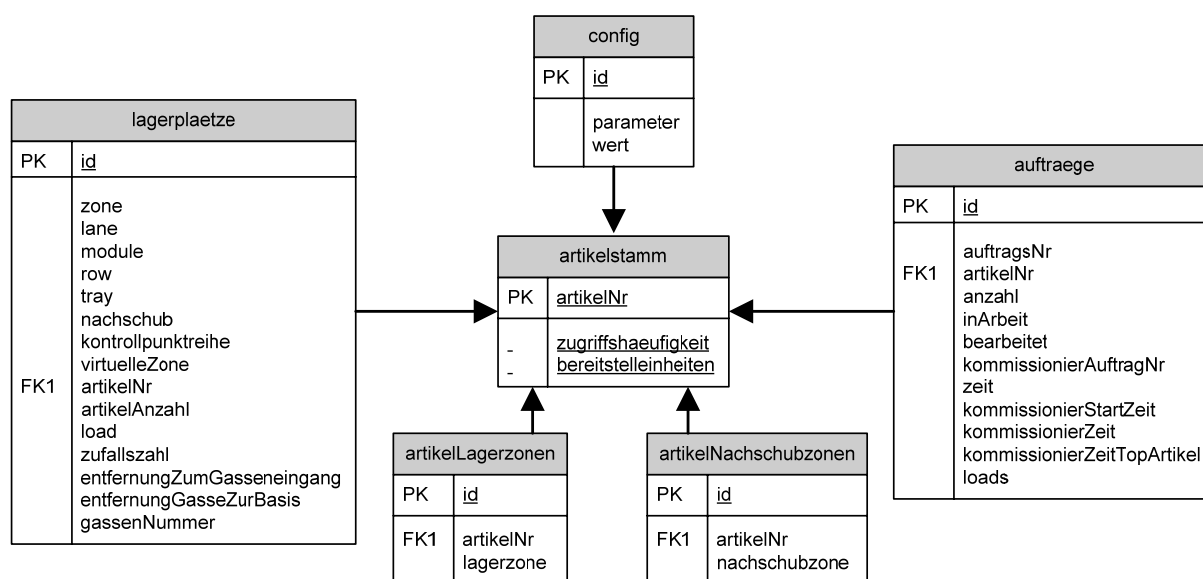


ABBILDUNG 5-6: DATENBANKSTRUKTUR

5.2.3 ÜBERBLICK ÜBER DEN SIMULATIONSABLAUF

Beim Starten der Simulation in AutoMod werden zuerst alle Variablen und die Verbindung zur Datenbank initialisiert und die Konfiguration aus der Datenbank ausgelesen. Dann wird vom Auftragsgenerator die Systemlast erstellt und anschließend der erste Simulationsdurchlauf gestartet. Beim ersten Simulationsdurchlauf wird zuerst das Lager mit Greifeinheiten gefüllt, bevor die Simulation der Kommissionierer durchgeführt werden kann. Wenn erforderlich, wird daran anschließend das Order-Batching durchgeführt, welches für das Multi-Order-Picking die

Kommissionieraufträge aus mehreren Kundenaufträgen bildet und dann die Kommissionieraufträge auf die Kommissionierer verteilt.

Sind alle Kommissionieraufträge des Simulationsdurchlaufes abgearbeitet, werden die Ergebnisse in der Datenbank hinterlegt (vgl. Abbildung 5-6) und anschließend ein neuer Simulationsdurchlauf gestartet, bis alle Simulationsdurchläufe abgeschlossen sind. Den Ablauf innerhalb eines Simulationsdurchlaufes verdeutlicht Abbildung 5-8. Die Abbildung bietet eine Gesamtübersicht. Eine detaillierte Beschreibung einzelner Prozesse und der dazugehörigen Funktionen erfolgt in den nächsten Abschnitten.

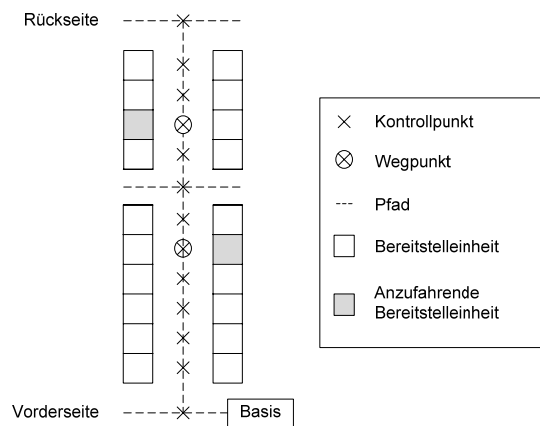


ABBILDUNG 5-7: MODELLIERUNG DES KOMMISSIONIERLAGERS IN AUTOMOD

Abbildung 5-7 veranschaulicht das Prinzip der Modellierung eines Kommissionierlagers in AutoMod. Pfade definieren die möglichen Wege eines Kommissionierers. Bei einer Kommissioniertour müssen verschiedene Bereitstellereinheiten angefahren werden. Im verwendeten AutoMod-Modell befindet sich für jede Bereitstellereinheit auf dem dazugehörigen Pfad ein Kontrollpunkt. Zusätzlich existiert jeweils ein Kontrollpunkt am Anfang und am Ende der Gasse und auf den Kreuzungen der Pfade mit den Quergängen und der Pfade mit den Lagergassen. Muss für einen Kommissionierauftrag eine Bereitstellereinheit angefahren werden, wird dessen Kontrollpunkt zu einem Wegpunkt. Im Folgenden wird der Pfad auf dem die Basis liegt als Vorderseite und die gegenüberliegende Seite als Rückseite bezeichnet.

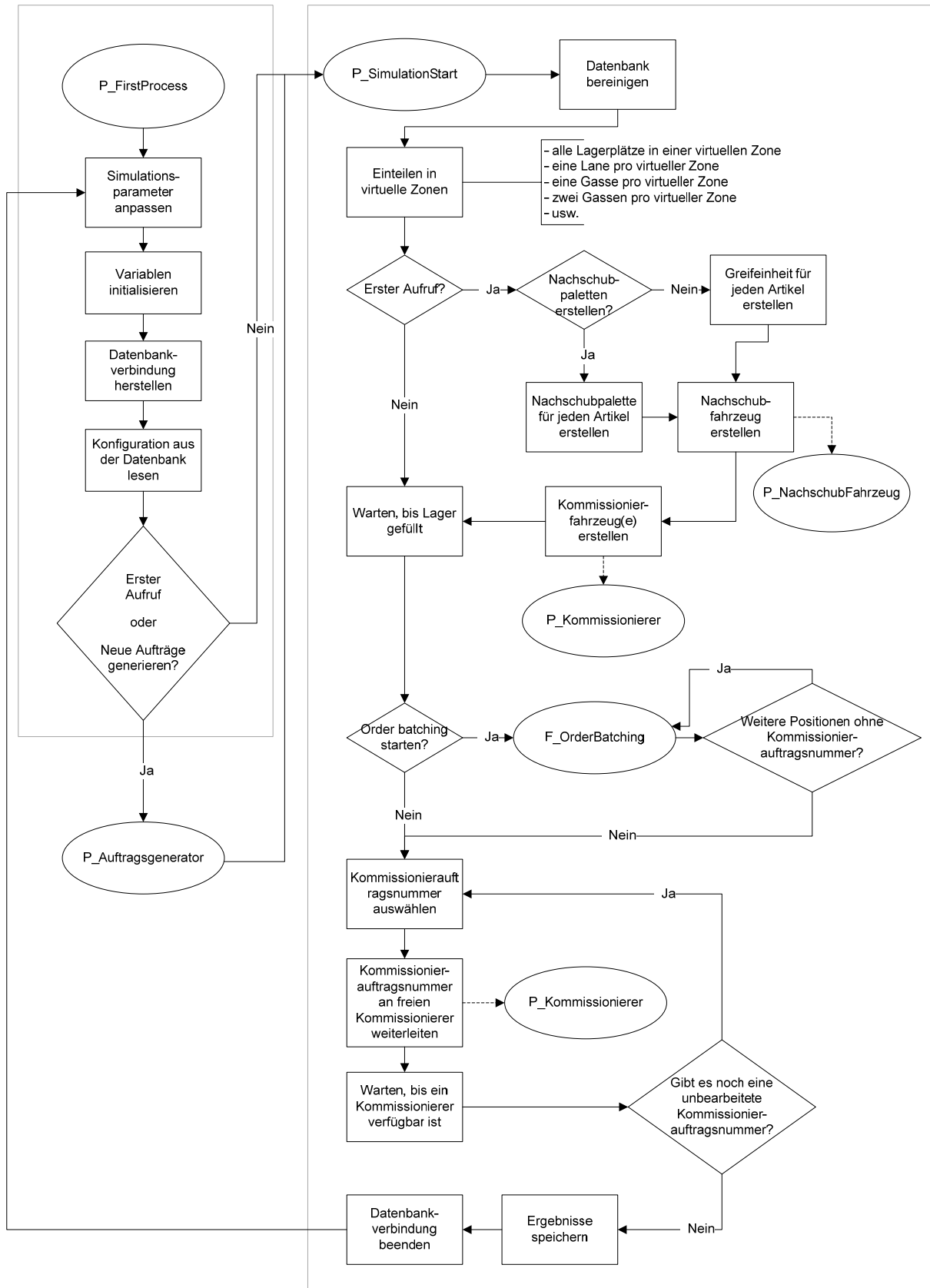


ABBILDUNG 5-8: ABLAUFDIAGRAMM DES SIMULATIONSMODELLS

5.2.4 UMSETZUNG DES ORDER-BATCHINGS

Wie beschrieben, dient das Order-Batching dazu, Kundenaufträge bzw. deren Teilaufträge zu Kommissionieraufträgen zusammenzufassen. Als große Schwierigkeit bei der Umsetzung dieser Funktion hat sich die Kombination von Multi-Order-Picking und der Querverteilung der Bereitstelleneinheiten dargestellt. Die Berechnung optimaler Batches kann bereits aufgrund der Problemkomplexität nur durch entsprechende Heuristiken gelöst werden. Bezieht man in diese Betrachtung mit ein, dass Bereitstelleneinheiten eines Artikels an verschiedenen Orten im Kommissionierlager angefahren werden können, so steigt die Komplexität des Order-Batchings nochmals deutlich an. Die hierfür entwickelte Heuristik, die auf einem Seed-Algorithmus aufbaut, wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

Beim Start der Funktion wird als erstes ein neuer leerer Batch erstellt. Anschließend werden diesem neuen Batch passende Aufträge zugeordnet. Dazu wird dem leeren Batch zuerst ein so genannter Seed-Auftrag als Wurzel für die weitere Untersuchung der übrigen Aufträge hinzugefügt. Von diesem Auftrag aus werden weitere passende Aufträge für den aktuellen Batch gesucht. Für die Auswahl des Seed-Auftrages gibt es drei Möglichkeiten. Entweder wird der Auftrag gewählt, der den am weitesten entfernten zu besuchenden Kontrollpunkt enthält. Ein Kontrollpunkt ist im Simulationsmodell der Anfahrpunkt des Kommissionierers, um eine Bereitstelleneinheit zu erreichen. Alternativ kann als Seed-Auftrag der Auftrag gewählt werden, der den Kontrollpunkt mit kürzester Entfernung zur Basis enthält. Als letzte Möglichkeit kann ein Auftrag zufällig gewählt werden.

Daran anschließend wird mithilfe von aussagenlogischen Formeln für jeden Auftrag die Anzahl der zusätzlich anzufahrenden Gassen ermittelt. In der Aussagenlogik wird jeder Aussage ein Aussagensymbol zugewiesen. Hier werden als Aussagen die Gänge verwendet. Jeder Aussage wird ein Aussagensymbol zugewiesen, wie zum Beispiel die Gangnummer. Anschließend wird eine aussagenlogische Formel in konjunktiver Normalform auf Grundlage dieser Variablen gebildet. Eine Formel der Aussagenlogik liegt in konjunktiver Normalform vor, wenn sie eine Konjunktion von Disjunktionstermen ist. Disjunktionsterme sind dabei Disjunktionen von Aussagensymbolen oder deren Negation (auch Literale genannt). Eine aussagenlogische Formel in konjunktiver Normalform hat also die Form: $F = (L_{11} \vee \dots \vee L_{1m_1}) \wedge \dots \wedge (L_{n1} \vee \dots \vee L_{nm_n})$, wobei alle L_{ij} Literale sind. Für jede Position des Auftrages werden die Gänge gesucht in denen der Artikel gelagert ist. Dann werden die entsprechenden Literale der Gänge mit einem logischen ODER verknüpft. So erhält man für jeden Artikel einen Disjunktionsterm der Form $(1 \vee 2 \vee 4)$, wobei 1, 2 und 4 Aussagensymbole für Gänge sind. Diese Disjunktionsterme werden mit einem logischen UND zu einer aussagenlogischen Formel in konjunktiver Normalform verknüpft (vgl. [KrK06]).

Nach diesem Schritt werden alle Gänge markiert, die in einem Disjunktionsterm als einziges Literal vorkommen. Diese Terme werden aus der Formel gestrichen, da bei diesen Gängen sicher ist, dass sie besucht werden müssen. Als nächstes wird eine neue aussagenlogische Formel in disjunktiver Normalform erstellt, bei der die Aussagensymbole Artikel darstellen. Eine Formel der Aussagenlogik liegt in disjunktiver Normalform vor, wenn sie eine Disjunktion von Konjunktionstermen ist. Konjunktionsterme sind dabei Konjunktionen von Aussagensymbolen oder deren Negation (auch Literale genannt). Eine Formel in disjunktiver Normalform hat also die Form $F = (L_{11} \wedge \dots \wedge L_{1m_1}) \vee \dots \vee (L_{n1} \wedge \dots \wedge L_{nm_n})$, wobei alle L_{ij} Literale sind. Es wird für jeden Gang ein Konjunktionsterm erstellt, indem die entsprechenden Literale für alle Artikel des Auftrages, die in diesem Gang gelagert

sind, mit einem logischen UND verknüpft werden. Es ergeben sich Terme der Form $(X \wedge Y \wedge \dots \wedge Z)$, wobei X, Y und Z Aussagensymbole für Artikel sind. Diese Terme werden mit einem logischen ODER zu einer aussagenlogischen Formel in disjunktiver Normalform verknüpft (vgl. [KrK06]).


Im nächsten Schritt wird der Gang ausgewählt, dessen Disjunktionsterm am meisten Literale enthält. Dieser Gang wird als ausgewählt markiert und gleichzeitig werden die Literale des Terms in allen anderen Termen gestrichen. Dieses Vorgehen wird wiederholt, bis die Formel keine Terme mehr enthält und damit alle Artikel abgedeckt sind.

Die beschriebene Verfahrensweise wird an einem Beispiel in Abbildung 5-9 veranschaulicht, das erklärt, wie die Artikel A-F aus Sicht der Wegzeitoptimierung angelaufen werden.

Ist dieser Teil des Algorithmus für alle Aufträge durchgeführt, muss derjenige Auftrag, der am wenigsten Gänge hinzufügt und das zu besuchende Intervall auf dem Basisweg am wenigsten vergrößert, dem Batch hinzugefügt werden. Sind danach noch weitere Aufträge vorhanden und ist der Batch noch nicht vollständig gefüllt, wird das Zählen der zusätzlichen Gassen für jeden noch nicht zugeordneten Auftrag wiederholt und wiederum der Auftrag zum Batch hinzugefügt, der die wenigsten Gassen hinzufügt und das zu besuchende Intervall auf dem Basisweg am wenigsten vergrößert.

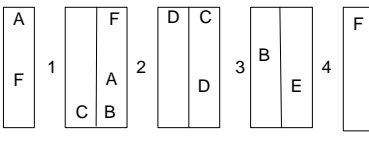
Der gesamte Ablauf des Order-Batchings wird in Abbildung 5-10 grafisch veranschaulicht.

1, 2, 3, ... = Gänge
 A, B, C, ... = Artikel

 Gang ist ausgewählt worden

Erstelle Formel mit Konjunktionen der Disjunktionen der Gänge aller Artikel:

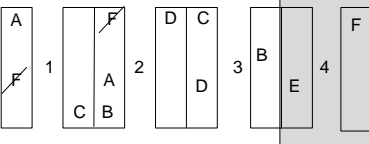
$(1 \vee 2) \wedge (2 \vee 3) \wedge (1 \vee 3) \wedge (2 \vee 3) \wedge (4) \wedge (1 \vee 2 \vee 4)$



Wähle alle Gänge die in einem Term als einziges Literal vorkommen: (Hier: Gang 4)

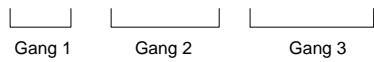
Streiche alle Terme, die einen bereits gewählten Gang enthalten:

$(1 \vee 2) \wedge (2 \vee 3) \wedge (1 \vee 3) \wedge (2 \vee 3) \wedge \cancel{(4)} \wedge \cancel{(1 \vee 2 \vee 4)}$



Erstelle Formel mit Disjunktionen der Konjunktionen der Artikel aller noch nicht gewählten Gänge:

$(A \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge D) \vee (B \wedge C \wedge D)$

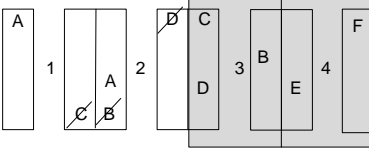


Wähle Gang dessen Term am meisten Literale enthält: (Hier: Gang 3)

Streiche alle gewählten Artikel aus den übrigen Termen:

$(A \wedge \cancel{C}) \vee (A \wedge \cancel{B} \wedge \cancel{D}) \vee (\cancel{B} \wedge \cancel{C} \wedge \cancel{D})$

$\Rightarrow (A) \vee (A)$



Wähle Gang dessen Term am meisten Literale enthält: (Hier: Gang 2)

Streiche alle gewählten Artikel aus den übrigen Termen:

$(\cancel{A}) \vee (\cancel{A})$

Alle Terme sind nun Leer (d.h. Alle Artikel sind abgedeckt)=> ENDE

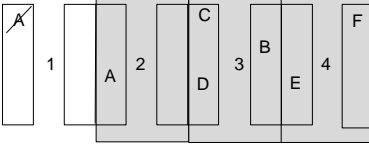


ABBILDUNG 5-9: BEISPIEL ZUM ZÄHLEN DER ZUSÄTZLICHEN GÄNGE EINES AUFTRAGES

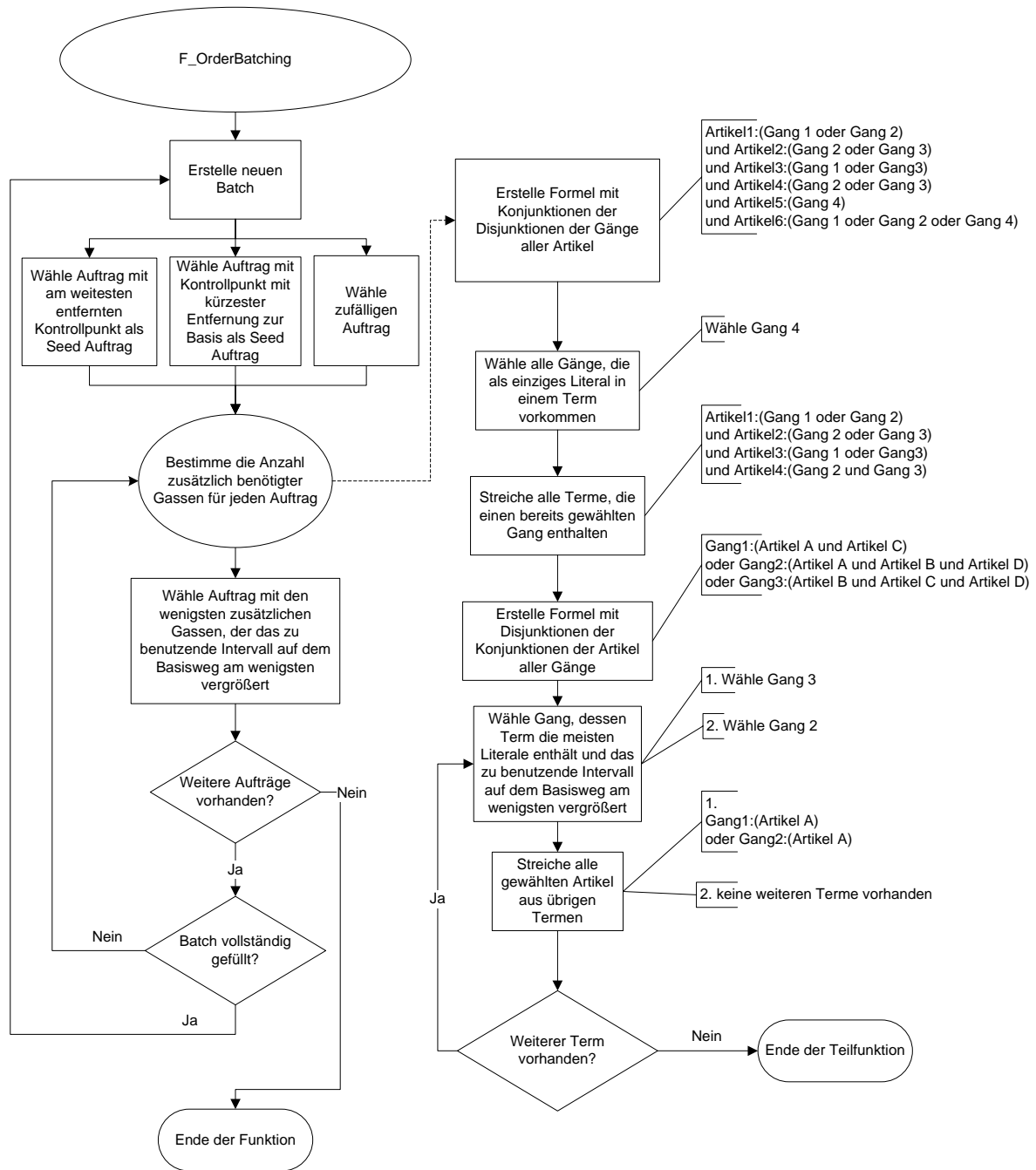


ABBILDUNG 5-10: ABLAUFDIAGRAMM DES ORDER-BATCHINGS

5.2.5 PROZESS „KOMMISSIONIERER“

Der Prozess Kommissionierer simuliert den Arbeitsablauf eines Kommissionierers. Zu Beginn wartet der Kommissionierer auf einen neuen Kommissionierauftrag. Hat er einen neuen Auftrag erhalten, wird die Auftragsliste des Kommissionierauftrages sortiert. Anschließend wird die Startzeit der Bearbeitung gespeichert und der Kommissionier beginnt mit der Bearbeitung, die aus dem Anfahren der Bereitstelleneinheiten bzw. der zugehörigen Kontrollpunkte und der nachfolgenden Entnahme besteht. Ist der Kommissionierauftrag abgeschlossen, wird die benötigte Zeit gespeichert und der Kommissionierer wartet auf einen neuen Kommissionierauftrag.

Die genaue Arbeitsweise des Prozesses ist in Abbildung 5-11 dargestellt.

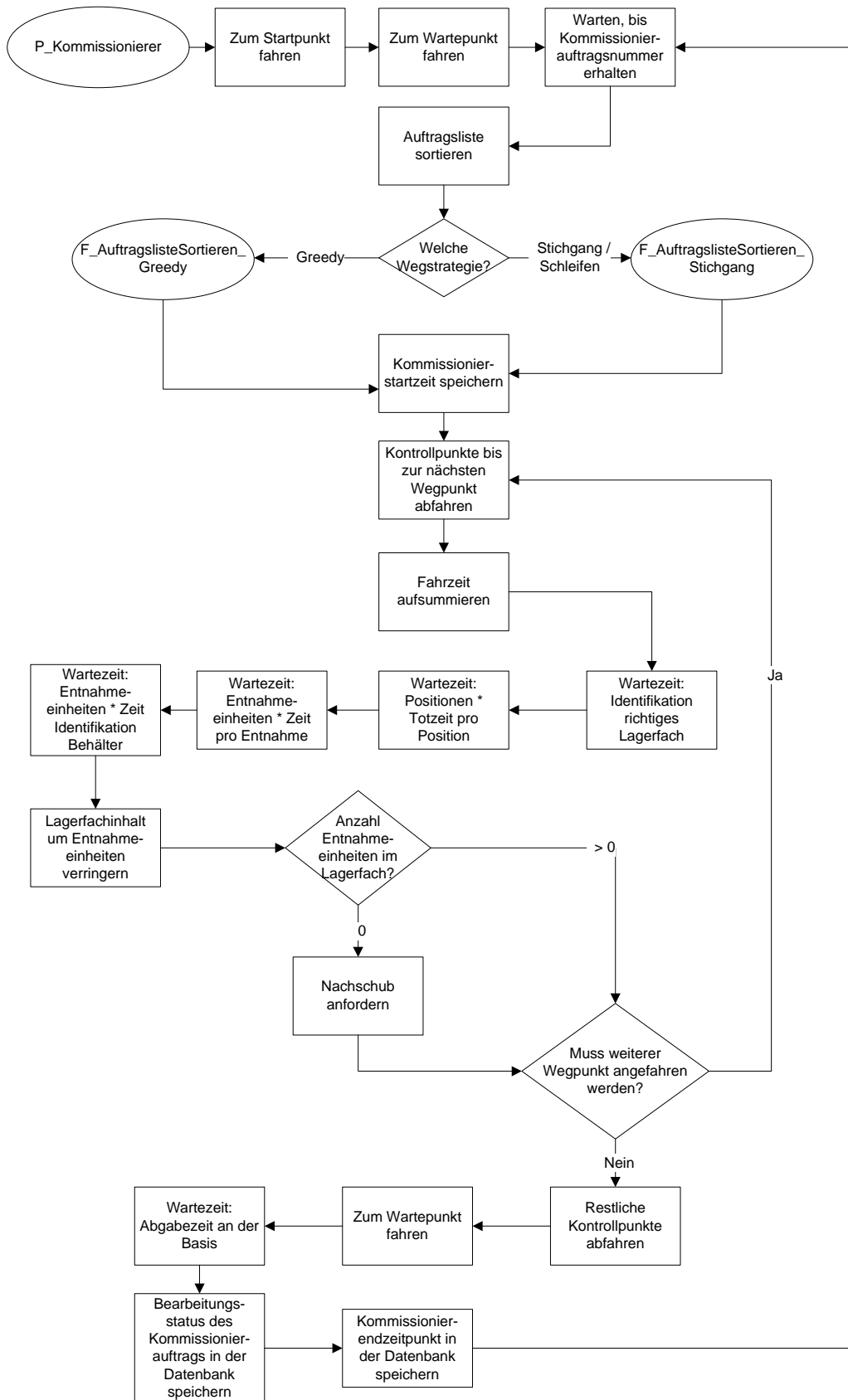


ABBILDUNG 5-11: ABLAUFDIAGRAMM DER PROZEDUR KOMMISSIONIERER

5.2.6 UMSETZUNG DER KW-STRATEGIE

Ziel der KW-Strategie ist ein möglichst geringer Kommissionierweg zur Abarbeitung der Positionen auf einer Kommissioniertour. Für die Simulation müssen dazu die einzelnen Positionen in eine optimale Reihenfolge sortiert werden. Für den Weg zwischen zwei Positionen verwendet das Simulationsprogramm dann automatisch den kürzesten Weg.

Zur Umsetzung der Sortierung für die KW-Strategie wurde ein Greedy-Algorithmus gewählt. Greedy-Algorithmus bilden eine spezielle Klasse von Algorithmen. Ein Greedy-Algorithmus wählt in jedem Arbeitsschritt den Folgezustand aus, der zum Zeitpunkt der Wahl den größten Gewinn oder das beste Ergebnis verspricht. Diese Art von Algorithmen lösen Probleme in vertretbarer Zeit und liefern für den vorliegenden Einsatzfall Ergebnisse nahe dem theoretischen Optimum. Zum Wählen des passenden Folgezustandes nutzen Greedy-Algorithmen meist eine Bewertungsfunktion.

Die im Simulationsmodell verwendete Funktion „AuftragsListeSortieren_Greedy“ basiert auf einem solchen Greedy-Algorithmus, der bei jedem Schritt diejenige anzulaufende Bereitstelleinheit auswählt, die die kürzeste Entfernung zur zuletzt gewählten Bereitstelleinheit hat (siehe Abbildung 5-12). Zu Beginn wird die anzulaufende Bereitstelleinheit mit der kürzesten Entfernung zum Startpunkt gesucht. Abbildung 5-13 zeigt an einem Beispiel, wie mit dieser Funktion anzulaufende Bereitstelleinheiten in ihrer Reihenfolge sortiert werden.

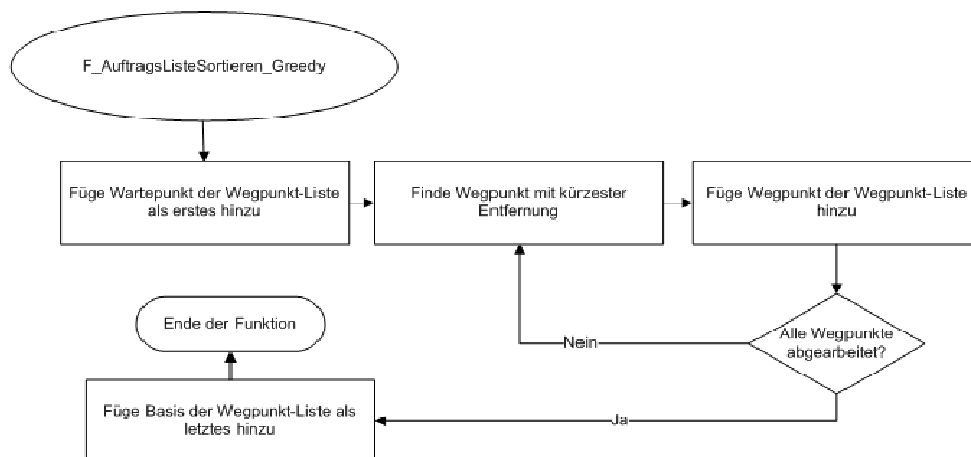


ABBILDUNG 5-12: ABLAUFDIAGRAMM DER FUNKTION „AUFTRAGSLISTESORTIEREN_GREEDY“

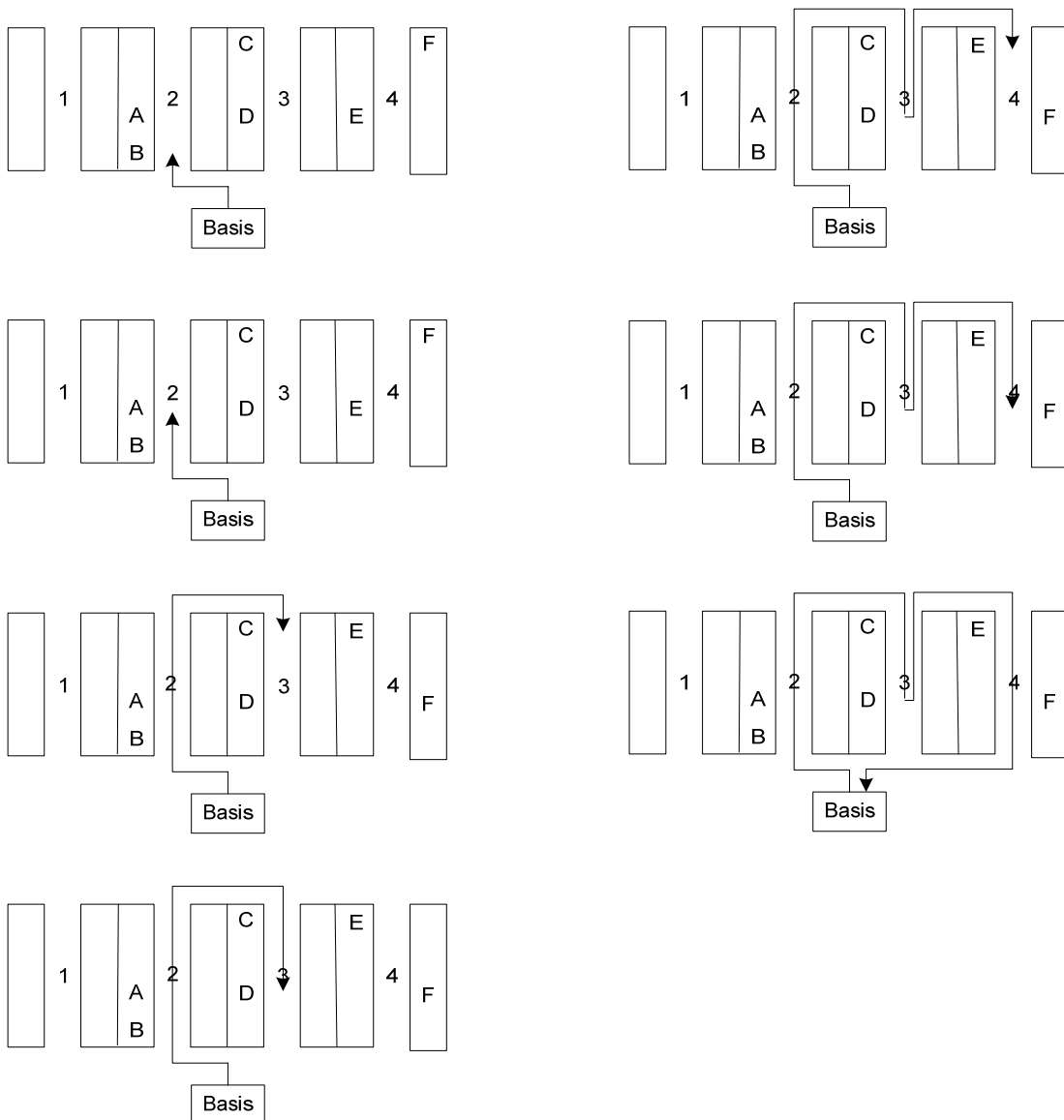


ABBILDUNG 5-13: BEISPIEL EINER GREEDY-SORTIERUNG DER ANZULAUFENDEN BEREITSTELLEINHEITEN

5.2.7 UMSETZUNG DER STICHGANG- UND SCHLEIFENSTRATEGIE

Die Sortierung der anzulaufenden Positionen für eine Kommissioniertour ist im Simulationsmodell bei Stichgang- oder Schleifenstrategie wesentlich aufwändiger als bei der KW-Strategie. Da der Kommissionier zwischen zwei Positionen in der Simulation immer den kürzesten Weg wählt, müssen durch Hinzufügen von zusätzlichen Wegpunkten an der Vorderseite oder an der Rückseite des Kommissionierlagers derartige geometrische Laufmuster erzwungen werden.

Zur Sortierung der anzulaufenden Bereitstelleinheiten wird bei Stichgang- und Schleifenstrategie zuerst diejenige anzulaufende Bereitstelleinheit mit der kleinsten Gangnummer gesucht. An jedem Gang gibt es einen Wegpunkt für diesen Gang auf der Vorderseite, auf den Zwischengängen und am Ende des Ganges. Für den ersten Gang wird zuerst immer der Wegpunkt auf der Vorderseite in die Wegpunkt-Liste eingefügt. Anschließend werden der Reihe nach alle anzulaufenden

Bereitstelleinheiten in diesem Gang angefahren und schließlich mittels der Funktion Finde_Weg (siehe Abbildung 5-15) der Weg zum nächsten Wegpunkt bestimmt. Dieser ist entweder auf der Vorderseite, der Rückseite oder an einem Quergang in dem aktuellen Gang. Jetzt wird der entsprechende Wegpunkt in dem als nächstes zu besuchenden Gang bestimmt. Dazu gibt es drei Möglichkeiten:

1. **Stichgang oder Schleife mit vorherigem Wegpunkt auf der Vorderseite:** Wähle den Punkt auf der Vorderseite für den Gang, in dem die nächste anzulaufende Bereitstelleinheit liegt
2. **Schleife mit vorherigem Wegpunkt auf der Rückseite:** Wähle den Punkt auf der Rückseite für den Gang, in dem die nächste anzulaufende Bereitstelleinheit liegt
3. **Vorheriger Wegpunkt im Quergang:** Wähle den Punkt auf dem Quergang für den Gang, in dem die nächste anzulaufende Bereitstelleinheit liegt

Am Ende des Kommissionierauftrages muss der Weg zur Basis bestimmt werden. War die Einfahrt zum aktuellen Gang auf der Rückseite, so kann einfach die Basis als letzter Punkt hinzugefügt werden. War die Einfahrt zum aktuellen Gang hingegen auf der Vorderseite eines Ganges und wird eine Schleifenstrategie verwendet, so muss der kürzeste Weg zur Basis über einen Punkt auf der Rückseite oder einen Punkt an einem Quergang bestimmt werden. Der gesamte Ablauf der Stichgang- oder Schleifenstrategie ist in Abbildung 5-14 dargestellt.

Wird bei der Stichgang- oder Schleifenstrategie der nächste Wegpunkt ausgewählt, nachdem alle anzulaufenden Bereitstelleinheiten eines Ganges abgearbeitet wurden, so wird die Funktion Finde_Weg (siehe Abbildung 5-15) verwendet und es muss zwischen mehreren Fällen unterschieden werden. Zunächst ist zu prüfen, ob die Benutzung eines Querganges möglich ist, um unnötige Umwege zu vermeiden. Desweiteren ist bei der Schleifenstrategie zu beachten, auf welcher Seite der Kommissionierer aus dem Gang ausfahren muss. Bei der Stichgangstrategie ist die Bestimmung des nächsten Wegpunktes weniger komplex, da dort lediglich geprüft werden muss, ob die zuletzt angefahrne Bereitstelleinheit und die nächste anzufahrende Bereitstelleinheit zwischen einem Quergang und der Rückseite liegen. Ist das der Fall, wird dieser Quergang genutzt. Ansonsten muss der Kommissionierer zum Gassenanfang zurück und von dort in die nächste Gasse einfahren.

Bei der Schleifenstrategie muss zusätzlich beachtet werden, ob der Kommissionierer im aktuellen Gang von vorne oder von hinten eingefahren ist. Ist der Kommissionierer von vorn in den Gang eingefahren, wird geprüft, ob die zuletzt angefahrne Bereitstelleinheit und die nächste anzufahrende Bereitstelleinheit zwischen Vorderseite und einem Quergang liegen. Ist dies der Fall, wird der Quergang verwendet. Ansonsten muss der Kommissionierer bis zum Gangende fahren und von dort in den nächsten Gang wechseln. Ist der Kommissionierer in den aktuellen Gang von hinten eingefahren, wird geprüft, ob die zuletzt angefahrne Bereitstelleinheit und die nächste anzufahrende Bereitstelleinheit zwischen einem Quergang und der Rückseite liegen. Ist dies der Fall, wird der Quergang benutzt. Ansonsten muss der Kommissionierer bis zum Gangende auf der Vorderseite fahren und von dort in den nächsten Gang wechseln.

Abbildung 5-15 zeigt die beschriebene Finde_Weg-Funktion.

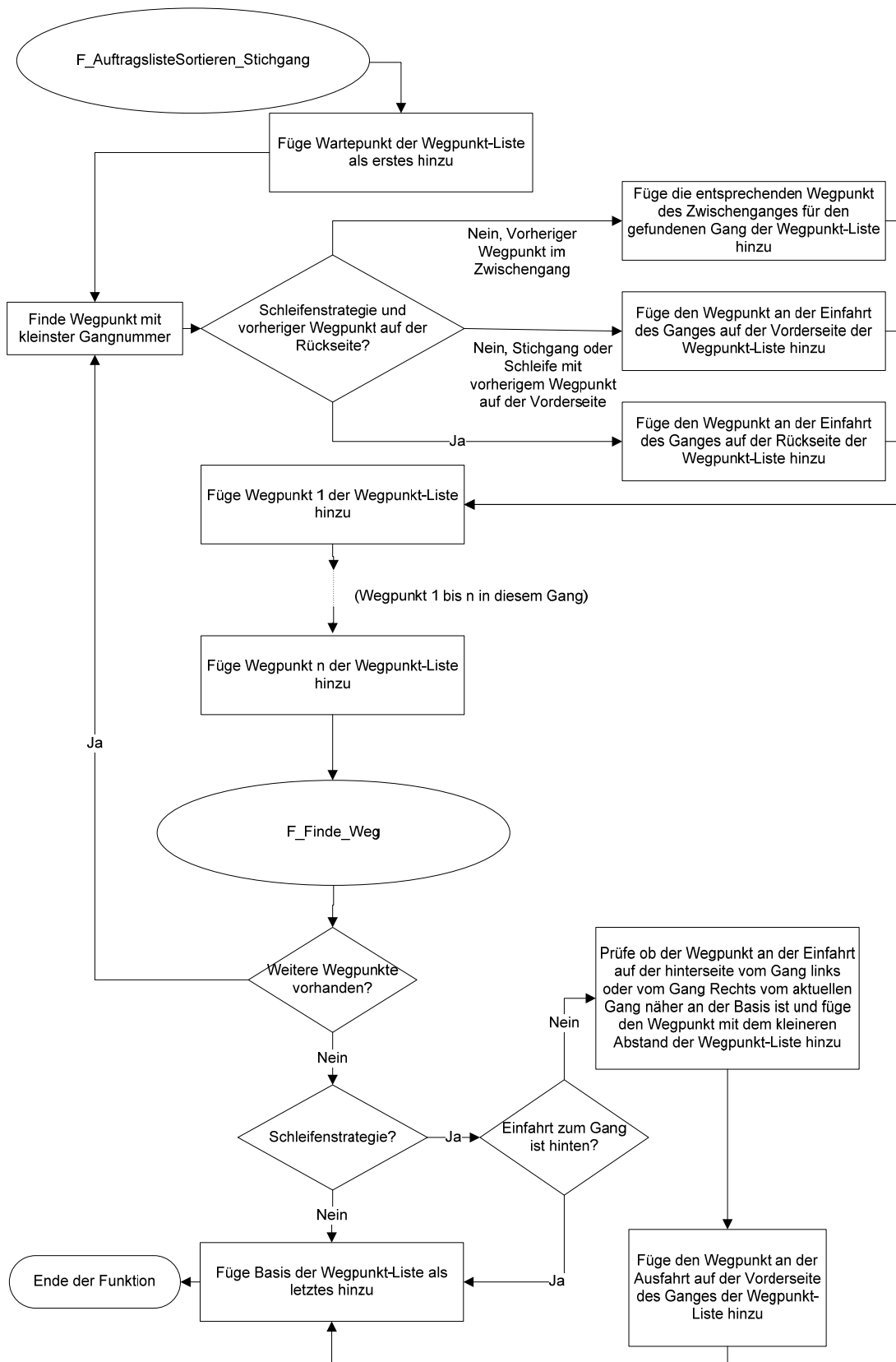


ABBILDUNG 5-14: ABLAUFDIAGRAMM DER STICHGANG- ODER SCHLEIFENSTRATEGIE

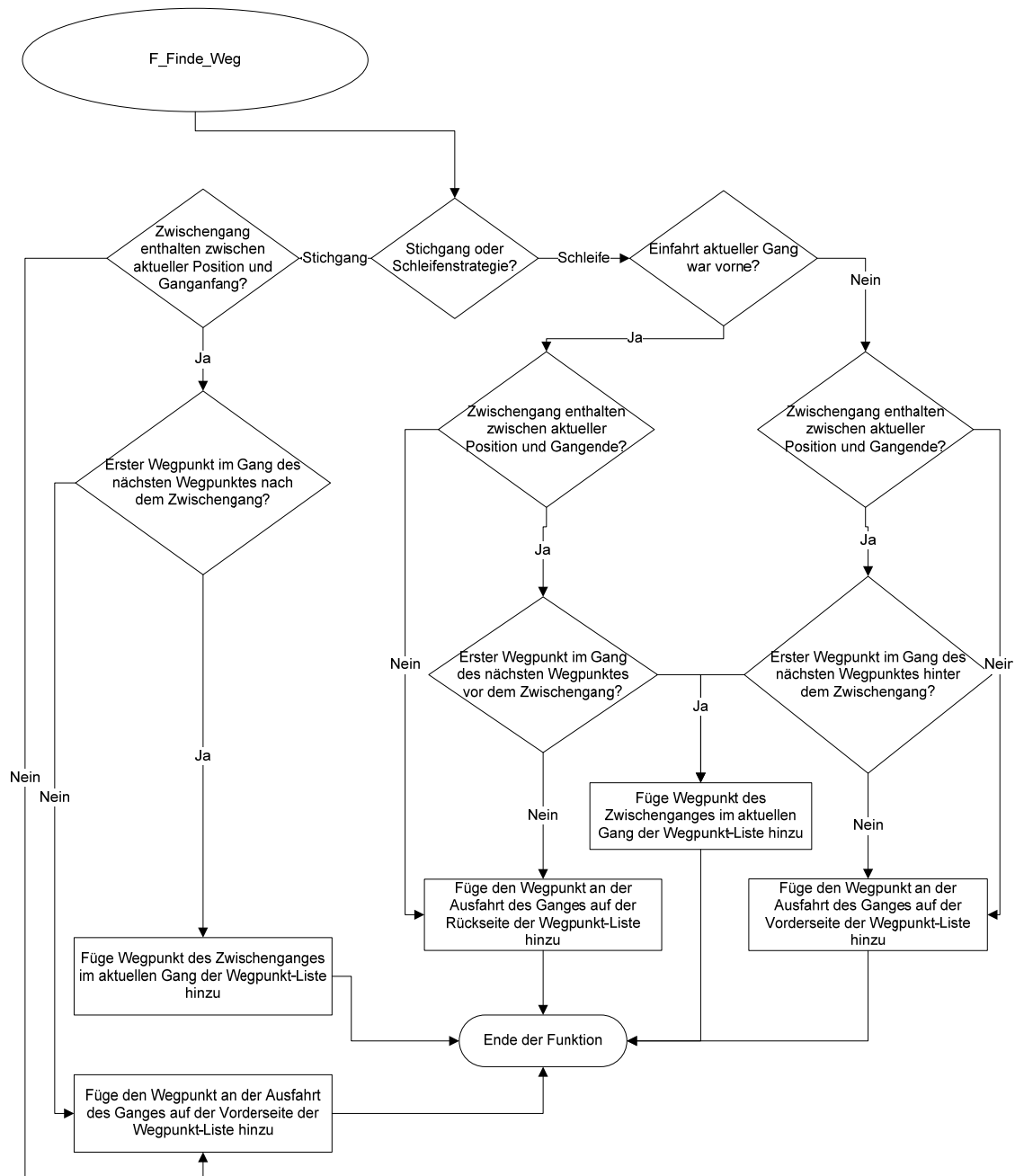


ABBILDUNG 5-15: ABLAUFDIAGRAMM DER FUNKTION "FINDE_WEG"

5.3 DURCHFÜHREN VON SIMULATIONSEXPERIMENTEN (FLW)

Um die relevanten Einflussgrößen von Systemlast und Layoutstrukturen auf die Effizienz der Kommissionierstrategien zu untersuchen, wurden systematische Simulationsexperimente durchgeführt und ausgewertet. Weiterhin war zu identifizieren, wie groß die Verringerung der Wegzeit beim Einsatz von einzelnen Kommissionierstrategien und deren Kombinationen ist. Hierfür musste ebenfalls die Abhängigkeit von der Systemlast und unterschiedlichen Layoutstrukturen geprüft werden.

In diesem Abschnitt soll ein Überblick der Parametervariationen bei den Simulationsexperimenten gegeben werden. Im nächsten Abschnitt folgt dann die Auswertung der Ergebnisse. Abbildung 5-16 zeigt diese Parametervariationen, die sich in Systemlast und Kommissionierstrategien gruppieren lassen.

Im Bereich der Systemlast werden verschiedene Verteilungen der Zugriffshäufigkeit auf die Artikel betrachtet. Die Basis bildet die normale Verteilung der Zugriffshäufigkeiten, bei der 80% der Zugriffe auf 20% der Artikel erfolgen (80/20). Alternativ wird auch die Gleichverteilung (80/80) und eine besonders stark ausgeprägte ABC-Verteilung (80/5) in die Simulationsexperimente einbezogen. Als zweiter Parameter im Bereich der Systemlast wird die Anzahl an Positionen pro Auftrag von 1 bis 15 in zweier Schritten variiert. Die Entnahmeeinheiten pro Position sind für die Betrachtung der Wegzeiten irrelevant und bilden eine Eingangsgröße bei der Untersuchung der Prüfstrategien, da dort auch die verschiedenen Prinzipien der Kommissionierführung mit entsprechenden Entnahmeprozessen simuliert werden.

Abbildung 5-16 veranschaulicht auch die Parametervariationen der sechs betrachteten Kommissionierstrategien in den Simulationsexperimenten.

Um eine genau Aussage über die Einflussgrößen und deren Auswirkung zu erhalten, wurden in den Simulationsdurchläufen alle Kombinationen der Parameter untersucht. Diese Untersuchung wurde für jedes der neun abgeleiteten Referenzsysteme durchgeführt.

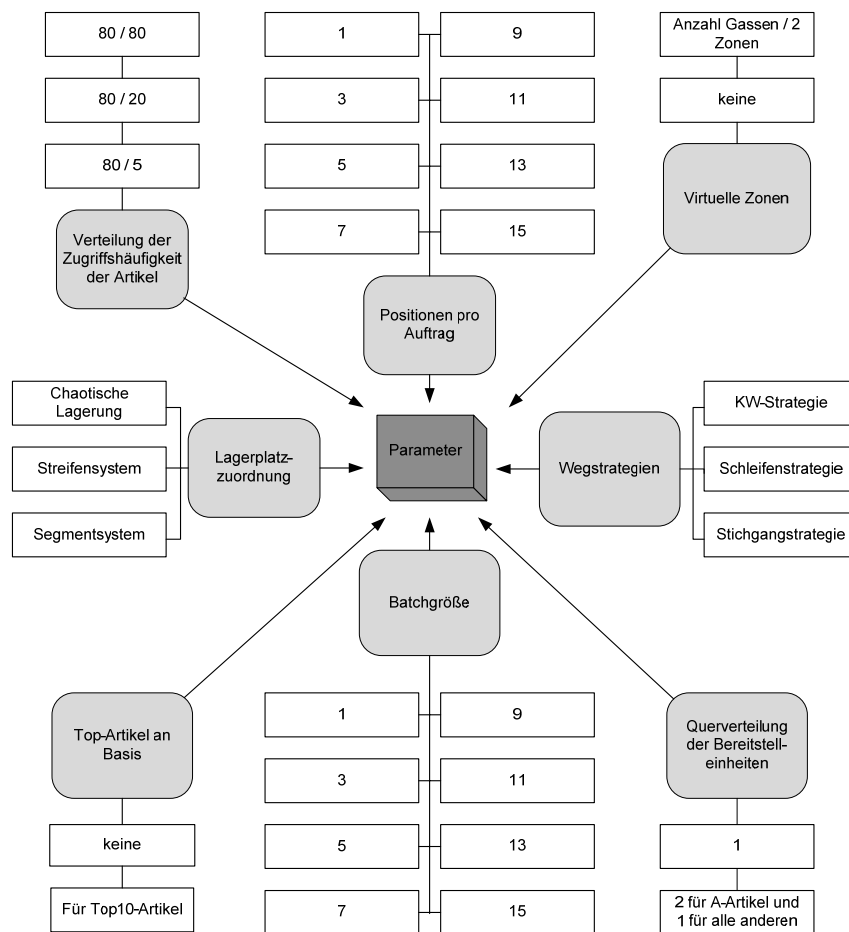


ABBILDUNG 5-16: PARAMETERVARIATION BEI DEN SIMULATIONSEXPERIMENTEN

5.4 ERGEBNISSE (FLW)

Die Analyse der Simulationsergebnisse hat gezeigt, dass die prozentuale Wegzeiterparnis durch Kommissionierstrategien in allen Referenzsystemen ähnliche Ausprägungen erreicht. Deshalb wird bei der Beschreibung der Auswertung der Simulationsexperimente zunächst Referenzmodell 1 betrachtet. Anhand dieses Referenzmodells wird gezeigt, wie sich die Wegzeit pro Position in Abhängigkeit der relevanten Einflussgrößen und der Kommissionierstrategien verhält. Im ersten Schritt werden dazu die einzelnen Kommissionierstrategien und ihre Einflussgrößen separat betrachtet. Im Anschluss werden die Untersuchungsergebnisse für den kombinierten Einsatz mehrerer Kommissionierstrategien dargestellt. Darauf aufbauend wird die Betrachtung auf alle Referenzsysteme erweitert und abweichende Ergebnisse bei den verschiedenen Layoutvarianten herausgestellt.

5.4.1 WEGZEITBETRACHTUNG EINZELNER KOMMISSIONIERSTRATEGIEN AM REFERENZMODELL 1

Abbildung 5-17 zeigt drei Kennlinien, die für jeweils eine Wegstrategie die Veränderung der Wegzeit pro Position in Abhängigkeit der Anzahl an Positionen pro Auftrag darstellt. Die optimale Wegstrategie ist immer die „Kürzeste-Wege-Strategie“ (KW-Strategie). Die Wegzeiterparnis pro Position liegt bei einem Wechsel von Stichgangstrategie zur KW-Strategie bei durchschnittlich 15%, bei einem Wechsel von Schleifenstrategie zu KW-Strategie bei durchschnittlich 20%. Kann in dem Kommissioniersystem aus unterschiedlichen Gründen keine KW-Strategie realisiert werden, so hängt die Wahl zwischen Schleifenstrategie und Stichgangstrategie von der Anzahl der Anfahrpunkte auf einer Kommissioniertour ab. Bei Aufträgen mit wenigen Positionen sollte die Stichgangstrategie bevorzugt werden. Ihre Effizienz ist in diesem Fall identisch mit der KW-Strategie. Erhöht sich die Anzahl an Positionen, so ist die Schleifenstrategie der Stichgangstrategie ab einem bestimmten Punkt überlegen. Dieser wird in Abbildung 5-17 erreicht und liegt bei Referenzsystem 1 bei ca. 7 Positionen pro Kommissioniertour.

Da die Betrachtung der weiteren Kommissionierstrategien nicht ohne den Einsatz einer Wegstrategie durchgeführt werden kann, wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels der Einsatz einer KW-Strategie im Kommissioniersystem vorausgesetzt. Stichgang- und Schleifenstrategie werden in einem späteren Abschnitt nochmal in Kombination mit den Lagerplatzzuordnungsstrategien untersucht.

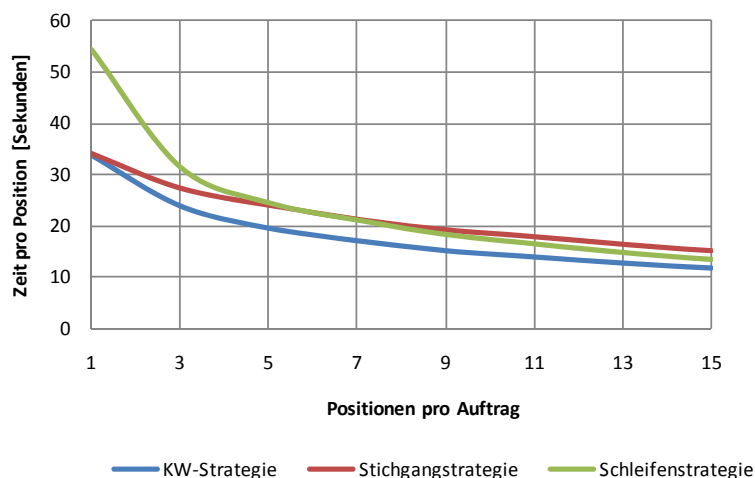


ABBILDUNG 5-17: WEGZEITVERGLEICH BEI UNTERSCHIEDLICHEN WEGSTRATEGIEN

Abbildung 5-18 stellt die Auswirkung der verschiedenen Lagerplatzzuordnungen auf die Wegzeit des Kommissionierers dar. Die zufällige Einlagerung der Bereitstelleneinheiten kann als Referenzwert für ein Kommissioniersystem ohne Lagerplatzzuordnungsstrategie angesehen werden. Für die Höhe der Wegzeiteinsparungen bei Verwendung einer ABC-Zonung konnte die Verteilung der Zugriffshäufigkeiten auf die Artikel als wichtiger Parameter identifiziert werden. Ausgehend von einer normalen Verteilung in der 80% der Zugriffe auf 20% der Artikel erfolgen (80/20) zeigt eine ABC-Zonung im Segmentsystem einen Wegzeitgewinn von 40% pro Position im Vergleich zur zufälligen Einlagerung. Unter gleichen Voraussetzungen liegt der Wegzeitgewinn für eine ABC-Zonung im Streifensystem bei 30%. Allerdings ist bei einer Zonung im Segmentsystem auch die Gefahr der Behinderung von Kommissionierern gegenseitig am größten, da die zugriffstärksten Artikel in einer Gasse gebündelt werden. Nur für den Fall eines Ein-Positions-Auftrages ist das Streifensystem dem Segmentsystem überlegen, da im Streifensystem ein beliebiger Gang angelaufen wird, die Entnahmeposition aber am Anfang des Ganges liegt. Im Segmentsystem muss in diesem Fall im Durchschnitt bis zur Mitte des zugriffstarken Ganges gelaufen werden.

Variiert die Verteilung der Zugriffshäufigkeit, so ergibt sich keine Änderung der Allgemeinaussage, dass ein Segmentsystem leistungsstärker ist als ein Streifensystem. Es verändert sich ausschließlich die Ausprägung der Wegzeitgewinne. Bei sehr starker Ausprägung der Verteilung der Zugriffshäufigkeiten (80/5) ergeben sich Wegzeitgewinne von ca. 65% bei Einsatz eines Segmentsystems und ca. 43% bei Einsatz eines Streifensystems im Vergleich zur zufälligen Einlagerung.

Bei schwacher Ausprägung der Zugriffsverteilung reduziert sich auch der Wegzeitgewinn durch den Einsatz einer ABC-Zonung. Bei einer Gleichverteilung der Zugriffshäufigkeit (80/80) kann schließlich keine Zonung mehr entwickelt werden bzw. es ergeben sich keine Wegzeitgewinne, da die Anfahrhäufigkeiten der einzelnen Bereitstelleneinheiten über das Lager gleichverteilt sind.

Zusätzliche Untersuchungen zur Auswirkung unterschiedlich stark ausgeprägter Verteilungen der Zugriffshäufigkeiten auf die Wegzeitreduzierung bei einer ABC-Zonung haben gezeigt, dass eine stärkere Ausprägung der Verteilung auch immer eine höhere Wegzeitreduzierung bewirkt.

In den weiteren Untersuchungen wird eine normale Verteilung der Zugriffshäufigkeit (80/20) unterstellt, sofern nicht etwas anderes beschrieben ist.

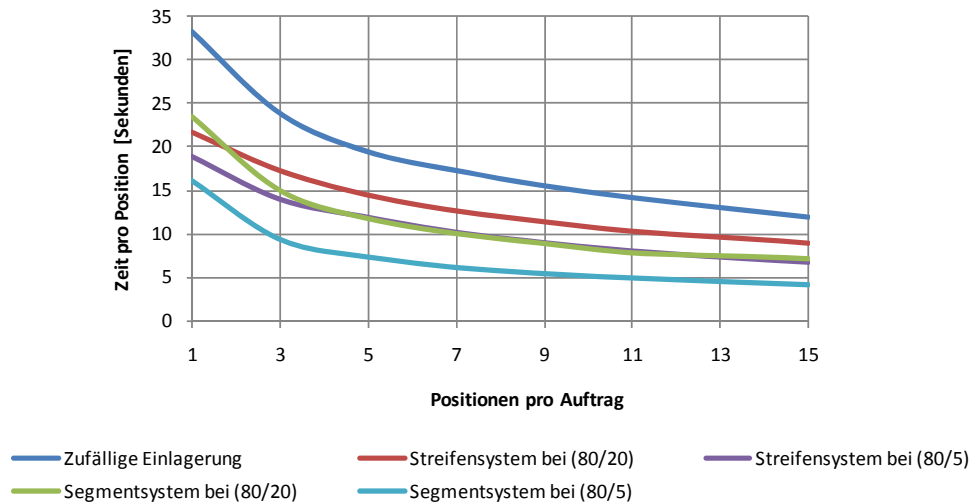


ABBILDUNG 5-18: WEGZEITVERGLEICH BEI UNTERSCHIEDLICHEN LAGERPLATZUORDNUNGEN

Abbildung 5-19 zeigt die Reduzierung der Wegzeit durch Multi-Order-Picking (Bildung von Sammelaufträgen). Als Referenzwert für die Wegzeiteinsparung durch diese Kommissionierstrategie wird die Einzelbearbeitung der Aufträge (Single-Order-Picking) herangezogen. Als Ergebnis stellt sich zunächst heraus: Je höher die Anzahl an Aufträgen pro Kommissioniertour, desto höher auch die Wegzeiteinsparung durch diese Kommissionierstrategie. Im Vergleich zur Einzelbearbeitung liegt die Wegzeiteinsparung bei der Bearbeitung von 3 Aufträgen gleichzeitig (Batchgröße 3) bereits bei durchschnittlich 55%. Werden 13 Aufträge gleichzeitig bearbeitet, so steigt die Reduzierung der Wegzeit unter gleichen Voraussetzungen im Mittel auf fast 85%. Damit ist das Mutli-Order-Picking die bisher effizienteste betrachtete Kommissionierstrategie.

In Abbildung 5-19 weisen die Kennlinien ab Batchgröße 9 eine Verschlechterung der Wegzeit zwischen Ein-Positions-Aufträgen und zwei oder drei Positionen pro Auftrag auf. Dies ist zunächst unerwartet, da bei Aufträgen mit mehr Positionen eine höhere Entnahmepunktdichte entsteht und somit mit einer geringeren Zeit pro Position gerechnet werden müsste (wie es der übrige Verlauf der Kennlinien darstellt). Dass die Kennlinien nicht wie erwartet stetig fallend sind, lässt sich über die Funktionsweise des Batchalgorithmus erklären. Beim Zusammenfassen von Aufträgen verfolgt er das Ziel, die Anzahl der anzulaufenden Gassen zu minimieren. Bei Ein-Positions-Aufträgen ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, jeweils andere Aufträge mit der gleichen Gasse zu finden. Bei Zwei-Positions-Aufträgen wird die Wahrscheinlichkeit sprunghaft schlechter. Dieser Nachteil zerrt den Vorteil der höheren Entnahmepunktdichte vollständig auf.

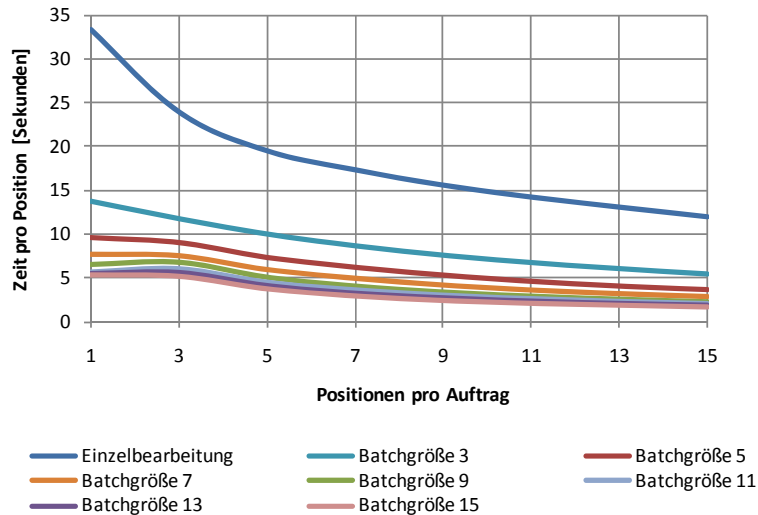


ABBILDUNG 5-19: WEGZEITREDUZIERUNG DURCH MULTI-ORDER-PICKING

Die Ergebnisse zur Untersuchung möglicher Wegzeitgewinne durch den Einsatz Virtueller Zonen (VZ) sind in Abbildung 5-20 dargestellt. Diese Kommissionierstrategie soll eine effizientere Batchbildung ermöglichen und muss deshalb in Kombination mit der Bildung von Sammelaufträgen betrachtet werden. Das Referenzsystem 1 wurde in zwei bzw. vier Virtuelle Zonen unterteilt. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf eine Unterteilung in vier Virtuelle Zonen, wobei jeweils 2 benachbarte Gassen eine Zone bilden. Die Experimente mit zwei Virtuellen Zonen haben ähnliche Ergebnisse geliefert und die folgenden Aussagen lassen sich dementsprechend übertragen.

Als Referenzwert für die Effektivität dieser Kommissionierstrategie wird jeweils die Bearbeitung ohne den Einsatz Virtueller Zonen verwendet (sowohl Single-Order-Picking, wie auch Multi-Order-Picking). Bei einem Single-Order-Picking erhöht sich durch den Einsatz Virtueller Zonen die Wegzeit des Kommissionierers, da er den einzelnen Kundenauftrag nicht mit einer Tour durch das Lager abarbeitet, sondern für jede Virtuelle Zone eine Tour gehen muss. Die Summe der einzelnen Touren ist durch das wiederholte Anlaufen der Basis in Summe deutlich uneffektiver als eine komplette Bearbeitung des Kundenauftrages.

Beim Multi-Order-Picking wird durch Virtuelle Zonen im Bereich weniger Positionen pro Auftrag (ca. zwischen zwei und fünf) eine Reduzierung der Wegzeit erreicht. Der Anteil der Wegreduzierung steigt im Vergleich zum Multi-Order-Picking ohne Virtuelle-Zonen mit der Anzahl gleichzeitig bearbeiteter Aufträge. Bei drei Positionen pro Auftrag und einer Batchgröße von fünf liegt die Wegzeitreduzierung durch Virtuelle Zonen bei 8%, bei Batchgröße von neun bereits bei 20% und bei einer Batchgröße von 13 bei 28%.

In dieser Wegzeitbetrachtung ist allerdings der Aufwand für die spätere Zusammenführung der gesplitteten Auftragsbehälter vernachlässigt. Selbst bei einer denkbar geringen und ohne Automatisierung unrealistischen Zusammenführungszeit von 15 Sekunden für die Auftragsbehälter eines Auftrages steht diesem Aufwand bei Batchgröße 13 und vier Virtuellen Zonen ein Wegzeitgewinn von ca. 5 Sekunden gegenüber. Auch unter anderen Voraussetzungen lässt sich kein Fall identifizieren, indem sich beim Einbeziehen des Zusammenführungsaufwands eine Reduzierung der Wegzeit ergibt. Bei der Kombination mit weiteren Kommissionierstrategien bzw. in anderen

Referenzsystemen ändert sich diese Problematik nicht. Deshalb wird in der weiteren Betrachtung auf den Einsatz Virtueller Zonen verzichtet.

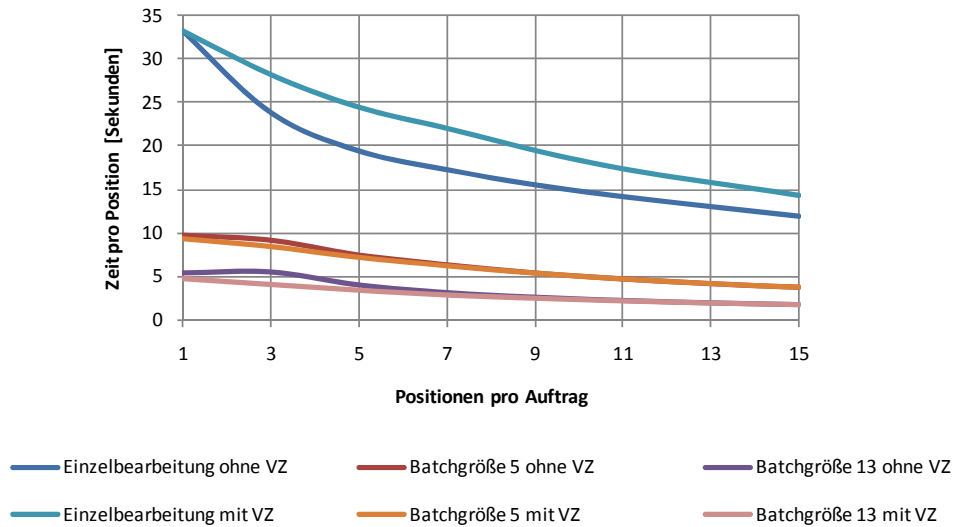


ABBILDUNG 5-20: WEGZEITREDUZIERUNG BEI VIRTUELLEN ZONEN

Die potenzielle Wegzeitreduzierung durch Lagerung von TOP-Artikeln direkt an der Basis wird in Abbildung 5-21 dargestellt. Als Referenzwert gilt die Kennlinie bei der alle Artikel inklusiv der TOP-Artikel im Lager bereitgestellt werden. Die beiden übrigen Kennlinien der Abbildung 5-21 zeigen die veränderte Wegzeit pro Position, wenn die jeweils 10 zugriffstärksten Artikel direkt an der Basis bereitgestellt werden. Der Unterschied bei beiden Kennlinien liegt in der Ausprägung der Zugriffsverteilung auf die Artikel. Es wird zum einen die „normale“ Verteilung der Zugriffshäufigkeiten (80/20) angenommen und zum anderen eine besonders starke ABC-Ausprägung der Verteilung der Zugriffshäufigkeiten (80/5).

Die Kommissionierstrategie zur Lagerung der 10 TOP-Artikel an der Basis bewirkt bei einer 80/20-Verteilung eine Wegzeitreduzierung von durchschnittlich 10%. Bei einer 80/5-Verteilung wird eine Wegzeitreduzierung von durchschnittlich 30% erreicht. Allgemein zeigen weitere Experimente, dass die Wegzeitreduzierung bei dieser Kommissionierstrategie abhängig von der Ausprägung der Verteilung der Zugriffshäufigkeiten ist. Je stärker die Verteilung ausgeprägt ist, desto größer die Wegzeitreduzierung.

Als zusätzliches Argument für den Einsatz dieser Kommissionierstrategie hat sich ergeben, dass Nachschubeinheiten in einigen Fällen deutlich schneller zur Basis als in das Kommissionierlager gebracht werden können.

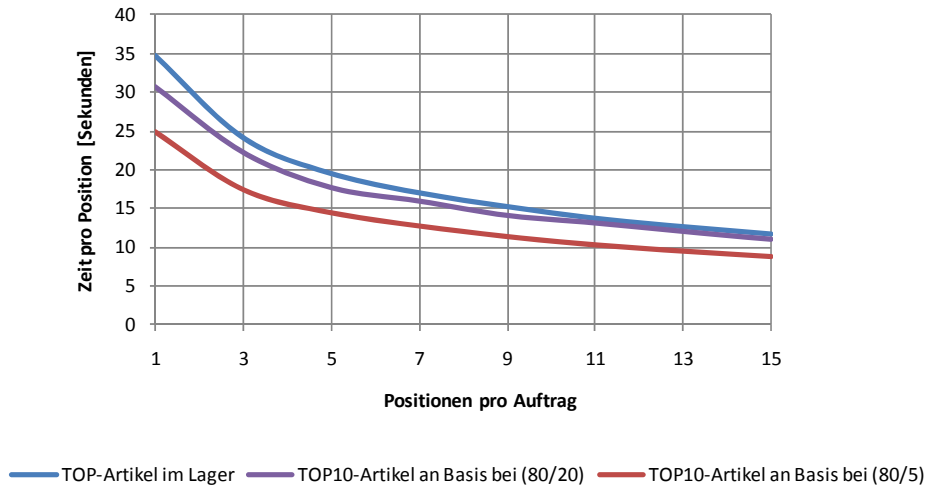


ABBILDUNG 5-21: WEGZEITREDUZIERUNG DURCH TOP10-ARTIKEL AN DER BASIS

Abbildung 5-22 zeigt den Wegzeitgewinn bei Querverteilung der Bereitstellereinheiten. Als Referenzwert gilt die Kennlinie „Ohne Querverteilung“, bei der alle Bereitstellereinheiten eines Artikels in benachbarten Lagerfächern bereitgestellt werden. Bei der Kennlinie „Mit Querverteilung (2 Einheiten)“ wurde im Referenzsystem 1 jeder A-Artikel auf zwei nicht benachbarte Orte verteilt (die in unterschiedlichen Gassen liegen). Bei der Kennlinie „Mit Querverteilung (3 Einheiten)“ wurde entsprechend jeder A-Artikel auf drei nicht benachbarte Orte verteilt (die ebenfalls in unterschiedlichen Gassen liegen).

Mit der Querverteilung von 2 Einheiten wird eine Wegzeitreduzierung von durchschnittlich 11% gegenüber dem Referenzwert erreicht. Bei einer Querverteilung mit 3 Einheiten wird eine Wegzeitreduzierung von durchschnittlich 14% erreicht. Diese Kommissionierstrategie zeigt sich daher im Vergleich als nicht besonders effektiv, zumal in Verbindung mit Multi-Order-Picking der Steuerungsalgorithmus deutlich komplizierter wird. Weitere Experimente zu dieser Strategie lassen aber vermuten, dass durch effizientes Verteilen der Bereitstellereinheiten im Lager weitere Wegzeitreduzierungen möglich sind.

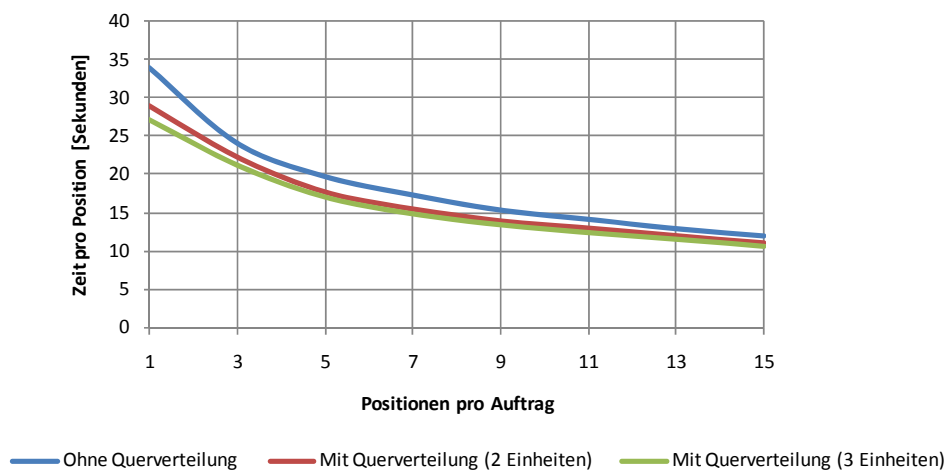


ABBILDUNG 5-22: WEGZEITVERGLEICH BEI QUERVERTEILUNG VON BEREITSTELLEINHEITEN

5.4.2 WEGZEITBETRACHTUNG BEI DER KOMBINATION VON KOMMISSIONIERSTRATEGIEN AM REFERENZMODELL 1

Bei der separaten Untersuchung einzelner Kommissionierstrategien wurde das größte Potenzial zur Optimierung der Leistung in manuellen Kommissioniersystemen beim Einsatz von Multi-Order-Picking mittels geeigneten Batchalgorithmen identifiziert. Allerdings werden in der Praxis mehrere Kommissionierstrategien gleichzeitig eingesetzt. Die bisherige Betrachtung der Wegzeitgewinne muss also auf den kombinierten Einsatz mehrerer Kommissionierstrategien ausgeweitet werden. Und es soll in diesem Abschnitt die Frage beantwortet werden, inwiefern die Kombination von einzelnen Optimierungsmaßnahmen den Leistungsgewinn verstärkt (konstruktive Interferenz) oder inwiefern einzelne Maßnahmen sich konfliktär verhalten und letztendlich zu einem geringeren Potenzial führen (destruktive Interferenz).

Die Untersuchung der Wegstrategien hat gezeigt, dass eine KW-Strategie immer zu bevorzugen ist. In einigen Systemen stehen nur die einfachen geometrischen Heuristiken, wie Schleifen- und Stichgangstrategie zur Verfügung. Für diesen Fall konnte nachgewiesen werden, dass bei separater Betrachtung der Wegstrategie die generelle Handlungsempfehlung lautet: Bei bis zu 5 Positionen pro Auftrag ist Stichgang zu bevorzugen, bei einer höheren Anzahl ist zunächst die Schleifenstrategie gleichgestellt und ab ca. 9 Positionen schließlich effizienter (vgl. Abbildung 5-23 – ohne Zonung).

Experimente zur Kombination von Wegstrategien und Lagerplatzzuordnung (bei 80/20-Verteilung) haben gezeigt, dass sich in einem Streifensystem der „Break-Even-Point“ zwischen Stichgangstrategie und Schleifenstrategie bei einer deutlich höheren Positionsanzahl (>60 Positionen) befindet.

In Abbildung 5-23 liegen im Streifensystem die Kennlinien der KW-Strategie und der Stichgangstrategie exakt übereinander. Dies lässt sich erklären, da es in diesem Fall zu einer Bündelung der Entnahmeorte am Gassenanfang kommt und somit ein komplettes Durchlaufen der Gassen erst wirtschaftlich wird, wenn so viel Positionen auf einer Tour gepickt werden, dass auch im hinteren Teil der Gasse vermehrt Anfahrpunkte liegen. Dieses Szenario wird voraussichtlich erst erreicht, wenn zusätzlich Multi-Order-Picking eingesetzt wird und so Sammelaufträge mit sehr hoher Positionsanzahl entstehen.

Betrachtet man in Abbildung 5-23 die Kennlinien der Wegstrategien im Segmentsystem, so ist die Schleifenstrategie ab ca. 9 Positionen pro Auftrag genauso effizient, wie die Stichgangstrategie. Im Vergleich mit dem Streifensystem sind neben der KW-Strategie auch die beiden geometrischen Heuristiken im Segmentsystem effizienter. Für die Lagerplatzzuordnung ist also unabhängig von der eingesetzten Wegstrategie ein Segmentsystem vorzuziehen.

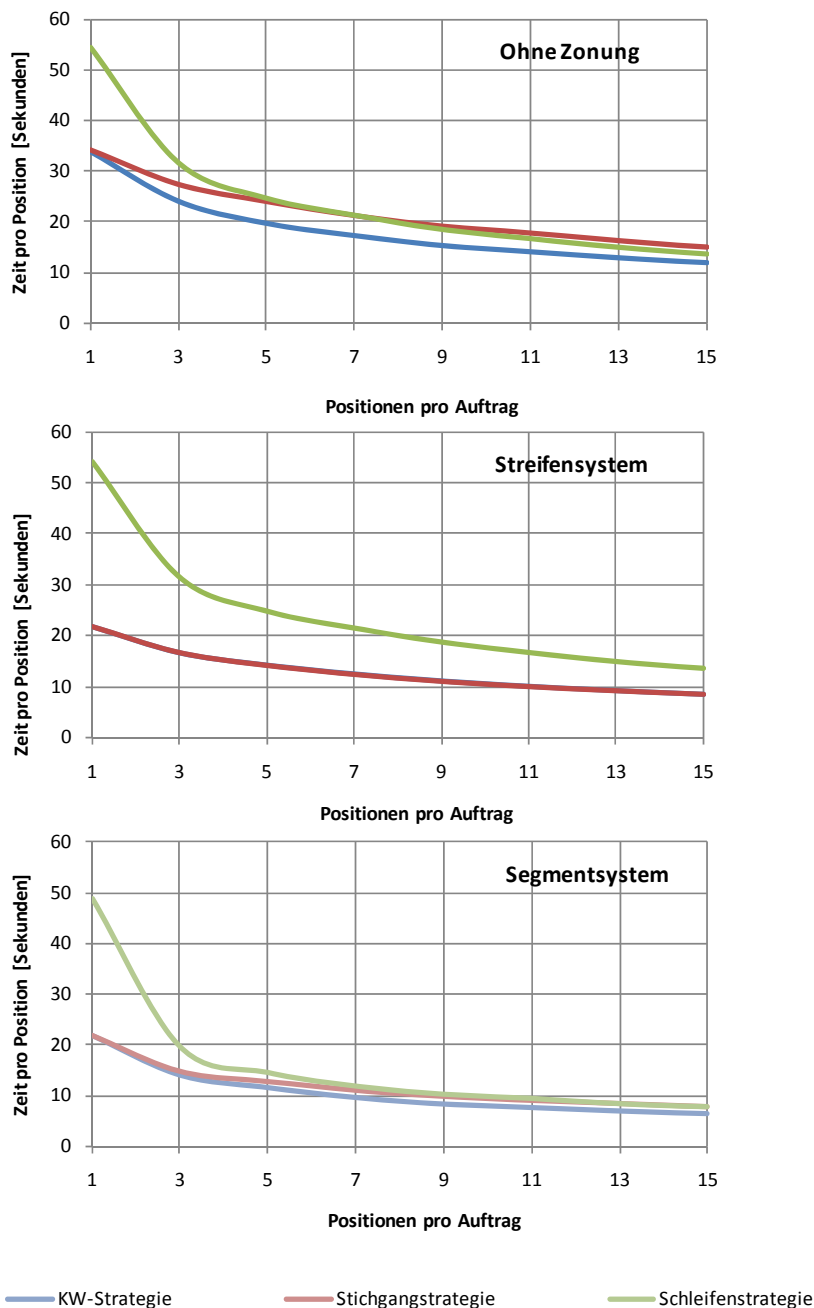


ABBILDUNG 5-23: WEGSTRATEGIEN UND LAGERPLATZUORDNUNGEN

Dieser Grundsatz gilt weiterhin, wenn Lagerplatzzuordnungen mit Multi-Order-Picking kombiniert werden. In Abbildung 5-24 wurden die Ergebnisse unter Einsatz der KW-Strategie erzeugt. Die Kennlinien der Abbildung zeigen beispielhaft die Ergebnisse für Batchgröße 9 (die gleichzeitige Bearbeitung von 9 Aufträgen). Diese Ergebnisse sind auf alle anderen Batchgrößen zu übertragen, wobei kleinere Batchgrößen eine geringere Wegzeitreduktion bewirken, größere Batchgrößen eine höhere.

Bei der Bildung von Sammelaufträgen ergibt sich eine hohe Anzahl Positionen pro Kommissioniertour. Abhängig von der Lagerplatzzuordnung kann anhand der Positionsanzahl, wie in der Einzelbearbeitung, zwischen Schleifenstrategie und Stichgangstrategie entschieden werden,

wobei abhängig von der zugrunde liegenden Verteilung der Zugriffshäufigkeit auf die Artikel die dort genannten Positionszahlen für den „Break-Even-Point“ gelten.

Wie bei der Einzelbetrachtung der Strategien dargestellt, ergibt sich durch Multi-Order-Picking der größte Effekt bei der Wegzeitreduzierung. Wird Multi-Order-Picking und Lagerplatzzuordnung kombiniert eingesetzt, so verringert sich der Effekt der Lagerplatzzuordnung, da beide Kommissionierstrategien auf eine Bündelung der Entnahmeorte abzielen. Im Referenzsystem 1 bewirkt Batchgröße 9, wie in Abbildung 5-24 dargestellt, eine Wegzeitersparnis von durchschnittlich 77% im Vergleich zur Einzelbearbeitung. Mit dem Einsatz eines Segmentsystems wird eine Wegzeitersparnis von durchschnittlich 40% im Vergleich zur zufälligen Einlagerung erreicht. Werden beide Strategien kombiniert, so entsteht eine Wegzeitersparnis bei Batchgröße 9 und Segmentsystem von durchschnittlich 85%. Damit kann die Kennlinie von Batchgröße 9 durch Hinzufügen eines Segmentsystems um durchschnittlich 30% verbessert werden. Die Kombination von Multi-Order-Picking und Lagerplatzzuordnung erscheint als sehr effektiv.

Durch die Kombination von Multi-Order-Picking mit einem Segmentsystem ergibt sich eine stetig fallende Kennlinie. Der Effekt, dass Ein-Positions-Aufträge weniger Wegzeit pro Position erfordern, als Zwei-Positions-Aufträge (wie in der Beschreibung zu Abbildung 5-19 dargestellt) wird durch das Segmentsystem aufgehoben. Durch die Bündelung von zugriffshäufigen Artikeln in einer Gasse wird die Batchbildung von Zwei-Positions-Aufträgen ohne Gassenwechsel deutlich wahrscheinlicher (vgl. Abbildung 5-24, Kennlinie „Batchgröße 9 ohne Zonung“; „Batchgröße 9 mit Segmentsystem“).

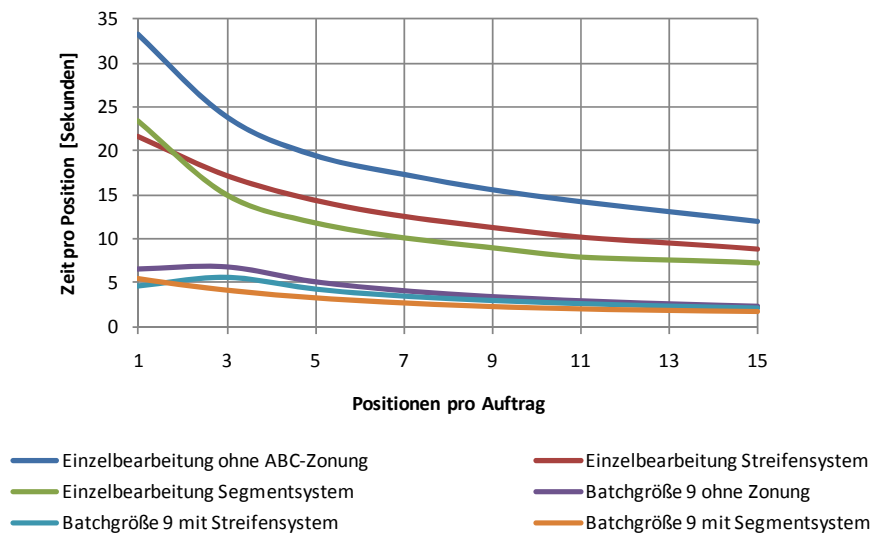


ABBILDUNG 5-24: MULTI-ORDER-PICKING UND LAGERPLATZUORDNUNG

Zusätzlich zum Multi-Order-Picking und der Lagerplatzzuordnung werden in Abbildung 5-25 die Querverteilung der Bereitstelleneinheiten und die Lagerung von TOP-Artikeln an der Basis in die Betrachtung von Kombinationen von Kommissionierstrategien mit einbezogen.

Die Kennlinien gelten für alle Referenzsysteme und beweisen, dass der zusätzliche Einsatz einer Kommissionierstrategie auch immer eine Reduktion der Wegzeit herbeiführt. Allerdings erzielen die Strategien der Querverteilung von Bereitstelleneinheiten und die Lagerung von TOP-Artikeln an der

Basis einen deutlich geringeren Leistungsgewinn, als das Multi-Order-Picking und die Lagerplatzzuordnung. Die 85% Wegzeitreduzierung dieser beiden effizientesten Strategien können so nur auf 87% gesteigert werden.

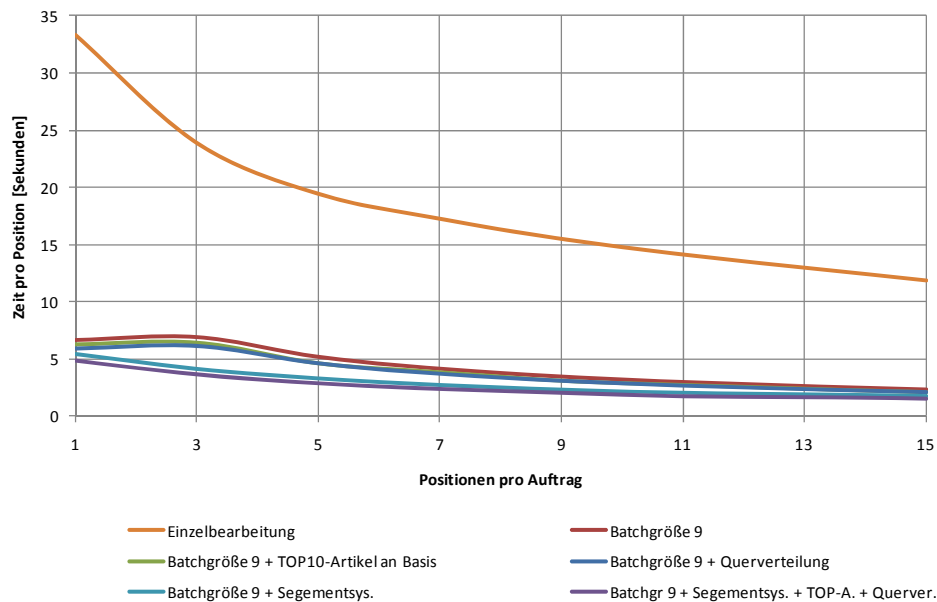


ABBILDUNG 5-25: WEGZEITREDUKTION BEI KOMBINATION ALLER KOMMISSIONIERSTRATEGIEN

5.4.3 WEGZEITBETRACHTUNG FÜR KOMBINATIONEN VON KOMMISSIONIERSTRATEGIEN IN ABHÄNGIGKEIT DES SYSTEMLAYOUTS

Im folgenden Abschnitt wird überprüft, welchen Einfluss das Systemlayout auf die Effizienz der Kommissionierstrategien hat. Dazu werden für jedes Referenzsystem Kennlinien der Wegzeit pro Position ermittelt. Es wird jeweils die Einzelbearbeitung von Aufträgen mit einer KW-Strategie als Referenzwert verschiedenen Strategien bzw. Strategiekombinationen gegenübergestellt. Als repräsentative Auswahl wird das Multi-Order-Picking mit Batchgröße 9 betrachtet, der Einsatz eines Segmentsystems, das Multi-Order-Picking in Kombination mit einem Segmentsystem, sowie der kombinierte Einsatz aller verfügbaren und wegzeitreduzierenden Strategien (Batchgröße 9, Segmentsystem, Querverteilung der Bereitstellereinheiten und Lagerung von TOP-Artikel an der Basis).

Die Auswirkung der verschiedenen Layoutvariationen auf die Wegzeitreduzierung von Kommissionierstrategien wird in Abbildung 5-26 dargestellt. Bei der Bearbeitung von Ein-Positions-Aufträgen wirken sich Quergänge unabhängig von der Kommissionierstrategie negativ auf die Wegzeit aus. Allerdings wird bei Aufträgen mit mehr als einer Position durch den Quergang eine bessere Wegzeit erreicht. Dieser Effekt ist ebenfalls unabhängig von der eingesetzten Kommissionierstrategie. Auch die Wahl von Gassenlänge und Gassenanzahl hat einen Einfluss auf die Wegzeit. Vor allem bei Aufträgen mit geringer Positionsanzahl wirkt das Layout der Referenzsysteme 1 und 2, also die geringere Gassenlänge und höhere Gassenanzahl positiv auf die benötigte Wegzeit.

Da Thema dieses Forschungsprojekts der flexible Einsatz von Kommissionierstrategien ist, interessiert bei Betrachtung der unterschiedlichen Realisierungsmöglichkeiten vor allem der Einfluss von Layoutvarianten (wie Systemgröße, Gassenlänge, Quergänge) auf die Effektivität der Kommissionierstrategien. Die Gegenüberstellung der Kommissionierstrategie-Kennlinien der

Referenzsysteme 1 bis 4 in Abbildung 5-26 zeigt, dass der Verlauf der Kennlinien nahezu unabhängig vom Layout ist. Wird die Betrachtung auf die übrigen Referenzsysteme erweitert (siehe Abbildung 5-27 und Abbildung 5-28), so ergibt sich dasselbe Ergebnis. Die Verläufe der Kennlinien sind in allen Referenzsystemen identisch. Es variiert nur die Skalierung der Y-Achsen. Damit können Layoutparameter als Einflussgrößen auf den zu entwickelnden kennwertbasierten Auswahlalgorithmus für Kommissionierstrategien vernachlässigt werden.

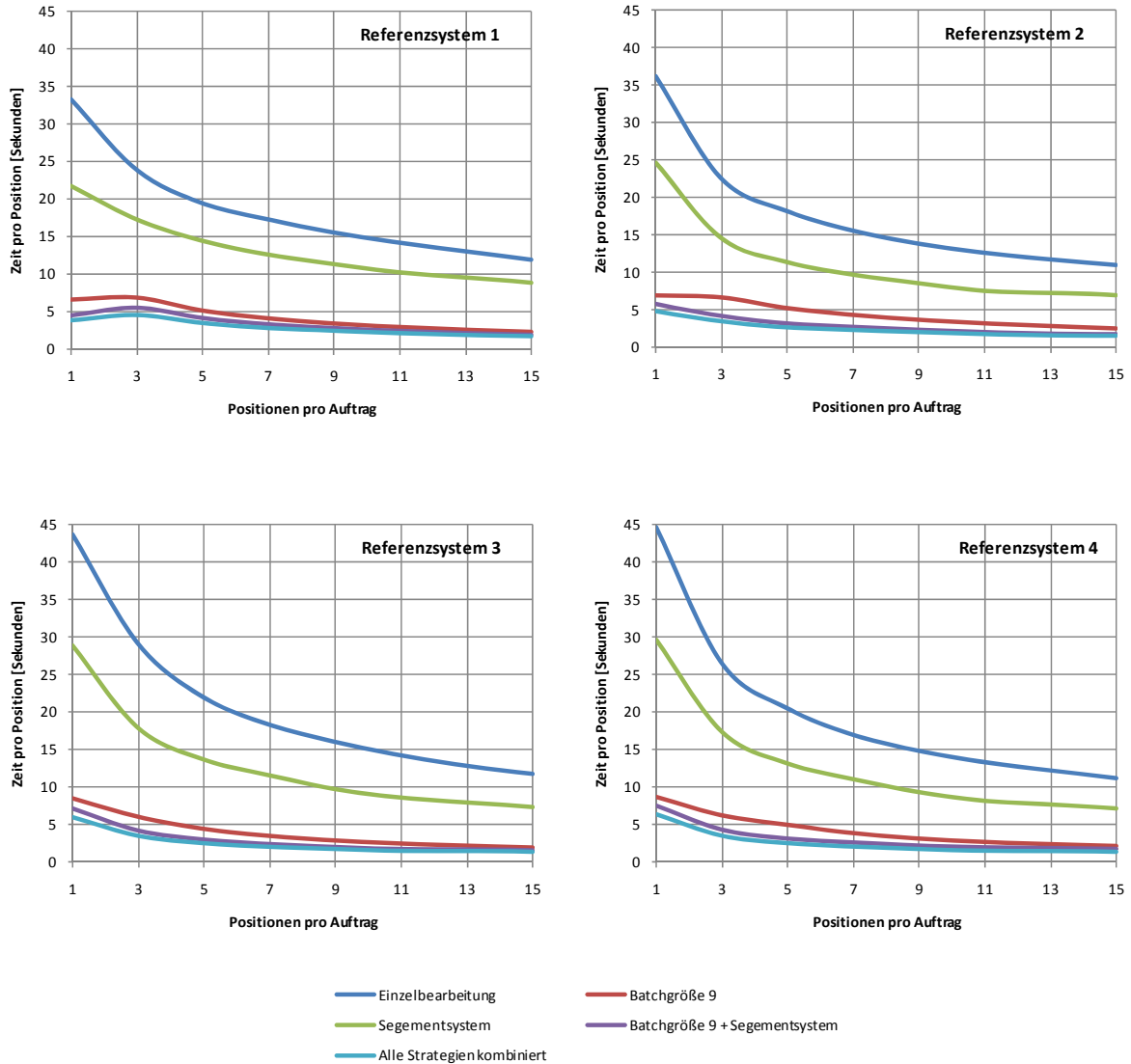


ABBILDUNG 5-26: KENNLINIEN DER KOMMISSIONIERSTRATEGIEN IN DEN REFERENZSYSTEMEN 1 BIS 4

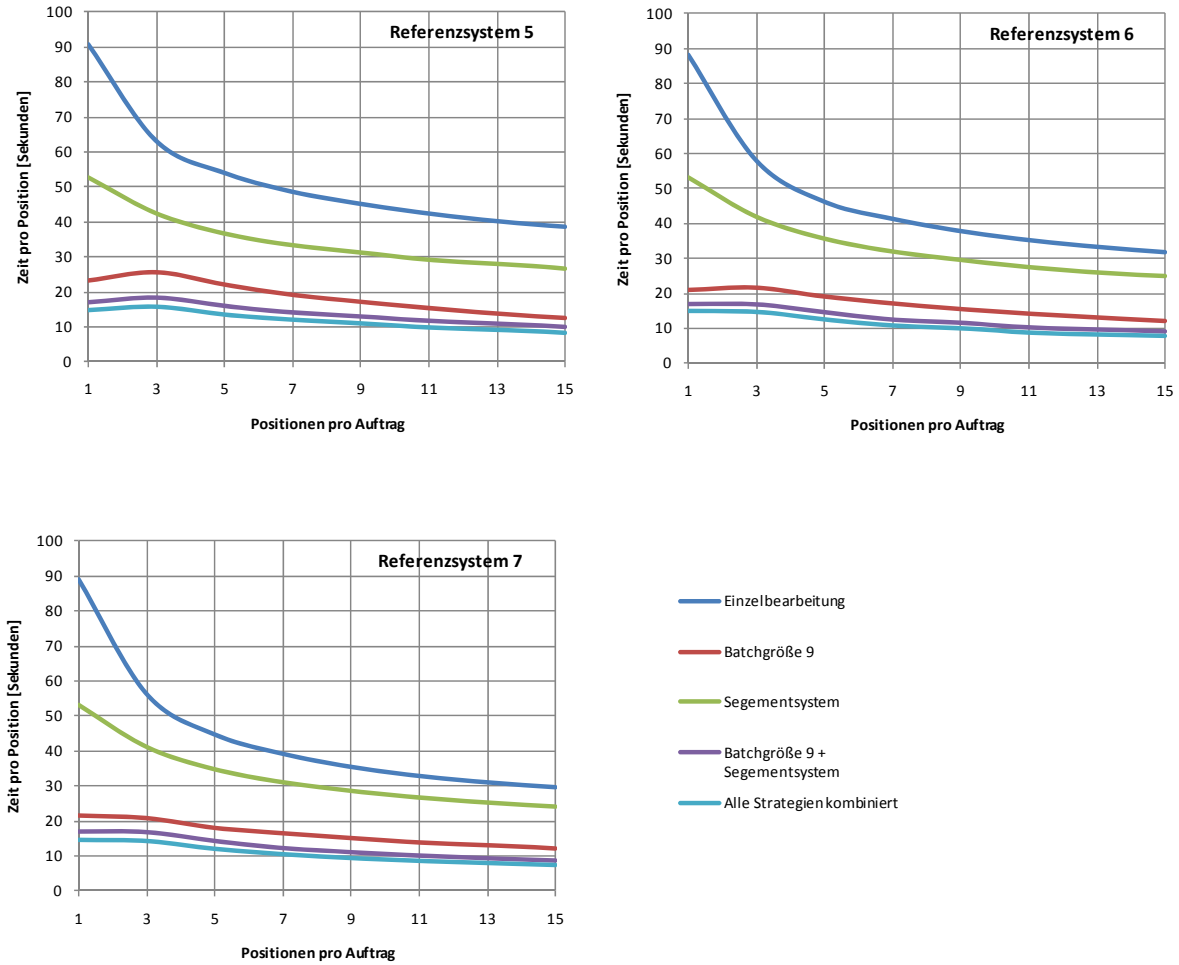


ABBILDUNG 5-27: KENNLINIEN DER KOMMISSIONIERSTRATEGIEN IN DEN REFERENZSYSTEMEN 5 BIS 7

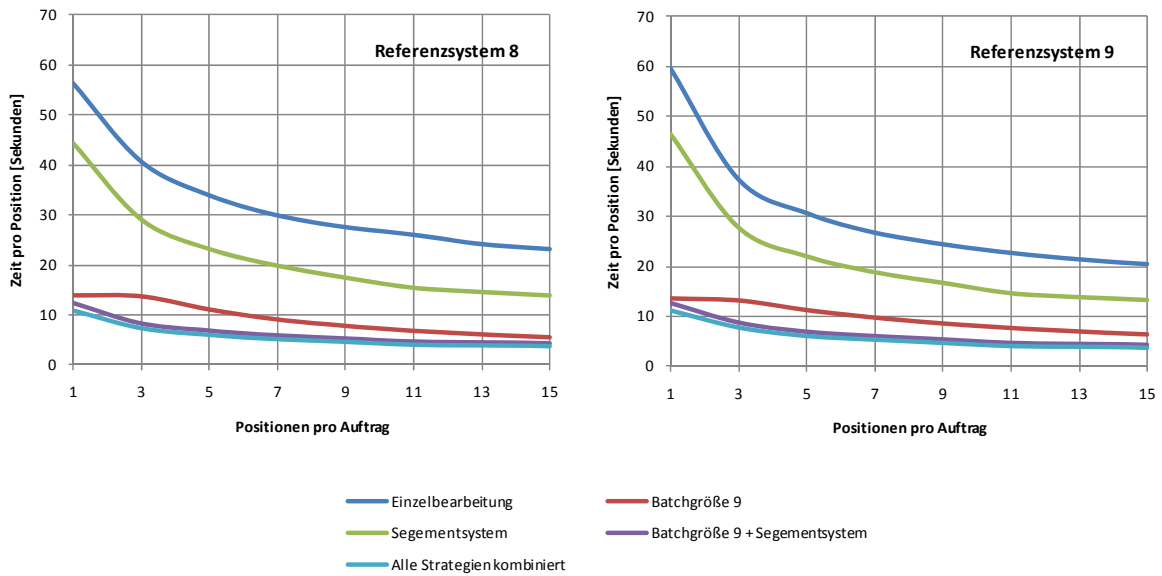


ABBILDUNG 5-28: KENNLINIEN DER KOMMISSIONIERSTRATEGIEN IN DEN REFERENZSYSTEMEN 8 UND 9

5.4.4 AUFTRAGSDURCHLAUFZEITEN BEIM EINSATZ VON KOMMISSIONIERSTRATEGIEN

Um eine Handlungsempfehlung zum Einsatz von Kommissionierstrategien zu formulieren, muss im nächsten Schritt untersucht werden, wie sich die Durchlaufzeiten der Aufträge beim Einsatz von Strategien ändern. Dabei ist die Durchlaufzeit eines Auftrages abhängig von der Anzahl an Positionen, die insgesamt auf einer Kommissioniertour bearbeitet werden. Beim Single-Order-Picking ist die Anzahl der Positionen pro Kommissioniertour genau die Anzahl an Positionen pro Auftrag. Beim Multi-Order-Picking ist die Anzahl an Positionen pro Kommissioniertour das Produkt aus Positionen pro Auftrag und der Batchgröße.

Beim Einsatz von Kommissionierstrategien wird die Wegzeit pro Position verringert. Damit verringert sich auch die Durchlaufzeit der Aufträge, sofern nicht Sammelaufträge gebildet werden. Abbildung 5-29 stellt die Auftragsdurchlaufzeiten für Single-Order- und Multi-Order-Picking in Referenzsystem 1 dar. In diesem Fall erhöht sich die Durchlaufzeit nahezu um den Faktor der Batchgröße.

Abbildung 5-30 zeigt für jeweils ein Referenzsystem aus jeder Gruppe die Entwicklung der Auftrags-Durchlaufzeiten in Abhängigkeit der Anzahl an Positionen pro Auftrag und der eingesetzten Kommissionierstrategie. Innerhalb der Gruppen verlaufen diese Kennlinien bei allen Referenzsystemen identisch. Vergleicht man die Gruppen miteinander, so ergeben sich Unterschiede von bis zu 25%. Diese entstehen durch die verschiedenen Systemgrößen. Außerdem kann in der Gruppe mit Referenzsystem 5 durch Einsatz aller Kommissionierstrategien in Kombination eine deutliche Reduzierung der Durchlaufzeit im Gegensatz zum ausschließlichen Multi-Order-Picking erreicht werden. Hierbei handelt es sich um das größte betrachtete System und somit sind auch die Effekte einer ABC-Zonung am stärksten ausgeprägt.

Allgemein stellt die Auftragsdurchlaufzeit keinen Wert dar, der auf ein Minimum reduziert werden muss. Vielmehr ist diese Größe als eine Restriktion zu sehen, bei der Kommissionierstrategien solange eingesetzt werden dürfen, wie eine geforderte Durchlaufzeit nicht überschritten wird. Im Zusammenhang mit dem Mutli-Order-Picking wird die Durchlaufzeit wichtig, da sie nahezu um den Faktor der Batchgröße ansteigt. Aus Leistungssicht sollte in einem Kommissioniersystem immer die größte Batchgröße realisiert werden. Dies kann aber nur in dem Rahmen geschehen, in dem die resultierenden Durchlaufzeiten den Gesamtprozess nicht gefährden.

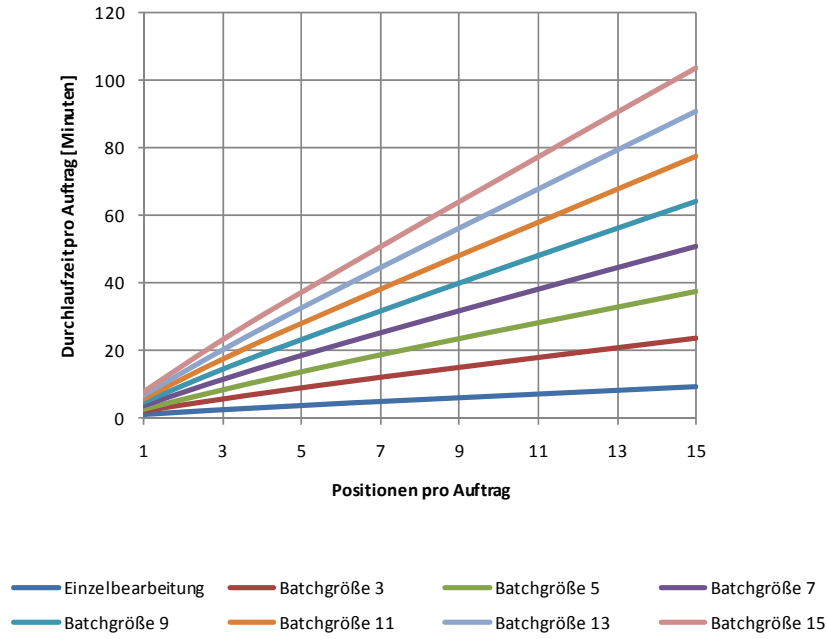


ABBILDUNG 5-29: AUFTRAGSDURCHLAUFZEITEN BEI MULTI-ORDER-PICKING IN REFERENZSYSTEM 1

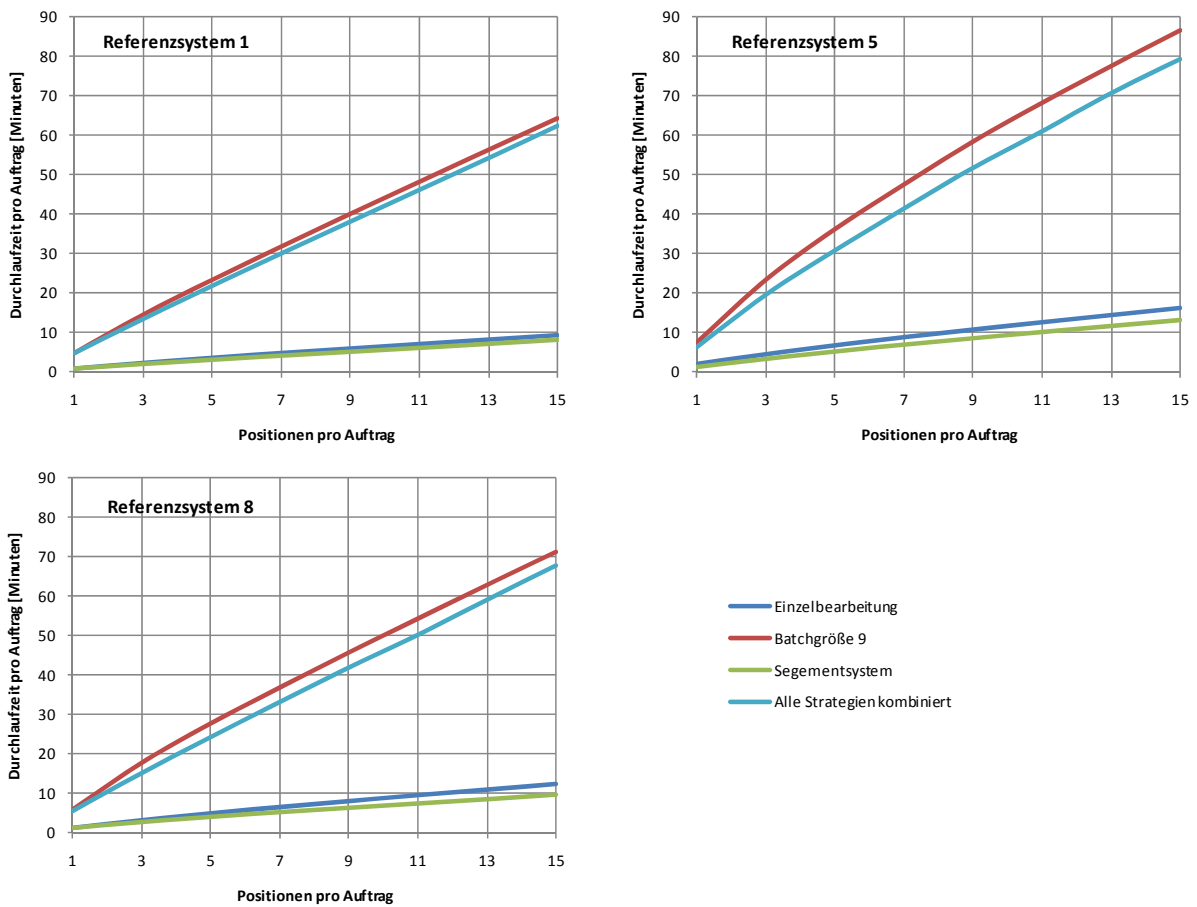


ABBILDUNG 5-30: KENNLINIEN DER AUFTRAGSDURCHLAUFZEITEN

5.5 ABGELEITETE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUM EINSATZ VON KOMMISSIONIERSTRATEGIEN (FLW)

Die Untersuchung der Kommissionierstrategien ergibt, es sollten unabhängig von Einflussgrößen alle der folgenden verfügbaren Strategien einen Leistungsgewinn:

- Wegstrategie
- Multi-Order-Picking
- Lagerplatzzuordnung
- Querverteilung der Bereitstelleneinheiten
- TOP-Artikel an der Basis

Diese Strategien bewirken, wie in diesem Kapitel dargestellt, unterschiedliche, von verschiedenen Einflussgrößen abhängige Wegzeitreduktionen. Die Strategie mit dem größten Potenzial ist das Multi-Order-Picking und sollte nach Möglichkeit in jedem auftragsweisen, manuellen Kommissioniersystem eingesetzt werden.

Besteht weiterhin die Möglichkeit zur Kombination der aufgelisteten Kommissionierstrategien, so haben die Untersuchungen bewiesen, dass der kombinierte Einsatz immer besser ist, als der Einsatz einer einzelnen Strategie. Strategiekombinationen, die sich gegenseitig negativ beeinflussen, existieren nicht. Allerdings hat sich gezeigt, dass die prozentualen Wegzeitreduktionen der Strategien nicht einfach aufsummiert werden können, um den Effekt einer Strategiekombination zu bestimmen. Hier bestehen die beschriebenen gegenseitigen Beeinflussungen.

Deshalb ist abhängig von der realisierbaren Batchgröße beim Multi-Order-Picking sowie den identifizierten Einflussgrößen das Verhältnis zwischen dem Nutzen einer weiteren Kommissionierstrategie und dem Aufwand für deren Umsetzung zu beachten. Für jeden spezifischen Fall von Systemlayout und Systemlast kann mit Hilfe des Auswahlalgorithmus in Abschnitt 8.1 die geeignetste Strategiekombination identifiziert werden. In einem zusammengefassten Auswahlalgorithmus werden zusätzlich Prüfmethode berücksichtigt und damit das Ziel der Leistungssteigerung um den Qualitätsaspekt erweitert (siehe Abschnitt 8.2).

6 UNTERSUCHUNG DER PRÜFSTRATEGIEN

Während Kommissionierstrategien die räumliche Abbildung von Wegen und Layout erfordern, setzt die Simulation von Prüfstrategien eine prozessorientierte Sichtweise voraus. Diesem Umstand wird durch die Verwendung unterschiedlicher Simulationssoftware Rechnung getragen. Wurde in den bisherigen Ausführungen zur Simulation verschiedener Kommissionierstrategien auf *AutoMod* zurückgegriffen, so ist bezüglich der Prüfstrategien von dieser Vorgehensweise abzuweichen. Mit der Verwendung einer alternativen Simulationssoftware wird hier die notwendige Prozesssichtweise berücksichtigt.

Ein geeignetes Simulationstool, das sich bereits beim Vorgängerprojekt Quinkom (vgl. [AIF14368]) bewährt hat, stellt die ARENA-Software dar. Auch innerhalb des Flexkom-Projektes wird daher auf dieses Simulationstool zurückgegriffen. Der Vorstellung der Software, der Erläuterung der Modellbildung und der anschließenden Simulationstätigkeit wird allerdings ein kurzer Abschnitt vorangestellt, der sich mit dem verfolgten Simulationsziel befasst und der die Vorgehensweise erläutert.

6.1 VORÜBERLEGUNGEN (RIF)

In einem Zwischenfazit sollen die bisher erfolgten Arbeitsschritte und die dabei gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Untersuchung von Prüfstrategien zusammengetragen werden, um darauf aufbauend das weitere Vorgehen – insbesondere das mit dem Simulationsprozess verfolgte Ziel – zu verdeutlichen. Dies dient dazu, die Intention der vorangestellten Ausarbeitungen nochmals rückblickend zu vergegenwärtigen und auf dieser Ausgangsbasis das Konzept für das weitere Vorgehen zu entwickeln. In Abbildung 6-1 ist die gewählte Herangehensweise dargestellt:

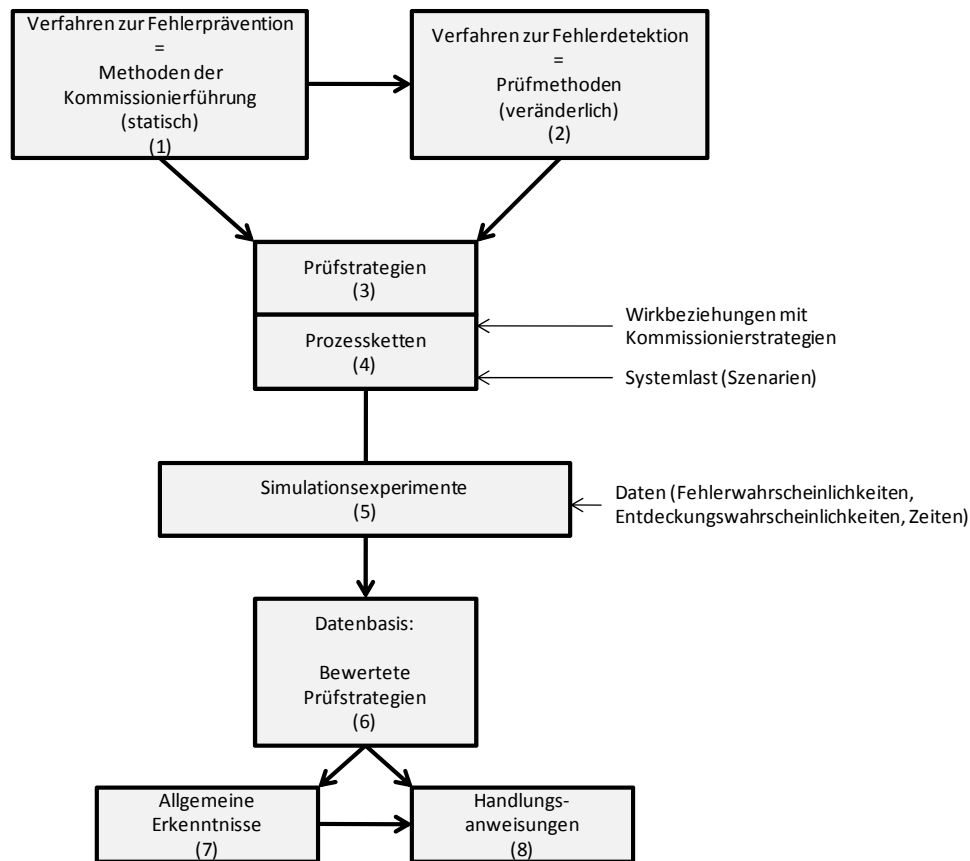


ABBILDUNG 6-1: HERANGEHENSWEISE SIMULATIONS-VORHABEN

Mit den Methoden der Kommissionierführung (1), die maßgeblich durch die innerhalb eines Unternehmens verfügbare technische Ausstattung vorbestimmt sind und sich deshalb nicht für kurzfristige Änderungen eignen, sind die Rahmenbedingungen, innerhalb derer eine Anpassung der Prüfstrategien vorgenommen werden kann, definiert. Das Informationssystem ist demnach als statisch zu erachten. Kurzfristig veränderlich – und deshalb situationspezifisch anzupassen – sind lediglich die Verfahren der Fehlerdetektion (2), also die Prüfmaßnahmen, die innerhalb des Kommissionierprozesses zum Einsatz kommen.

Die Kombination aus dem vorgegebenen Verfahren zur Kommissionierführung und den gewählten Prüfmethode bildet eine Prüfstrategie (3). Es wurde im Einzelnen aufgezeigt, welche Prüfungen sich in Abhängigkeit der vorliegenden Kommissionierführung sinnvoll in den Kommissionierprozess integrieren lassen. Die Menge an Kombinationsmöglichkeiten stellt den Pool an Prüfstrategien dar, aus dem sich bei einer flexiblen Kommissionierung situationsgerecht bedient werden kann. Liegt beispielsweise eine Pick-by-Light-Kommissionierung vor, wird durch die Integration diverser Prüfungen an verschiedenen Stellen der Prozesskette eine konkrete Prüfstrategie definiert.

Insgesamt ergibt sich aus dem Vorrat an möglichen Prüfstrategien eine große Anzahl alternativer Prozessketten (4). Diese Prozessketten werden zusätzlich durch die Wirkbeziehungen mit der vorliegenden Kommissionierstrategie geprägt: Multi-Order-Picking oder das Vorhandensein einer Zonung wirken sich maßgeblich auf die vom Kommissionierer auszuführende Tätigkeit aus und sind damit für die Struktur der Kommissionierprozesskette mitverantwortlich. Die vorliegende Kommissionierstrategie stellt demnach einen zusätzlichen Faktor dar, der die Anzahl an

Prozessvarianten weiter erhöht. Gleiches gilt für die Auswirkungen unterschiedlicher Systemlasten (z.B. vom Artikelspektrum abhängige Entnahmefälle), die sich als Einflussgrößen in den Simulationsexperimenten wiederfinden.

Das mit dem Einsatz der Simulation verfolgte Ziel besteht nun in der Bewertung dieser großen Anzahl an Prozessketten. Die hierfür benötigten Daten lassen sich unter Rückgriff auf die in Abschnitt 6.2.3 vorzustellenden Verfahren generieren. Dies betrifft die Zeiten, die zur Verrichtung der einzelnen Arbeitsschritte zu hinterlegen sind und die Fehlerwahrscheinlichkeiten, die den einzelnen Kommissioniertätigkeiten zugeordnet werden müssen. Außerdem sind den Prüfpunkten die Entdeckungswahrscheinlichkeiten einzelner Fehlerarten zuzuweisen, um schließlich Prozessketten mit sämtlichen relevanten Daten füllen und Simulationsexperimente (5) fahren zu können.

Ergebnis der Simulationstätigkeit sind Prozessketten (6), deren Ausprägungen jeweils ein bestimmtes Szenario (hinsichtlich eingesetzter Technik zur Kommissioniererführung, Entnahmesituation usw.) repräsentieren, innerhalb dessen eine bestimmte Prüfstrategie angewendet wird. Diese Prozessketten sind anhand der Kriterien Leistung und Qualität bewertet. Maßgröße für die Qualität ist dabei die Anzahl an Fehlern, die im Kommissionierprozess verursacht und nicht entdeckt – dementsprechend also auch nicht korrigiert – werden. Fehler, die noch während des Kommissionierprozesses erkannt werden, führen dagegen zu entsprechenden Korrekturen und wirken sich negativ auf die Kommissionierleistung aus. Die Kommissionierleistung selbst wird maßgeblich durch den Umfang der vorgesehenen Prüftätigkeiten bestimmt.

Aus den gewonnenen Daten lassen sich die Effekte einzelner Einflussgrößen ermitteln und so generelle Zusammenhänge erkennen (7). Für die Ableitung konkreter Handlungsanweisungen, die von zahlreichen Faktoren abhängig sind, soll nach Durchführung sämtlicher Simulationsexperimente eine Datenbasis vorliegen, die es ermöglicht auf verschiedene Systemlastenzustände mit der Wahl einer situationsgerechten Prüfstrategie zu reagieren (8).

6.2 MODELLBILDUNG (RIF)

Wie eingangs erwähnt wird die Simulation bezüglich der Prüfstrategien auf Basis des Arena-Simulationstools durchgeführt. Die Funktionalität dieses Programms wird in den folgenden Abschnitten erläutert, um den Aufbau des aufgestellten Simulationsmodells zu veranschaulichen.

6.2.1 SIMULATIONSTOOL ARENA

Das Simulationstool ARENA bietet eine interaktive Umgebung zum Aufbau, zur graphischen Animation, zur Verifizierung und zur Analyse von Simulationsmodellen. Es besteht die Möglichkeit, spezifische Templates für ein bestimmtes Projekt oder Unternehmen zu erstellen, in dem Funktionseinheiten für einen Anwendungsfall zusammengefasst sind. Dabei basiert das Programm auf einer hierarchischen Struktur der Simulationsmodelle, die dem Anwender erlaubt, eigene Simulationselemente zu kreieren. In sogenannten Modulen kann der Anwender Aktivitäten mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad abbilden und das zu modellierende System in seine Basiselemente zerlegen, um diese anschließend zu komplexeren Komponenten und schließlich zu dem zu simulierenden Gesamtsystem zu aggregieren. Eine Bibliothek verwaltet die erstellten Module und stellt sie als Templates zur Verfügung.

Die Erstellung der Elemente und Module geschieht in einer graphisch einfach anzuwendenden Umgebung, in der Funktionseinheiten auf einer Arbeitsfläche abgelegt und untereinander entsprechend dem zugrunde liegenden Daten- und/oder Materialfluss verknüpft werden. Als Basiselemente stehen dazu die Blöcke „Create“, „Dispose“, „Process“, „Assign“ und „Decide“ zur Verfügung.

Im „Create“-Block werden sog. „Entity“-Objekte erzeugt, die den Betrachtungsgegenstand für die Simulation darstellen. Im vorliegenden Fall entspricht jedes Entity-Objekt einer Auftragsposition. Innerhalb eines „Create“-Blocks lassen sich die „Ankunftsrate“ (Zeit zwischen der Erzeugung einzelner Entitys) festlegen. Diese werden für die Simulation der Prüfstrategien so gewählt, dass sich keine Beeinflussung der Entitys untereinander ergibt.

Das Pendant zu den „Create“-Blöcken stellen die „Dispose“-Blöcke dar, die das Ende des Lebenszyklus eines Entity-Objektes bedeuten. Die Dispose-Blöcke erfüllen außerdem die Funktion, Statistiken zu den eingegangenen Entitys zu erstellen und diese dem Benutzer im Rahmen von „Reports“ am Ende des Simulationslaufes zur Verfügung zu stellen.

Die „Process“-Blöcke repräsentieren (wertschöpfende) Tätigkeiten, die am Entity oder mit Hilfe des Entitys vorgenommen werden. In erster Linie dient dies dazu, den Zeitverbrauch für einen Prozessschritt abzubilden. Hierfür können die Zeiten mittels diverser statistischer Verteilung modelliert werden. Außerdem ist vorgesehen, bestimmte Ressourcen zu allokalieren und die Entitys in die entsprechenden Warteschlangen einzureihen. Von dieser Möglichkeit wird allerdings bei der Kommissionier-Simulation kein Gebrauch gemacht, da z.B. ein spezielles Regalfach nur von einem Kommissionierer angefahren und deswegen nicht zwischenzeitlich als Ressource reserviert werden muss.

Eine Logik für den simulierten Fluss von Entitys kann über die Blöcke „Assign“ und „Decide“ geschaffen werden. Das „Assign“-Element weist globalen Variablen oder auch Attributen des Entity-Objektes Werte zu, das „Decide“-Element kann auf Basis dieser Werte Entscheidungen treffen und das Entity-Objekt auf einen der zwei (oder mehr) Ausgangspfade lenken. Diese Art der Verzweigung erlaubt es, beliebige Verzweigungen auf Basis boolescher Formeln zu modellieren. Darüber hinaus wird die Abbildung algorithmischer Konstrukte wie Schleifen ermöglicht.

6.2.2 ERSTELLUNG VON MODULEN FÜR DIE PROZESSSIMULATION MIT ARENA

Die Prozessketten, die den Gegenstand der Simulation darstellen, sind in Abschnitt 3.2.3 ausführlich dargelegt worden. Um nun eine Bewertung solcher Kommissionierprozessketten im Hinblick auf deren Qualität vornehmen zu können, ist es erforderlich, sowohl die Entstehung von Fehlern als auch deren Entdeckung innerhalb der Prozesskette zu modellieren. Dies geschieht durch die Implementierung der Kommissionier- und Prüfprozesse in Form von Modulen, über die die notwendigen Parameter der Prozesse im Modell hinterlegt werden.

Es ist zunächst ein Modul zu erstellen, das auf Basis statistischer Daten die Fehlerentstehung im Modell simuliert, um den einzelnen Prozessschritten Fehlerwahrscheinlichkeiten zuweisen zu können. Darüber hinaus muss ein weiteres Modul implementiert werden, das die Detektion von Fehlern beschreibt, damit die Auswirkungen ergriffener Prüfmaßnahmen im Modell abgebildet werden können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass keine Prüfmaßnahme eine 100-prozentige

Fehlerdetektion gewährleistet, sondern immer ein gewisser Fehlerdurchschlupf zu erwarten ist, dessen Ausmaß abhängig von Prüfmethode und Fehlerart variiert.

Im Folgenden werden diese beiden zentralen Module einzeln vorgestellt.

FEHLERQUELLEN (KOMMISSIONIERTÄTIGKEITEN)

Die Fehlerquellen innerhalb der Kommissionierprozesskette werden durch die einzelnen Kommissioniertätigkeiten repräsentiert. Diese Tätigkeiten weisen abhängig von diversen Einflussgrößen und der betrachteten Fehlerart unterschiedlich große Potentiale für die Verursachung von Fehlern auf.

Um die Simulation fehlerhafter Kommissioniertätigkeiten im ARENA-Modell zu ermöglichen, wird das Modul „Kommissionierfehler“ implementiert. Bei Einbau in ein Template fragt es vom Benutzer die für die Abbildung der Kommissioniertätigkeit benötigten Daten ab. Dabei handelt es sich um Angaben zur Auftretenswahrscheinlichkeit der einzelnen Fehlerarten. Diese sind im konkreten Fall vom Anwender zu ermitteln und manuell einzupflegen.

Intern werden diese Fehlerwahrscheinlichkeiten mittels „Decide“-Blöcken abgebildet. Arena bietet dabei den Vorteil, dass die Verzweigungswahrscheinlichkeiten intern stochastisch und nicht deterministisch abgebildet werden. So entstehen leichte Schwankungen bei der Durchführung der Simulationsläufe, die dadurch ausgeglichen werden können, dass ein Simulationslauf, d.h. eine feste Kombination der Eingabegrößen, mehrfach ausgeführt wird. Das Programm stellt dabei zur Auswertung einen einfachen Mechanismus bereit, der nach Ablauf der Simulationen die Mittelwerte und Varianzen der Ausgabegrößen auswirft.

Durchläuft ein Entity das Kommissionierfehler-Modul, wird mit der zu jedem Fehler angegebenen Wahrscheinlichkeit, das entsprechende fehleranzeigende Attribut gesetzt. Wird also als Eingabe eine Typfehlerwahrscheinlichkeit von 95 Prozent angegeben, so wird das Attribut „aTypfehler“ mit etwa 95 Prozent auf Eins gesetzt. Wie bereits beschrieben variiert Arena intern die Wahrscheinlichkeit des verwendeten „Decide“-Elements auf Basis einer Folge von Zufallszahlen („random number stream“). Dabei handelt es sich um einen festen Satz von vorgegebenen Zufallszahlen, die es ermöglichen, die Ergebnisse reproduzierbar zu machen. Liefert Arena in dem genannten Beispiel im ersten Simulationslauf 94,8 Prozent Fehlerwahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit, dass das „Decide“-Element auf den „true“-Pfad verweist), so erzeugt das Element auch bei späteren Simulationen im ersten Lauf 94,8 Prozent. Bei den späteren Auswertungen kann also in diesem Sinne von gleichbleibenden, reproduzierbaren Bedingungen ausgegangen werden.

Das Kommissionierfehler-Modul unterscheidet nicht den Typ des eingehenden Entity-Objektes, kann also sowohl an Stellen verwendet werden, bei denen der Betrachtungsgegenstand der Prozesskette die Auftragsposition ist, als auch in den Fällen, die einen Sammelbehälter als Betrachtungsgegenstand haben. Dies vereinfacht die Modellierung der Kommissionierabläufe in Arena.

Analog zu dem genannten Beispiel werden innerhalb des Kommissionierfehler-Moduls die Fehlerwahrscheinlichkeiten für Typ-, Mengen-, Auslassungs- und Zustandsfehler, sowie die für interne Zwecke berücksichtigten Ablege- und Abgabefehler festgelegt. Die fehleranzeigenden Attribute eines Entity-Objektes werden beim durchlaufen des Moduls gesetzt, das Objekt wird also

intern als fehlerhaft markiert. Dies bildet die Grundlage dafür, den Fehlerdurchschlupf, und damit die Qualitätslage der Kommissionierung zu bestimmen. Werden Fehler entdeckt und korrigiert (s.u.), werden die fehleranzeigenden Attribute auf null gesetzt. Entity-Objekte, die den „Dispose“-Block mit einem gesetzten Fehlerattribut erreichen, sind folglich als Durchschlupf zu betrachten und dienen so der Bewertung der Prüfstrategien.

FEHLERDETEKTION (PRÜFTÄTIGKEITEN)

Wie die Fehlerentstehung ist auch die Fehlerentdeckung im Modell abzubilden. Die zugehörigen Prozesse sind sämtliche Tätigkeiten, die darauf ausgerichtet sind, zuvor generierte Fehler zu detektieren. Entsprechend sind Module zu implementieren, die derartige Prüftätigkeiten abbilden und in die Simulation einfließen lassen.

Die Anwendung der Module zur Simulation der Prüftätigkeiten ist vergleichbar mit der Anwendung des zuvor erläuterten Moduls „Kommissionierfehler“: Liegt in einer Prozesskette eine Prüftätigkeit vor, so wird das entsprechende Modul in das Template eingesetzt, um anschließend die Entdeckungswahrscheinlichkeiten der Fehlerarten manuell zu hinterlegen.

Das Modul verfügt über einen Eingang für Entitys und zudem über die zwei Ausgänge „Fehler“ und „kein Fehler“.

Vorab ist zu erwähnen, dass das Modul „Fehlerdetektion“ neben den Entdeckungswahrscheinlichkeiten für die sechs modellierten Fehlerarten zusätzlich eine Angabe des Umfangs von Stichprobenprüfungen erlaubt. Durchläuft ein Entity-Objekt das Modul, wird also mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeit entschieden, ob überhaupt eine Fehlerdetektion durchgeführt wird. Ist dies nicht der Fall, verlässt das Entity-Objekt das Modul über den Ausgang „kein Fehler“, unabhängig vom eigentlichen Fehlerzustand des Objekts.

Wird eine Fehlerdetektion durchgeführt, wird dabei das zu einer Fehlerart gehörige Attribut überprüft. Die Überprüfung wird durch einen Decide-Block implementiert, der mit den jeweiligen Fehlerentdeckungswahrscheinlichkeit zu versehen ist. Wird hierbei ein Fehler entdeckt, wird das Fehlerattribut auf null gesetzt und mit der nächsten Fehlerart fortgefahren. Intern wird aber markiert, dass das Entity zuvor fehlerhaft war und dieses zum Ausgang „Fehler“ geschleust, damit dort Prozessketten für Fehlerkorrekturmaßnahmen simuliert werden können. Es kann innerhalb des Moduls vorkommen, dass eine Fehlerart nicht entdeckt wird. Das betroffene Entity-Objekt wird dann über den Ausgang „kein Fehler“ ausgegeben, behält aber seine fehleranzeigenden Attribute.

Grade die Möglichkeit, die Behandlung von als fehlerhaft erkannten Entitys (also Auftragspositionen im Kontext der Prozessketten) separat abzuarbeiten, etwa indem Abläufe zur Fehlerkorrektur abgebildet werden, kann als eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem Vorgängermodell des Quinkom-Projektes aufgefasst werden. Da Fehlerbehandlungsroutinen allerdings unternehmensspezifisch sehr unterschiedlich ablaufen, wird der Fehlerkorrektur im Simulationsmodell durch einfache Zeitaufschläge Rechnung getragen:

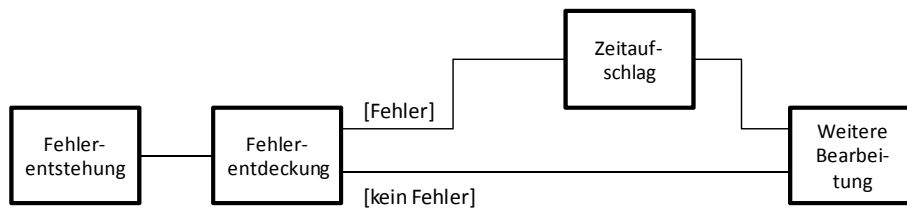


ABBILDUNG 6-2: ZEITAUFSCHLAG BEI FEHLERENTDECKUNG

6.2.3 ERHEBUNG DER SIMULATIONSRELEVANTEN DATEN

Nach der Erstellung der Module, die zur Abbildung eines Kommissionierprozesses mit ARENA benötigt werden, ist die Ausgangssituation geschaffen, um den Ablauf sämtlicher relevanter Prozessketten abbilden zu können. Allerdings fehlen zur vollständigen Modellierung noch die entsprechenden Daten, die den einzelnen Simulationselementen zuzuordnen sind, damit die Simulation eine realitätsnahe Abbildung des Kommissionierprozesses als Ganzes generieren kann. Dies betrifft neben Fehler- bzw. Entdeckungswahrscheinlichkeiten, die den Kommissionier- bzw. Prüftätigkeiten in der oben bereits geschilderten Weise zuzuweisen sind, auch Zeiten, die die Bearbeitung einzelner Tätigkeitsschritte beansprucht. Die wirklichkeitsgetreue Modellierung eines realen Kommissioniersystems, die schließlich zu praxisnahen Ergebnissen führt, kann nur bewerkstelligt werden, wenn die Qualität dieser Eingangsgrößen gewährleistet ist.

METHODEN ZUR ERMITTLUNG DER SIMULATIONSRELEVANTEN DATEN

Um die erforderlichen Daten zu gewinnen bietet sich bezüglich des Forschungsvorhabens neben entsprechender Fachliteratur und empirischer Studien, die diesen Themenbereich betreffen, insbesondere die Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses als Informationsquelle an. Hier konnte durch die Ermittlung zahlreicher unternehmensspezifischer Daten ein eigener Eindruck von den tatsächlich in der Praxis vorherrschenden Situationen gewonnen werden. Da das Simulationsmodell aber als Referenzmodell unternehmensübergreifende Einsetzbarkeit aufweisen soll, wird im Forschungsvorhaben darüber hinaus auf etablierte Methoden zur Erzeugung solcher Daten hinsichtlich Ausführungszeiten und Fehlerwahrscheinlichkeiten zurückgegriffen.

ZEITEN

Die genaue Kenntnis der Ausführungszeit jedes Teilprozesses ist für die Bewertung unterschiedlicher Prüf- und Kommissionierstrategien wesentlich. Grundsätzlich existieren verschiedene Ansätze zur Abschätzung von Tätigkeitszeiten, deren Eignung vom Anwendungsfall abhängt. Nach Bühner (vgl. Büh05) eignen sich Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ) besonders für die Planung repetitiver Tätigkeiten im Produktionsbereich und sind demnach auch im Bereich der Kommissionierung, dessen Tätigkeiten sich ebenfalls durch einen hohen Wiederholungsgrad auszeichnen, anzuwenden. Die Systeme vorbestimmter Zeiten berücksichtigen die gegebenen Randbedingungen und somit die Einflussgrößen auf die Ausführungszeit situationsspezifisch, sodass eine Übertragung der ermittelten Zeiten auf andere Situationen durch Variation der Einflussgrößen möglich ist. Da das im deutschsprachigen Raum gebräuchlichste System vorbestimmter Zeiten das MTM-Verfahren darstellt, wird im Rahmen des Forschungsvorhabens auf dieses zurückgegriffen. Die Zuweisung von Ausführungszeiten für einzelne Prozessschritte erfolgt demnach unter Berücksichtigung des MTM-Zeitbaustein-Systems.

Das Prinzip des MTM-Systems – wie auch das anderer SvZ – beruht auf einem einfachen modularen Aufbau: Jeder Vorgang setzt sich aus einer Reihe von Bewegungen bzw. Abläufen, sogenannten *Prozessbausteinen*, zusammen. Diesen Prozessbausteinen sind Zeitwerte in Abhängigkeit von Einflussgrößen zugeordnet. Bei der Analyse von Tätigkeiten werden die Prozessbausteine aufgenommen, ihnen die entsprechenden Zeitwerte zugewiesen und schließlich kann über die Summierung der Einzelzeiten die Dauer eines komplexeren Vorgangs ermittelt werden. Den Prozessbausteinen ist dabei eine Kodierung hinterlegt, die ihre eindeutige Identifikation unter Berücksichtigung der Ausprägung der Einflussgrößen erlaubt. (vgl. [BoL06])

Je nach Einsatzgebiet existieren verschiedene *Prozessbausteinsysteme*, die sich aus einem Sortiment an einzelnen Prozessbausteinen zusammensetzen und unterschiedliche Methodenniveaus repräsentieren. Das *Methodenniveau* bildet das Ausmaß der Routinebildung bei der Ausführung einer Arbeitsaufgabe ab. Dieses weicht bei unterschiedlichen Fertigungsarten erheblich voneinander ab. Für die Einzelfertigung ist daher die Anwendung eines anderen Bausteinsystems angebracht, als es für die Massenfertigung verwendet wird. MTM liefert diverse Standard-Prozessbausteinsysteme auf verschiedenen Ebenen, um den unterschiedlichen Methodenniveaus gerecht zu werden. Abbildung 11 ordnet den verschiedenen Fertigungsarten gängige Prozessbausteinsysteme zu.

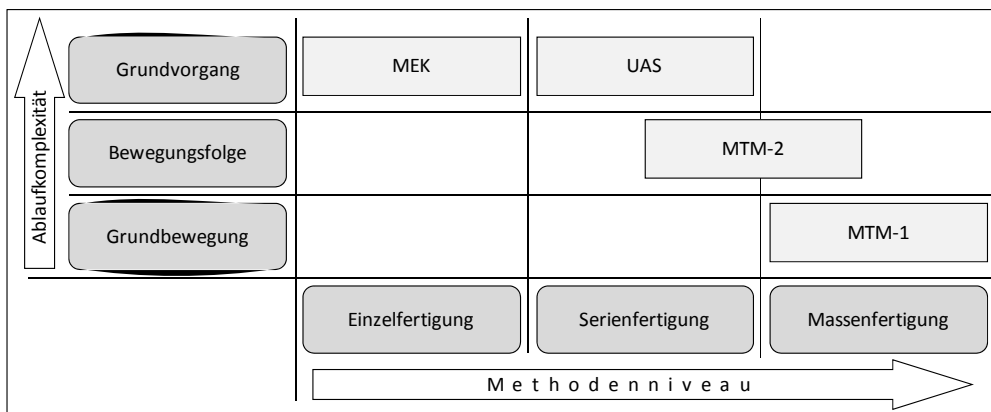


ABBILDUNG 6-3: EINORDNUNG AUSGEWÄHLTER PROZESSBAUSTEINSYSTEME NACH BONKRANZ/LANDAU [BoL06]

Die Basis aller MTM-Prozessbausteinsysteme bildet das der Massenfertigung zuzuweisende MTM-1. Betrachtungsgegenstand sind hier *Grundbewegungen*.

Bewegungsfolgen, die sich aus mehreren Grundbewegungen zusammensetzen, werden vom MTM-2-System analysiert. Anwendungsbereich für dieses System sind bereits Prozesse der Serienfertigung. Das „Universelle Analysiersystem“ (UAS) und das „MTM für Einzel und Kleinserienfertigung“ (MEK) betrachten Grundvorgänge. Während das UAS-System in der Serienfertigung Anwendung findet, ist das MEK-System wegen der höheren Aggregation der Prozessbausteine der Einzelfertigung zuzuordnen. (vgl. [MTM08a], [MTM08b])

Im Kontext des Forschungsvorhabens ist ein weiteres MTM-Bausteinsystem hervorzuheben. Basierend auf dem UAS-Verfahren sind die *MTM-Logistikdaten* entwickelt worden, in denen die für die Logistik relevanten Teilprozesse durch Zeitbausteine abgebildet sind. Dabei wird eine Unterteilung in „Transportdaten“ und „Handlingdaten“ vorgenommen. Die *MTM-Transportdaten* beinhalten die notwendigen Daten zur Bewertung von Tätigkeiten in Verbindung mit handelsüblichen Transportfahrzeugen. Mit den *MTM-Handlingdaten* liegt ein Prozessbausteinsystem vor, das die

Bewertung der Handhabung von häufig anzutreffenden Transporteinheiten einschließlich der dabei typischerweise auftretenden Informationsverarbeitungsprozesse erlaubt. Dies umfasst die wesentlichen Tätigkeiten, die bei einem Kommissionierprozess anfallen und bietet daher eine geeignete Datenbasis für die im Simulationsmodell zu hinterlegenden Ausführungszeiten. (vgl. [MTM08c])

FEHLERWAHRSCHEINLICHKEITEN

Neben der Einbindung von Zeitwerten verlangt die realitätsnahe Abbildung von Kommissionierprozessen die Zuweisung von Fehlerwahrscheinlichkeiten zu jedem Teilprozess, der Fehlerpotential birgt. Da die manuelle Kommissionierung ausschließlich direkt vom Menschen beeinflussbare Tätigkeiten umfasst, ist die *menschliche Fehlerwahrscheinlichkeit* oder *Human Error Probability (HEP)* für die Bewertung heranzuziehen. Sie beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Tätigkeit zu einem beliebigen Zeitpunkt fehlerhaft ausgeführt wird.

Innerhalb des Forschungsvorhabens wird auf die Verfahren *THERP* und *ESAT* zurückgegriffen. Dies liegt in Untersuchungen von Lolling (vgl. [Lol03]) begründet, bei denen sich die Kombination dieser beiden Verfahren für den Einsatz in der Kommissionierung als zweckmäßig erwiesen hat. Im Rahmen der Untersuchung wurde ESAT für die Anwendung in der Kommissionierung erweitert. Damit erlaubt das Verfahren die Berechnung von Fehlerwahrscheinlichkeiten mit einer hinreichenden Genauigkeit, stellt jedoch keinen Ansatz zur Verfügung, um aus den Einzelwahrscheinlichkeiten eine Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit zu ermitteln. Zur Beschreibung der Abhängigkeiten der Teilprozesse und zur Berechnung der Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit kann die von Swain und Guttman (vgl. [SwG83]) für THERP entwickelte HRA-Ereignisbaummethode verwendet werden (vgl. [Lol03]). Erst die Kombination beider Verfahren ermöglicht demnach die für das Forschungsvorhaben essentielle Ermittlung von Fehlerwahrscheinlichkeiten. Eine vergleichbare Herangehensweise wurde bereits vom Vorgängerprojekt Quinkom (vgl. [AIF14638]) verfolgt, das daher einen Datenvorrat zur Verfügung stellt, auf den das Flexkom-Projekt zurückgreifen kann.

Es ist zu ermitteln, welche Schritte innerhalb der Prozesskette Fehlerpotential aufweisen und eine erste, qualitative Zuweisung von Fehlerarten zu diesen Prozessschritten vorzunehmen. Dabei wird auf die bereits bekannte Fehlerklassifizierung in Typ-, Mengen, Auslassungs- und Zustandsfehler zurückgegriffen. Die im Rahmen des Quinkom-Projekts erhobenen Werte liefern diesbezüglich eine breite Datenbasis, die unter Berücksichtigung gewisser Korrekturen weitgehend adaptiert werden kann. Die neu definierten Fehlerarten der Abgabe-, und Ablagefehler sind in die bereits vorliegenden Ergebnisse zu integrieren. Die Zuweisung zu Prozessschritten ist aufgrund des bereits erläuterten Prozessbezugs dieser Fehlerarten unmittelbar ersichtlich und bereitet keine Schwierigkeiten.

Sind den Unterprozessen Fehlerarten zugewiesen, kann mit der Quantifizierung der Auftretenswahrscheinlichkeiten dieser Fehlerarten die eigentliche Ermittlung von Fehlerwahrscheinlichkeiten realisiert werden. Dazu werden zunächst Teilprozesse unter Rückgriff auf das ESAT-Verfahren quantitativ bewertet, um anschließend deren Aggregation durch den HRA-Ereignisbaum in Anlehnung an das THERP-Verfahren vornehmen zu können und so schließlich die Fehlhandlungswahrscheinlichkeit einer Tätigkeit zu quantifizieren.

Die nachfolgende Abbildung stellt die Vorgehensweise zusammenfassend dar:

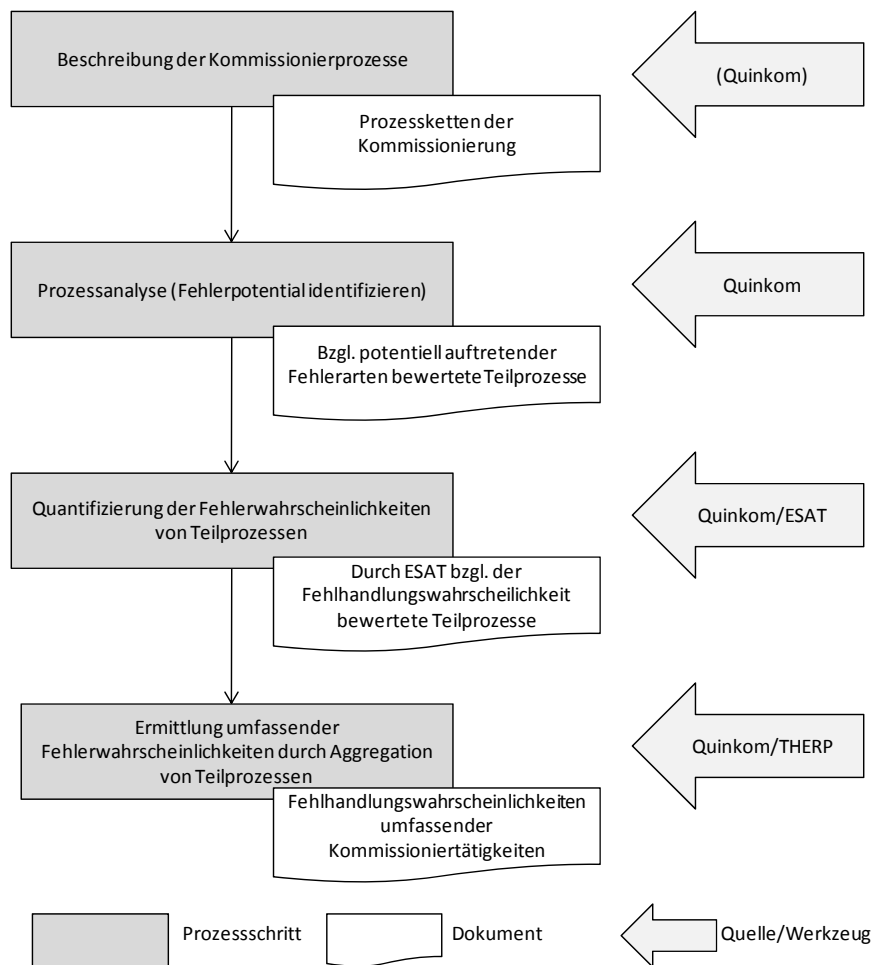


ABBILDUNG 6-4: VORGEHENSWEISE ZUR ERMITTLUNG VON FEHLHANDLUNGSWAHRSCHEINLICHKEITEN

Welche konkreten Daten unter Zuhilfenahme der hier vorgestellten Methoden gewonnen wurden, ist im folgenden Abschnitt dargestellt.

AUSPRÄGUNG DER SIMULATIONSRELEVANTEN DATEN

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden unter Rückgriff auf die angeführten Methoden und in enger Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss, die Daten gewonnen, die dem Referenzmodell zugrunde liegen.

ZEITEN

Die Gesamtzeit der Kommissionieraufgabe ergibt sich aus den Zeiten, die den einzelnen Prozesselementen zugewiesen sind. Innerhalb des Simulationsmodells sind zum Zwecke der einfachen Darstellung in einzelnen Fällen Prozesselemente zusammengefasst worden. Die verwendeten Zeiten weisen generell eine Auflösung von 0,5 Sekunden auf, die für den hier betrachteten Detaillierungsgrad als ausreichende Abstufung anzusehen ist. Die Werte wurden unter Anwendung der beschriebenen MTM-Methodik gewonnen und mit Daten abgeglichen, die unmittelbar von den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses erhoben wurden. Um die Realitätsnähe zu erhöhen, wurden Leistungsschwankungen abgebildet, indem die ermittelten Zeitwerte mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung versehen wurden. In Abbildung 6-5 wird eine Übersicht über die im Modell hinterlegten Zeiten gegeben:

Zeitbedarf [Sekunden]		Variante:			
Prozessschritte:		Pickliste	Pick-by-Scan	Pick-by-Light	Pick-by-Voice
Vorbereitung (Entnahme)		5	5,5	3,5	5
Ablage erkennen		2	2	1	2
Platzscan		-	2	-	-
Artikelscan		-	2	-	-
Artikelerkennung sprechen		-	-	-	2,5
Entnahme	Einzel	2,5	2,5	2,5	2,5
	Sammel	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$
Sichtprüfung	Einzel	1,5	1,5	1,5	1,5
	Sammel	$1 + vK*1$	$1 + vK*1$	$1 + vK*1$	$1 + vK*1$
Einzelquittierung		-	2	-	-
Ablage	Einzel	2,5	2,5	2,5	2,5
	Sammel	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$	$2.5 + 0.1*vMenge/vK$
Wiegung		const 0.5	const 0.5	const 0.5	const 0.5
Nachbereitung (Entnahme)		4,5	4	3,5	2
Zusammenführung		4	4	4	4
Endprüfung		const 0.5	const 0.5	const 0.5	const 0.5
Fehlerkorrektur:					
Positionierfehler		2	2	2	2
falscher Artikel		1,5	1,5	1,5	1,5
Zustandsfehler		$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$
Einzelquittierung		$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$2*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$
Wiegen		$3*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$3*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$3*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$	$3*(2.5+1.5*vSichtprüfung)$
Endprüfung		$0.7*avgTotaltime$	$0.7*avgTotaltime$	$0.7*avgTotaltime$	$0.7*avgTotaltime$

Streuung (dreiecksverteilt) : +/- 0.5 Sekunden

vK := Anzahl Entnahmeeinheiten pro Pick, vMenge := Artikel pro Position

vSichtprüfung aus {0,1}

avgTotaltime := durchschnittl. Gesamtzeit pro Position

ABBILDUNG 6-5: HINTERLEGTE AUSFÜHRUNGSZEITEN

FEHLERWAHRSCHEINLICHKEITEN

Für das Fehlerpotential, das über das vorgestellte Modul „Kommissionierfehler“ in das Simulationsmodell eingebunden ist, sind im Referenzmodell die Werte der Abbildung 6-6 hinterlegt. ARENA operiert für Entscheidungsmodulare generell mit stochastischen Variablen, d.h. in den Simulationsläufen finden sich Streuungen um die hier angegebenen Zahlenwerte, womit eine deutlich realitätsnähere Abbildung der Kommissionierprozesse erzielt wird. Auch diese Daten konnten durch die eingangs vorgestellte Methodik ermittelt und unter Rückgriff auf den projektbegleitenden Ausschuss verifiziert werden.

Fehlerentstehung [Promille]		Variante:			
Vorgang:		Pickliste	Pick-by-Scan	Pick-by-Light	Pick-by-Voice
Lagerfach/Positionierung	Fehlerart	Typ	2	1,5	1
		Auslassung	1	0,5	0,5
Entnahme	Fehlerart	Typ	2	2	2
		Zustand	0,5	0,5	0,5
Entnahme : Mengenfehler	vMenge	1	0	0	0
		2	2	2	2
		4	2,2	2,2	2,2
		8	2,5	2,5	2,5
		16	5	5	5
Ablegen	vBatch	1	0	0	0
		2	2	1,5	1
		4	2,5	1,6	1
		8	5	1,7	1,1
		16	8	2	1,3
Abgabe (Zonung)		2	1,5	1	1,5

ABBILDUNG 6-6: HINTERLEGTE FEHLERAUFTRETENSWAHRSCHEINLICHKEITEN

ENTDECKUNGSWAHRSCHEINLICHKEITEN

Das logische Gegenstück zum Modul „Kommissionierfehler“, das die Fehler im Simulationsmodell erzeugt, bildet das ebenfalls bereits vorgestellte Modul „Prüfprozess“, das die zuvor erzeugten Fehler mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit identifiziert. Abbildung 6-7 zeigt entsprechend der in Abschnitt 3.2.2 zusammengetragenen Daten fehlerartspezifisch auf, wie hoch die im Referenzmodell hinterlegte Wahrscheinlichkeit der Fehlerentdeckung bei den unterschiedlichen Prüfmethoden ist. Analog der Erzeugung von Fehlern findet auch bei der Entdeckung eine stochastische Streuung um die angegebenen Werte statt.

Wahrscheinlichkeit [%] Fehlerentdeckung:		Fehlerart:					
		Typ	Menge	Zustand	Auslassung	Ablege	Abgabe
Sichtprüfung	Einzel	95	95	90	0	0	0
	Sammel	90	95	80	0	0	0
Endprüfung (feste Waage)		99	99,5	0	99,5	99,5	99,5
mobile Waage		99	99,5	0	99,5	99,5	99,5
Platzscan		99,5	0	0	0	0	0
Artikelscan		99,5	0	0	0	0	0
Einzelquittierung		99,5	99	0	0	0	0
Artikelkennung		99,5	0	0	0	0	0

ABBILDUNG 6-7: HINTERLEGTE FEHLERENTDECKUNGSWAHRSCHEINLICHKEITEN

Mit den Prozesszeiten sowie den Wahrscheinlichkeiten der Fehlerentstehung und -entdeckung, sind die simulationsrelevanten Daten erhoben. Die Modellbildung kann somit abgeschlossen werden. Hinsichtlich der Durchführung der Simulationsexperimente, die Gegenstand der Ausführungen der folgenden Abschnitte ist, sind die Vorarbeiten abgeschlossen.

6.3 EXPERIMENTE (HERLEITUNG VON VERSUCHSPLÄNEN) (RIF)

Da sämtliche Simulationsbausteine zur Verfügung stehen und mit den konkreten Daten des vorangegangenen Abschnitts belegt werden können, sind die Untersuchungen mit der eigentlichen Simulationstätigkeit fortzusetzen. Die große Menge an einzeln durchzuführenden Experimenten macht es jedoch erforderlich, das Vorgehen zu strukturieren. Zu diesem Zweck wird ein Versuchsplan erstellt, dessen systematische Abarbeitung eine effiziente Simulationstätigkeit gewährleistet.

Zur Aufstellung eines derartigen Plans, sind bereits wesentliche Vorüberlegungen im Kapitel 4.2.2 angestellt worden. Dort wurden die praxisrelevanten Kombinationsmöglichkeiten von Verfahren der Kommissionierführung und Prüfmethode untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchung erlaubt, Kommissionier-Prozessketten aufzustellen, die unterschiedliche Prüfstrategien repräsentieren. Um nun unter diesen Prüfstrategien diejenigen zu identifizieren, die bezüglich einer bestimmten Systemlast optimal ist, sind sämtliche Prozessketten für verschiedene Systemlastzustände zu simulieren. Es sind daher zunächst die von der Systemlast abhängigen Einflussgrößen auszumachen, um anschließend durch deren Variation unterschiedliche Systemlastzustände abbilden und innerhalb der Simulationsexperimente untersuchen zu können.

Die Prüfstrategien haben die Funktion, die Qualität des Kommissionierprozesses sicherzustellen. Ein Wechsel zwischen verschiedenen Prüfstrategien kann immer dann sinnvoll sein, wenn sich die qualitätsrelevanten Einflüsse auf den Kommissionierprozesses ändern. Die Einflussgrößen für die Wahl einer Prüfstrategie entsprechen daher sämtlichen mit der Systemlast veränderlichen Einflüssen, die sich auf die Qualität des Kommissionierprozesses auswirken. Darüber hinaus hat die zur

Verfügung stehende Zeit maßgeblichen Einfluss auf die Wahl einer Prüfstrategie, da diese unterschiedlich viel Zeit in Anspruch nehmen und somit situationsabhängig auf ihre Realisierbarkeit zu prüfen sind. Neben veränderlichen Einflüssen auf die Qualität sind folgerichtig auch veränderliche Einflüsse auf die Leistung des Kommissionierprozesses zu berücksichtigen. Um welche Einflussgrößen es sich dabei handelt, ist implizit bereits bei der Erhebung der simulationsrelevanten Daten festgestellt worden, da diese in Abhängigkeit eben dieser Einflussgrößen ermittelt wurden. An dieser Stelle sind die Einflussgrößen auf Qualität und Leistung nochmals strukturiert zusammenzutragen, um auf dieser Basis schließlich den Versuchsplan aufstellen zu können.

- Als primäre Einflussgröße auf die Prüfstrategie ist zunächst die Technik auszumachen, die zur Kommissioniererführung bereit steht. In den vorangegangenen Ausführungen (vgl. Abschnitt 4.2.2) wurde festgestellt, welche Prüfstrategien in Abhängigkeit der eingesetzten Kommissioniererführung praxisrelevant sind und somit in Betracht gezogen werden. Der einzusetzende Pool an Prüfstrategien ist damit bereits situationspezifisch deutlich einzuschränken. Darüber hinaus wirkt sich die technische Unterstützung auf die Kommissionierleistung aus. Allerdings handelt es sich bei der Technik zur Kommissioniererführung nicht um eine systemlastabhängig veränderbare Einflussgröße. Sie ist vielmehr als übergeordnete, statische Einflussgröße aufzufassen, die durch Festlegung potentieller Prüfstrategien den Rahmen für weitere Untersuchungen vorgibt.

Um weitere qualitätsrelevante Einflussgrößen zu identifizieren bietet es sich an, zunächst zu ermitteln, welche Tätigkeiten die Qualität des Gesamtprozesses bestimmen, d.h. welche Tätigkeiten ein von der Systemlast abhängiges Fehlerpotential aufweisen. Dies betrifft die Entnahme-, die Ablage- und die Abgabesituation.

- Die *Entnahmesituation* selbst ist abhängig von zwei Faktoren, die als mittelbare Einflussgröße auf die Prüfstrategie betrachtet werden können: Auftragsstruktur und Artikeleigenschaften. Die *Auftragsstruktur* muss in Form der Anzahl an Artikeln berücksichtigt werden, die durchschnittlich pro Position zu entnehmen sind, da diese die Entnahmesituation hinsichtlich der gleichzeitig zu entnehmenden Artikel nach oben begrenzen. Ist für jede Position lediglich ein einzelner Artikel zu kommissionieren, stellt sich die Entnahmesituation gänzlich anders dar, als bei hoher Anzahl gleichzeitig zu entnehmender Artikel. Sowohl Leistung als auch Fehlerpotential sind im Fall einer großen Entnahmemenge entsprechend höher. Neben der Auftragsstruktur bilden die *Artikeleigenschaften* den zweiten Faktor zur Bestimmung der vorliegenden Entnahmesituation. Die maximal mögliche Anzahl gleichzeitig zu entnehmender Artikel ist wie oben beschrieben durch die Anzahl Artikel pro Position festgelegt. Ob nun diese maximale Entnahmemenge tatsächlich in einem Entnahmevergang zu handhaben ist, ist von den Artikeleigenschaften abhängig. Lassen diese es nicht zu, die Gesamtanzahl an Artikeln pro Position in einem einzigen Entnahmevergang zu entnehmen, sind mehrere aufeinanderfolgende Entnahmen vorzunehmen, bei denen die Anzahl gleichzeitig zu händelnder Artikel solange entnommen wird, bis die Gesamtentnahmemenge kommissioniert ist.
- Die Komplexität der *Ablagesituation* ist maßgeblich davon abhängig, wie viele Ablagemöglichkeiten dem Kommissionierer zur Verfügung stehen. Ist nur ein Ablagebehälter vorgesehen, besteht praktisch keine Möglichkeit einen Fehler zu erzeugen. Mit zunehmender

Anzahl an Sammelbehälter wird die Fehlerwahrscheinlichkeit erhöht. Mehrere Sammelbehälter werden nur dann mitgeführt, wenn ein Multi-Order-Picking angewendet wird, also mehrere Aufträge parallel bearbeitet werden. Die Einflussgröße liegt demnach in Form einer Kommissionierstrategie vor. Zwischen Prüf- und Kommissionierstrategie bestehen folglich zu berücksichtigende Wechselwirkungen, auf die in den weiteren Auswirkungen noch tiefer einzugehen sein wird.

- Die *Abgabesituation* – also die Übergabe eines Sammelbehälters bei Wechsel der Kommissionierzone – ist unmittelbar von der Existenz einer Zonung abhängig, da dieser Tätigkeitsschritt nur bei einem Zonenübergang anfällt. Bezüglich dem Vorliegen einer Zonung können ähnliche Aussagen getroffen werden, wie dies bereits zum Multi-Order-Picking der Fall war. Auch bei der Virtuellen Zonung handelt es sich um eine Kommissionierstrategie, die sich den Vorteil kürzerer Wegzeiten durch komplexere (bzw. zusätzlich anfallende) Handlingvorgänge erkaufte, die dem positiven Effekt entgegenwirken und die Qualität bzw. die Leistung des Kommissionierprozesses beeinträchtigen.

Folglich ergeben sich als Einflussgrößen für die Beurteilung der Eignung von Prüfstrategien:

- Das vorliegende Kommissioniersystem
- Die Artikeleigenschaften der Kommissionierartikel
- Die aktuelle Auftragsstruktur
- Das Vorliegen eines Multi-Order-Pickings
- Das Vorliegen einer Virtuellen Zonung

Als weitere Einflussgröße kann die Systemauslastung bzw. die Auftragslage ausgemacht werden. Diese ist der Vollständigkeit halber zu nennen, von den übrigen allerdings abzugrenzen, weil sie nicht unmittelbar qualitäts- und leistungsrelevant, aber dennoch für die Wahl einer Prüfstrategie wesentlich ist. Sie nimmt somit eine Sonderstellung ein, da sie keinen Einfluss auf Qualität und Leistung des Kommissionierprozesses hat, sondern vielmehr als Anforderung ausschließlich hinsichtlich der vom Kommissioniersystem zu erbringenden Leistung aufgefasst werden muss. Eine hohe Auftragslage bedingt eine hohe Kommissionierleistung, um sicherzustellen, dass sämtliche Aufträge innerhalb eines angemessenen Zeitrahmens bearbeitet werden können. Ohne auf Simulationsergebnisse zurückzugreifen, kann bereits an dieser Stelle festgestellt werden, dass eine Ausweitung von Prüftätigkeiten dem Ziel der Leistungsmaximierung entgegenwirkt. Eine umfassende Prüfstrategie ist demnach nur umzusetzen, wenn die Auftragslage und die damit einhergehende benötigte Leistung des Kommissioniersystems dies zulässt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die bei der Simulation allgemein zu berücksichtigenden Größen und deren Umsetzung als Variablen im Modell. Dies umfasst neben den zu variierenden Einflussgrößen auch statische Grunddaten, die für die Simulationsläufe vorzugeben sind:

Betrachteter Aspekt	Umsetzung
<i>Artikelgerüst Aufträge</i>	<p>Nach der simulierten Entnahme für eine Position wird diese mit Hilfe eines „Batch“-Elements mit den übrigen Positionen des gleichen Auftrags zusammengeführt. Die dabei verwendete Größe <i>vPosProBehaelter</i> entspricht der durchschnittlichen Anzahl Positionen pro Auftrag: $\#Aufträge = 10.000 / vPosProBehaelter$.</p> <p>Im Falle von zwei Virtuellen Zonen wird <i>vPosProBehaelter</i> halbiert, um dieselbe Auftragszahl zu erhalten.</p>
<i>Artikelgerüst Positionen</i>	<p>Für die stochastische Simulation wird jeweils eine Grundmenge von <i>vPos = 10.000</i> Positionen durch die zu betrachtenden Prozessketten geschleust.</p>
<i>Artikelgerüst Menge (Auftragsspektrum)</i>	<p>Die je Position zu entnehmende Anzahl Artikel wird durch die Größe <i>vMenge</i> repräsentiert. Sie ist zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse für einen Simulationslauf konstant, wird aber zwischen den Läufen variiert.</p>
<i>Anzahl gleichzeitig handhabbarer Einheiten (Artikeleigenschaften)</i>	<p>Entsprechend der Beschreibung der Mischform bei der Entnahme wird die Zahl gleichzeitig zu entnehmender Artikeleinheiten durch die Größe <i>vK</i> repräsentiert.</p>
<i>Multi-Order-Picking</i>	<p>Die Anzahl der parallel von einem Kommissionierer zu bearbeitenden Aufträge ist in <i>vBatch</i> gespeichert.</p>
<i>Zonung</i>	<p>Die Größe <i>vZonung</i> legt fest, ob eine Zonung zu berücksichtigen ist oder ob dies nicht der Fall ist.</p>

Es ist an dieser Stelle festzuhalten, dass ein einzelner Simulationslauf keine dynamische Veränderung der Eingabegrößen vorsieht. Die beschriebenen Eingabegrößen werden also zur Vereinfachung der Auswertung zu Beginn eines Simulationslaufes auf einen konstanten Wert festgelegt. Auf die dabei erfolgte Parameterwahl wird nachfolgend eingegangen. Bezüglich der Ausprägung, die die Einflussgrößen annehmen, sind in Rücksprache mit dem projektbegleitenden Ausschuss Annahmen zu treffen, um repräsentative Rahmenbedingungen für die Simulationsexperimente abzustecken. Die bereits dargestellten Einflussgrößen werden für jede der zu simulierenden Prüfstrategien auf dieselbe Weise variiert:

Betrachtungsgegenstand	Formalisierung im Modell	Erläuterung
Positionen	$vPos = 10.000$	Anzahl Entitys in der Simulation.
Menge	$vMenge \in \{1, 2, 4, 8, 16\}$	Anzahl Entnahmeeinheiten, wird jedem Entity zugewiesen.
Einzelentnahme	$vK = 1$	Es kann nur jeweils eine Einheit entnommen werden.
Sammelentnahme	$vK = vMenge$	Es werden alle Einheiten auf einmal entnommen.
Sammelentnahme mit k	$vK = \min(vMenge, 4)$	Es können maximal vier Einheiten gleichzeitig entnommen werden.
Multi-Order-Picking	$vBatches \in \{1, 2, 4, 8, 16\}$	Anzahl Entnahmebehälter pro Kommissionierer.
Virtuelle Zonung	$vZonung \in \{0, 1\}$	Binäre Entscheidung bezüglich des Vorhandenseins einer Zonung.

Aus diesen Annahmen lässt sich der Versuchsplan ableiten. Eine schematische Darstellung der Einstellparameter der Simulationsexperimente zeigt Abbildung 6-8.

Kommissionier-system:	Situation (Systemlast)		Kommissionierstrategie		Prüfstrategie					
	Entnahme-fall [vMenge] bzw. [(vK,vMenge)]		vZonung	vBatch	vSichtprüfung	vEinzelquittierung	vWiegung	vPlatzscan	vArtikelscan	Endprüfung
Pickliste	Einzel	{1,2,4,8,16}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}					{0,1}
	Sammel	{{(2,2),(4,4),(4,8),(4,16),(8,8),(16,16)}}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}					{0,1}
Display (Pick-by-Scan)	Einzel	{1,2,4,8,16}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}
	Sammel	{{(2,2),(4,4),(4,8),(4,16),(8,8),(16,16)}}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}
Pick-by-Light	Einzel	{1,2,4,8,16}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}		{0,1}			{0,1}
	Sammel	{{(2,2),(4,4),(4,8),(4,16),(8,8),(16,16)}}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}		{0,1}			{0,1}
Pick-by-Voice	Einzel	{1,2,4,8,16}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}		{0,1}		{0,1}	{0,1}
	Sammel	{{(2,2),(4,4),(4,8),(4,16),(8,8),(16,16)}}	{0,1}	{1,2,4,8,16}	{0,1}		{0,1}		{0,1}	{0,1}

ABBILDUNG 6-8: GESAMTVERSUCHSPLAN

Die Tabelle gliedert sich in 3 übergeordnete Spalten. In der *Situations-Spalte* finden sich diejenigen Einflussfaktoren, die von äußeren Gegebenheiten (vorhandenen Technik zur Kommissioniererführung) und systemlastabhängiger Umstände (von Artikelspektrum bzw. Auftragsstruktur abhängige Entnahmesituation und durchschnittliche Entnahmemenge pro Position) festgelegt werden. Die *Kommissionierstrategie-Spalte* beinhaltet Einflussgrößen, die sich aus der Wahl der Kommissionierstrategie (Entscheidung über Zonung bzw. Batch-Bildung) ableiten. Die *Prüfstrategie-Spalte* legt schließlich fest, welche Prüfstrategie im Simulationsdurchlauf abgebildet wird. Hier ist eine binäre Entscheidung über die Berücksichtigung einzelner Prüftätigkeiten zu treffen. Dabei sind sämtliche Kombinationsmöglichkeiten abzubilden, die sich im Rahmen der Voruntersuchungen (vgl. Kapitel 4.2.2) als praxisrelevant erwiesen haben.

Obwohl bei der Variation der Einflussfaktoren teilweise eine Auswahl getroffen wurde, um den Simulationsaufwand in realisierbarem Rahmen zu halten – es sind nur sinnvoll abgestufte Batchgrößen und Entnahmesituationen berücksichtigt – ergibt sich dennoch eine hohe Zahl an Kombinationsmöglichkeiten, die einzeln zu simulieren sind. Allein für den Fall der displaygestützten Pick-by-Scan-Kommissionierung, die wegen zahlreicher einsetzbarer Prüfmethode den größten Simulationsaufwand aufweist, ergeben sich aus 11 Entnahmesituationen, 5 Batchvarianten, und der binären Entscheidung über das Vorliegen einer Zonung sowie sechs möglicher Prüfpunkte $11 \cdot 5 \cdot 2^7 = 7040$ unterschiedliche Simulationsläufe, die jeweils die Bearbeitung von 10000 Positionen beinhalten.

6.4 ERGEBNISSE (RIF)

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse der Simulationstätigkeit mit ARENA vorgestellt. Dies geschieht zunächst durch die komprimierte Abbildung gewonnener Daten, indem die Datensätze, die bei der Simulationsdurchführung generiert wurden, auszugsweise dargestellt werden (Abschnitt 6.4.1). Im Anschluss erfolgt deren erste, kurze Interpretation durch Analyse und Verifikation der Auswirkungen der Einflussgrößen auf die Zielgrößen (Abschnitt 6.4.2). Dies dient lediglich dazu, generelle Zusammenhänge zu veranschaulichen. Für die situationsabhängige Wahl einer konkreten Prüfstrategie ist es erforderlich, die Ergebnisse der einzelnen Simulationsmodelle zusammenzuführen (Kapitel 8).

6.4.1 SIMULATIONS DATENSÄTZE

Aus dem Versuchsplan (s. Abbildung 6-8) lassen sich insgesamt 10020 Simulationsexperimente ableiten, die sich wie folgt auf die einzelnen Kommissioniersysteme verteilen:

- Pickliste: 2 Prüfpunkte → 4 Prüfstrategien → 440 Simulationsexperimente
- Pick by Scan: 6 Prüfpunkte → 64 Prüfstrategien → 7040 Simulationsexperimente
- Pick by Voice: 3 Prüfpunkte → 8 Prüfstrategien → 880 Simulationsexperimente
- Pick by Light: 4 Prüfpunkte → 16 Prüfstrategien → 1720 Simulationsexperimente

Jedes einzelne dieser Simulationsexperimente repräsentiert die Modellierung einer speziellen Situation, in der auf die externen Einflussgrößen in Form von Kommissioniersystem, Entnahmesituation, Zonung und Batch-Bildung mit der Anwendung einer bestimmten Prüfstrategie reagiert wird. Das Simulationsziel besteht in der Ermittlung der Werte, die die beiden Zielgrößen Qualität und Leistung in der jeweils betrachteten Situation annehmen. Dabei wird die Qualität in Form des prozentualen Fehlerdurchschlupfes und die Leistung in Form der Kommissionierzeit pro Artikel gemessen. Eine detailliertere Auswertung des Fehlerdurchschlupfes, die zwischen den einzelnen Fehlerarten unterscheidet, ist ebenfalls möglich und kann in der praktischen Anwendung sinnvoll sein, wenn den Fehlerarten eine unterschiedlich hohe Bedeutung beigemessen wird. Im Folgenden wird jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit darauf verzichtet.

Die Variation der Parameter, die nach jedem Simulationsexperiment vorzunehmen war, konnte während der Simulationstätigkeit automatisiert werden, um den manuellen Eingabeaufwand zu reduzieren. Die gewonnenen Daten wurden gespeichert und bilden die Simulationsdatenbank, auf die im Folgenden weiter einzugehen sein wird.

Die Simulationsergebnisse werden nachfolgend anhand zweier Beispiele auszugsweise dargestellt. In diesen Beispielen werden die situationsbeschreibenden Simulationsgrößen, die das Szenario vorgeben, nicht variiert, um einen Eindruck der Auswirkung der Wahl unterschiedlicher Prüfstrategien zu vermitteln.

Zunächst ist der vergleichsweise überschaubare Fall einer Picklisten-Kommissionierung dargestellt. In jedem Referenzsystem lassen die Stellgrößen zur Szenario-Beschreibung insgesamt die Modellierung von 11 Entnahmevarianten * 5 Batchvarianten * 2 Zonungsvarianten = 110 unterschiedlichen Szenarien zu, von denen hier nur dieses eine betrachtet wird. Es wird angenommen, dass eine einfache Entnahmesituation von nur einem Artikel pro Position, keine Zonung und kein Multi-Order-Picking vorliegt, also nur ein Sammelbehälter vom Kommissionierer mitgeführt wird. Da bei der Picklisten-Kommissionierung nur zwei Prüfungen in den Kommissionierprozess eingebunden werden können, ist die Anzahl zu modellierender Prüfstrategien mit $2^2=4$ gering. Der zugehörige Datensatz stellt sich wie folgt dar:

Pickliste									
Szenario (konstant)									
Nr.	Batch	Zonung	Entnahme		Prüfung		Ergebnis		
			VK	vMenge	Sichtprüfung	Endprüfung	Qualität [%]	Leistung s/Artikel	
1	1	0	1	1	0	0	5,32	18,756	
2	1	0	1	1	0	1	0,486	19,5811	
3	1	0	1	1	1	0	1,566	19,8813	
4	1	0	1	1	1	1	0,113	20,4848	

ABBILDUNG 6-9: BEISPIEL-DATENSATZ, PICKLISTE

Jede Prüfstrategie wird mit der Abarbeitung von 10000 Positionen simuliert. Die Ergebnisse bezüglich der dabei erzielten Kommissionierleistung und Kommissionierqualität finden sich in den entsprechenden Einheiten in den Ergebnis-Spalten wieder. Der Fehlerdurchschlupf nimmt im betrachteten Beispiel Werte von 0,11‰ bis 5,32‰ an. Die Kommissionierdauer pro Artikel variiert zwischen 18,76s (keine Prüfung) und 20,48s.

Während die Gegenüberstellung der Prüfstrategie bei vier Alternativen noch vergleichsweise einfach erscheinen mag, wird die Aufgabe bei mehreren Prüfungen zunehmend komplex, da die Auswahlalternativen mit jeder potentiell zu integrierenden Prüfung exponentiell zunehmen. Abbildung 6-10 veranschaulicht diesen Effekt, indem die gleiche Situation wie oben abgebildet, hier allerdings das Referenzsystem der Pick-by-Scan-Kommissionierung zugrunde gelegt wird. Statt vier, sind in diesem Fall $2^6=64$ Prüfstrategien zu simulieren.

Nr.	Pick by Scan											Ergebnis	
	Szenario (konstant)				Prüfung						Qualität	Leistung	
	Batch	Zonung	Entnahme		Sichtprüfung	Einzelquittierung	Wiegung	Platzscan	Artikelscan	Endprüfung	Durchschlupf [%]	s/Artikel	
VK			vMenge										
1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4,434	18,3857	
2	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	2,89	20,3829	
3	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2,916	20,3931	
4	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	3,111	22,4607	
5	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0,523	18,8117	
6	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0,45	20,8348	
7	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0,61	20,8354	
8	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0,483	22,884	
9	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1,037	20,338	
10	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1,01	22,373	
11	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1,05	22,3775	
12	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1,073	24,4291	
13	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0,46	20,83	
14	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0,533	22,858	
15	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0,486	22,863	
16	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0,467	24,909	
17	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0,72	19,9135	
18	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0,62	21,912	
19	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0,613	21,9259	
20	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0,617	23,9713	
21	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0,05	20,409	
22	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0,083	22,4148	
23	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0,07	22,413	
24	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0,073	24,462	
25	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0,537	21,9595	
26	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0,463	23,96	
27	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0,55	23,9694	
28	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0,51	26,0183	
29	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0,05	22,451	
30	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0,053	24,453	
31	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0,043	24,4609	
32	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0,077	26,4999	
33	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0,557	19,142	
34	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0,557	21,0535	
35	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0,466	21,0726	
36	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0,6	23,162	
37	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0,5	19,3132	
38	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0,437	21,3358	
39	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0,573	21,3382	
40	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0,48	23,3842	
41	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0,553	20,8732	
42	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0,51	22,913	
43	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0,517	22,9202	
44	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0,567	24,9734	
45	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0,46	21,33	
46	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0,53	23,3582	
47	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0,483	23,3632	
48	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0,467	25,409	
49	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0,053	20,4611	
50	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0,047	22,457	
51	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0,033	22,4712	
52	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0,05	24,5199	
53	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0,047	20,9092	
54	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0,073	22,9156	
55	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0,07	22,913	
56	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0,073	24,962	
57	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0,057	22,4972	
58	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0,053	24,4951	
59	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0,05	24,5123	
60	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0,04	26,5619	
61	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0,05	22,951	
62	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0,053	24,953	
63	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0,04	24,9612	
64	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0,07	27,0005	

ABBILDUNG 6-10: BEISPIEL-DATENSATZ, PICK-BY-SCAN

Die Variationsbreite der Ergebnisse ist entsprechend der höheren Anzahl Prüfstrategie gegenüber dem obigen Beispiel deutlich größer. Der Fehlerdurchschlupf variiert zwischen 0,04‰ und 4,43‰, während die Kommissionierzeit pro Artikel Werte zwischen 18,39s und 27s annimmt.

Generell lassen sich aus den Simulationsergebnisse zwei Tendenzen erkennen: Mit steigender Anzahl an Prüfungen, die in den Kommissionierprozess eingebunden werden, nimmt die Kommissionierleistung ab, während die Kommissionierqualität erhöht wird. Dieser Umstand wird bei der Auswertung der Simulationsergebnisse aufgegriffen und ist für den repräsentativen Fall des Pick-by-Scan-Referenzsystems in Abbildung 6-11 graphisch veranschaulicht. Die stark vereinfachte Darstellung klassifiziert die Prüfstrategien dabei lediglich nach der Anzahl implementierter Einzelprüfungen und bildet anschließend einen Mittelwert bezüglich der Zielgrößen.

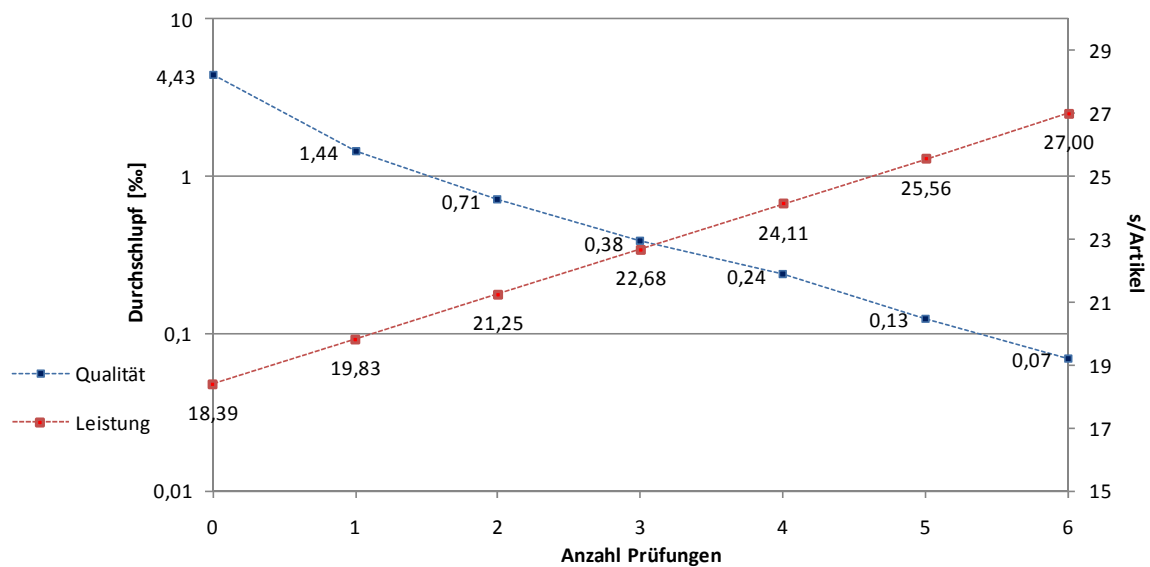


ABBILDUNG 6-11: EINFLUSS PRÜFINTENSITÄT AUF ZIELGRÖßEN

Da jede Prüfung Fehler identifiziert aber Zeit in Anspruch nimmt, ist die aus der Abbildung herauszulesende Tendenz steigender Qualität und fallender Leistung bei einer Ausweitung des Prüfumfangs nicht überraschend. In Kapitel 8 wird aber genauer auf eben diesen Zielkonflikt eingegangen und auf dieser Basis eine Methodik entwickelt, die es erlaubt, situationsgerechte Handlungsanweisungen zu generieren.

6.4.2 EFFEKTE DER EINFLUSSGRÖßEN

Während in Kapitel 5 innerhalb der Auswertung der Wegzeit-Simulationen die Auswirkungen der Variation von Einflussgrößen auf die Wahl einer bestimmten Strategie untersucht wurden, muss bei der Auswertung der hier durchgeführten Simulationsexperimente von diesem Vorgehen abgewichen werden. Die Ursache hierfür liegt in der Fülle der konkurrierenden Prüfstrategien und den gegenläufigen Zielgrößen. Während bzgl. der Kommissionierstrategien zumeist eine binäre Entscheidung für oder gegen die Umsetzung einer bestimmten Strategie anhand der Auswirkung auf die Wegzeiten zu treffen war, liegt hinsichtlich der Prüfstrategien eine komplexere Entscheidungssituation vor, die wie im oben gezeigten Fall die Auswahl einer bestimmten Prüfstrategie aus einem Pool von bis zu 64 Alternativen erforderlich macht. Aus diesem Grund ist an dieser Stelle lediglich zu untersuchen, wie sich die identifizierten Einflussgrößen direkt auf die Zielgrößen Qualität und Leistung auswirken. Dadurch wird ein mittelbarer Zusammenhang zu den

Prüfstrategien abgebildet, da beispielweise ein stark negativer Effekt einer Einflussgröße auf die Qualität in Form von verursachten Fehlern die Anwendung einer bezüglich der Prüfintensität umfangreicheren Prüfstrategie erforderlich macht. Es ist also lediglich der Nachweis zu erbringen, dass die Einflussgrößen den in Abschnitt 6.3 prognostizierten Effekt auf die Zielgrößen tatsächlich erzielen, noch ohne daraus konkrete Rückschlüsse für die Wahl von Prüfstrategien zu ziehen. Die nachfolgend vorgestellten Simulationsergebnisse dienen also dazu, generelle Zusammenhänge und Tendenzen die im Rahme der Simulationstätigkeit festgestellt werden konnten, zu veranschaulichen. Dies erfolgt anhand beispielhaft zu verstehender Auswertungen, die nur auf einem Ausschnitt aller Simulationsergebnisse beruhen, dennoch für sämtliche Ergebnisse als repräsentativ aufgefasst werden dürfen.

Als zu untersuchende systemlastabhängige Einflussgrößen wurden ausgemacht: Entnahmesituation (Artikeleigenschaften; Auftragsstruktur), Multi-Order-Picking, Zonung, (Kommissioniersystem).

ENTNAHMESITUATION

Erste zu untersuchende Einflussgröße ist die Entnahmesituation, die wiederum von Artikelspektrum und Auftragsstruktur abhängig ist. Sie wurden in den Versuchsplan durch die Berücksichtigung einer bestimmten Auswahl an Entnahmesituationen integriert. Der Effekt, den unterschiedliche Entnahmevorgänge auf Leistung und Qualität des Kommissioniervorgangs abhängig von Prüftätigkeiten haben, ist zu analysieren.

Zu diesem Zweck wird zunächst die Auftragsstruktur durch Abbildung verschiedener Anzahlen an zu entnehmenden Artikeln pro Position variiert. Es werden unterschiedliche Sammelentnahmen gegenübergestellt, in denen jeweils die volle Anzahl an zu kommissionierenden Artikeln in einem Entnahmevorgang aufgenommen und abgelegt werden. Die zu vergleichenden Entnahmesituationen sind: (1;1), (2;2), (4;4),(8;8), (16;16)

Am Beispiel des Pick-by-Scan-Referenzsystems wird veranschaulicht, wie sich die Variation der Entnahmemengen auf die Zielgrößen auswirkt. Dazu werden sämtliche Simulationsdatensätze herangezogen, in denen die jeweilige Entnahmesituation vorliegt. Die Werte der Zielgrößen entsprechen also Durchschnittswerten. Um zu ermitteln, welche Abhängigkeiten zwischen der Entnahmesituation und verschiedenen Prüftätigkeiten bestehen, werden darüber hinaus verschiedene Prüfmaßnahmen berücksichtigt. Allerdings werden keine spezifischen Prüfstrategien untersucht, die sich aus einer bestimmten Kombination der sechs in diesem Fall potentiell einsetzbaren Prüfungen ergeben, da dies einer willkürlichen Auswahl gleichkäme. Vielmehr wird eine Unterscheidung zwischen der Intensität der Prüfungen vorgenommen und drei Szenarien betrachtet, die eine geringe Prüfintensität (1 Prüfung), eine mittlere Prüfintensität (3 Prüfungen) und eine hohe Prüfintensität (5 Prüfungen) aufweisen. D.h. im Falle der mittleren Prüfintensität ist eine Mittelung über sämtliche Prüfstrategien vorzunehmen, die drei Prüfungen enthalten. Analog wird bei geringer und hoher Prüfintensität vorgegangen.

Das Ergebnis bezüglich der Qualität stellt sich wie folgt dar:

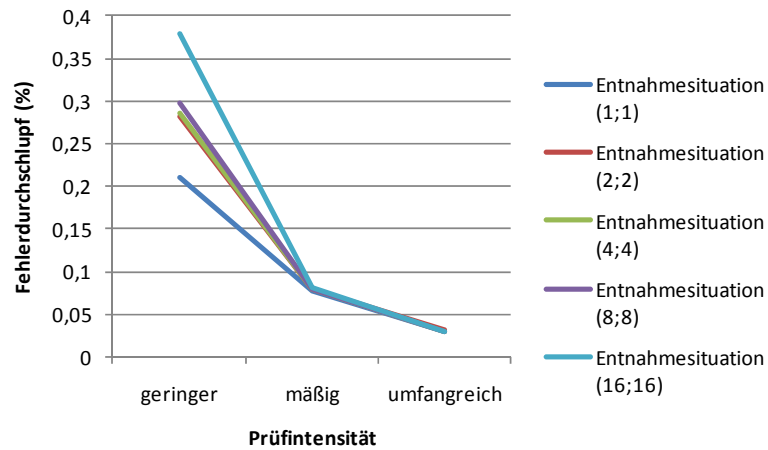


ABBILDUNG 6-12: FEHLERDURCHSCHLUPF IN ABHÄNGIGKEIT VON PRÜFINTENSITÄT UND AUFTRAGSSTRUKTUR

Es ist unmittelbar ersichtlich, dass die Qualität des Kommissionierprozesses von der Anzahl der gleichzeitig zu entnehmenden Artikel – also von der Auftragsstruktur – abhängt. Die Komplexität des Entnahmevorgangs schlägt sich in einer höheren Zahl Fehler nieder, die bei geringer Prüfintensität als Fehlerdurchschlupf zur Minderung der Kommissionierqualität beiträgt. Allerdings ist ebenfalls ersichtlich, dass bereits eine mäßige Prüfintensität dazu führt, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen Fehlerdurchschlupf und Entnahmesituation mehr hergestellt werden kann. D.h. bereits durch eine mittlere Prüfintensität kann der durch eine komplexe Entnahmesituation hervorgerufene Qualitätsverlust erheblich reduziert werden.

Ferner sind mittels der gleichen Vorgehensweise die Simulationsergebnisse hinsichtlich der Leistung in Abhängigkeit der gleichzeitig zu kommissionierenden Artikel zu untersuchen. Die dabei erzielten Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

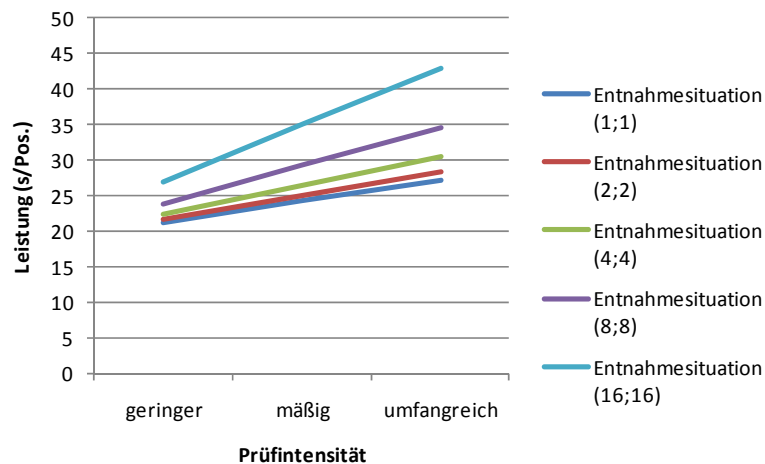


ABBILDUNG 6-13: KOMMISSIONIERLEISTUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON PRÜFINTENSITÄT UND AUFTRAGSSTRUKTUR

Die Kurven weisen keine Unregelmäßigkeiten auf und entsprechen dem prognostizierten Verlauf. Die parallele Aufnahme und Ablagerung mehrerer Artikel ist zeitaufwendig und führt dazu, dass der komplexeste Entnahmevorgang die geringste Leistung aufweist. Allerdings ist dieser Effekt von der Maßgröße abhängig, anhand derer die Kommissionierleistung bemessen wird. Wird statt der Zeit für die Bearbeitung einer Position die Zeit für die Bearbeitung eines Artikels herangezogen, so stellt sich

eine gegenläufige Rangfolge ein. Festzustellen bleibt jedoch, dass die Leistung in jedem Fall maßgeblich von der vorliegenden Entnahmesituation bestimmt wird. Die mit zunehmender Komplexität des Entnahmevorgangs steiler verlaufende Steigung der Kurven hängt eng mit der Qualität des Kommissionierprozesses zusammen: Die aufwendigere Entnahmesituation verursacht mehr Fehler, die im Rahmen von umfangreicheren Prüftätigkeiten zu einem höheren Anteil entdeckt werden und somit zu zeitaufwendigen Korrekturen führen.

Nach Betrachtung der Auswirkungen der Auftragsstruktur auf die Zielgrößen der Simulation, ist mit den Arteikeigenschaften die zweite der Einflussgrößen zu untersuchen, die die Entnahmesituation bestimmen. Dies geschieht auf gleiche Weise: Es werden drei Entnahmesituationen gegenübergestellt, die jeweils unterschiedliche Arteikeigenschaften repräsentieren. Dabei wird die zuvor variierte Anzahl der zu entnehmenden Artikel pro Position konstant gehalten. Die Entnahmesituationen sind: (1;16), (4;16) und (16;16). D.h. es sind jeweils 16 Artikel pro Position zu kommissionieren. Die Arteikeigenschaften führen allerdings zu unterschiedlich häufigen Picks.

Erneut erfolgt die Betrachtung unter Berücksichtigung verschiedener Prüfintensitäten, um bereits erste Zusammenhänge zu erkennen, ohne konkrete Aussagen bezüglich der Anwendung einer speziellen Prüfstrategie zu treffen.

Der Einfluss der betrachteten Entnahmesituationen auf die Qualität des Kommissionierprozesses in Abhängigkeit unterschiedlicher Prüfumfänge kann folgender Darstellung entnommen werden:

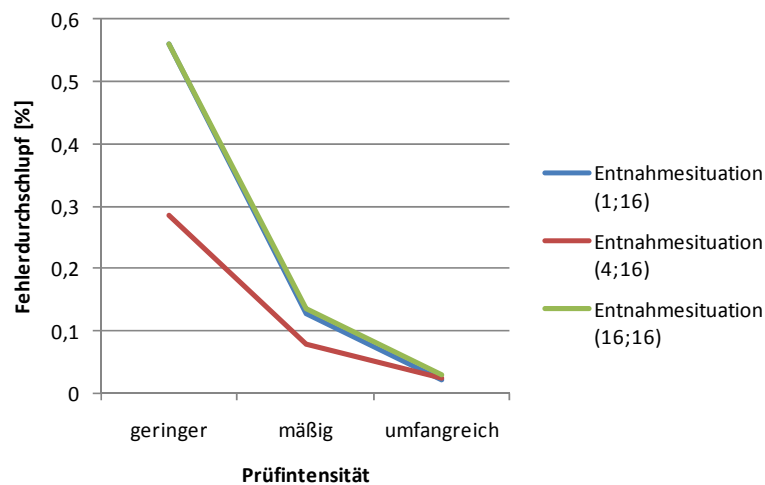


ABBILDUNG 6-14: FEHLERDURCHSCHLUPF IN ABHÄNGIGKEIT VON PRÜFINTENSITÄT UND ARTIKELEIGENSCHAFTEN

Der Kurvenverlauf verdeutlicht, dass das Fehlerpotential der unterschiedlichen Entnahmevorgänge erheblich voneinander abweicht, aber bereits durch mäßigen Prüfumfang die negativen qualitativen Folgen einer umfangreichen Entnahme kompensiert werden können. Unerwartet ist, dass weder das mehrfache Aufnehmen und Ablegen kleiner Mengen, noch das Einmalige Aufnehmen und Ablegen großer Mengen die geringste Fehlerquote aufweist. Vielmehr scheint ein Mittelweg die Alternative mit der geringsten Fehleranfälligkeit darzustellen. Die Auswirkungen auf die Leistung stellen sich wie folgt dar:

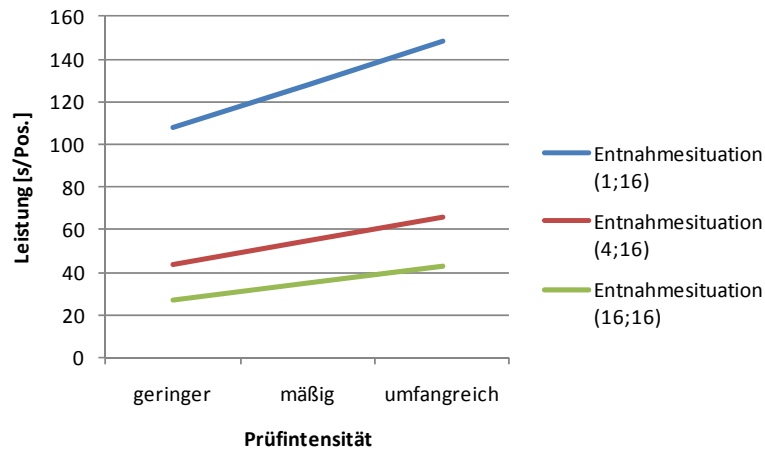


ABBILDUNG 6-15: KOMMISSIONIERLEISTUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON PRÜFINTENSITÄT UND ARTIKELSTRUKTUR

Die Kurven nehmen den erwarteten Verlauf an: Das mehrmalige Hinlangen, Greifen und Ablegen nimmt Zeit in Anspruch und führt bei geringer Entnahmemenge zu niedriger Kommissionierleistung.

Als qualitative Erkenntnis ist aus den Simulationsergebnissen zu entnehmen, dass bei Artikeleigenschaften, die das gleichzeitige Handhaben zahlreicher Artikel erlauben, von einem geringen Prüfumfang Abstand zu nehmen ist. Zwar führt eine Steigerung der Prüfintensität zu Leistungsverlusten, aber bereits ein mäßiger Prüfaufwand reduziert den Fehlerdurchschlupf erheblich. Bei der mehrfachen Entnahme einer mittleren Artikelanzahl, wirkt sich dieser Effekt weniger stark aus.

MULTI-ORDER-PICKING

Beim Multi-Order-Picking handelt es sich im Gegensatz zu der Entnahmesituation zwar um eine veränderliche Einflussgröße. Diese ist allerdings nicht unmittelbar systemlastabhängig, da sie eine Kommissionierstrategie darstellt und somit selbst regelbar ist. Es konnte bereits nachgewiesen werden, dass sich die parallele Bearbeitung von Aufträgen positiv auf die Leistung eines Kommissioniersystems auswirkt, solange lediglich die Wegzeiten als Bewertungsgrundlage herangezogen werden (vgl. Kapitel 5). Eine ganzheitliche Beurteilung macht es allerdings erforderlich, die Auswirkungen hinsichtlich der Tätigkeitszeiten in die Bewertung mit einzubeziehen. Nach Durchführung der Simulationsexperimente zur Abbildung des Handlings können nun die Auswirkung des Multi-Order-Pickings auf eben diese Tätigkeiten ermittelt werden. Dabei ist erneut hinsichtlich des Bewertungskriteriums der Leistung und dem der Qualität zu unterscheiden, ohne an dieser Stelle bereits spezifische Prüftätigkeiten zu berücksichtigen.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Batch-Größen werden auf die bereits gewohnte Weise am Beispiel der Pick-by-Scan-Kommissionierung dargestellt:

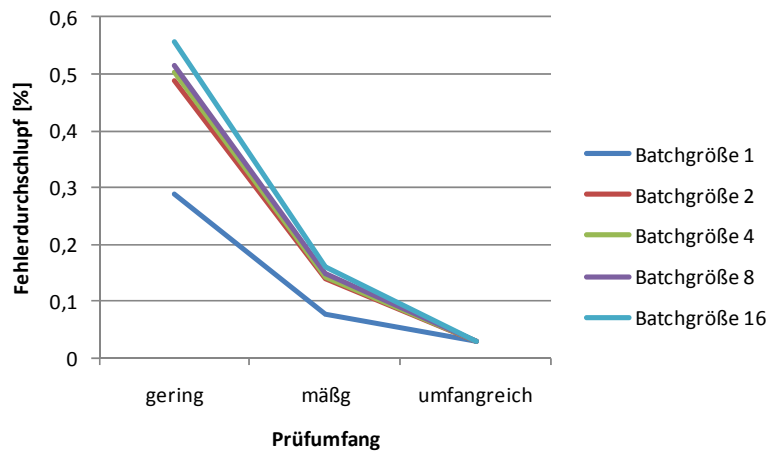


ABBILDUNG 6-16: FEHLERDURCHSCHLUPF IN ABHÄNGIGKEIT VON PRÜFINTENSITÄT UND MULTI-ORDER-PICKING

Die Ergebnisse, die keine spezifische Prüfstrategie berücksichtigen sondern lediglich eine Mittelung über alle Prüfstrategien mit einer gewissen Prüfintensität vornehmen, veranschaulichen den negativen Einfluss einer großen Zahl parallel zu kommissionierender Aufträge. Der Fehlerdurchschlupf nimmt in Folge zunehmender Wahrscheinlichkeit von Ablagefehlern zu, die Qualität des Kommissionierprozesses sinkt entsprechend.

Hinsichtlich der Leistung wirken sich unterschiedliche Batch-Bildungen wie folgt aus:

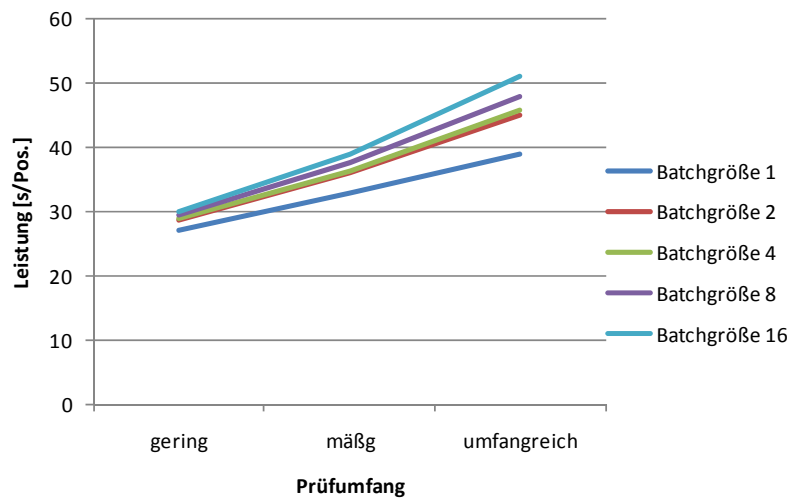


ABBILDUNG 6-17: KOMMISSIONIERLEISTUNG IN ABH. VON PRÜFINTENSITÄT UND MULTI-ORDER-PICKING

Auch auf die Kommissionierleistung ergeben sich mit steigender Anzahl paralleler Aufträge negative Effekte. Bezüglich der Simulation von Kommissioniertätigkeiten gehen mit steigender Batch-Größe also lediglich nachteilige Auswirkungen einher. Sowohl die Qualität als auch die Leistung des Kommissionierprozesses wird beeinträchtigt. Da das Multi-Order-Picking keine von der Systemlast vorgegebene Einflussgröße darstellt, sondern im Rahmen der Anpassung der Kommissionierstrategien regelbar ist, kann aus dieser Feststellung die Erkenntnis gewonnen werden, dass von einer parallelen Bearbeitung von Aufträgen abzusehen ist. Dabei werden jedoch die Ergebnisse der Wegzeit-Simulation, in denen sich das Multi-Order-Picking als vorteilhaft erweist, außer Acht gelassen. Eine integrierte Betrachtung ist demnach notwendig, um im konkreten Anwendungsfall eine situationsgerechte Entscheidungen über Prüfstrategien und gewisse

Kommissionierstrategien treffen zu können. Diese ganzheitliche Betrachtungsweise wird in den folgenden Kapiteln diskutiert.

VIRTUELLE ZONUNG

Bevor die Auswirkungen des Vorliegens einer Virtuellen Zonung auf die Simulationsergebnisse dargestellt werden, können ähnliche Aussagen wie beim Multi-Order-Picking getroffen werden. Auch bei der Virtuellen Zonung handelt es sich nicht um eine systemlastabhängige Vorgabegröße, sondern um eine regelbare Kommissionierstrategie, deren Auswirkungen auf die Wegzeit bereits untersucht wurden. Insofern ist für die Ableitung von Handlungsanweisungen auch hier eine integrierte Betrachtung der Versuchsergebnisse erforderlich, wie sie erst in Kapitel 8 nach Zusammenführung der Simulationsmodelle vorgenommen werden kann. Die nachfolgend anhand der bekannten Methode beispielhaft dargestellten Simulationsergebnisse sind daher vor diesem Hintergrund zu interpretieren.

Die Kommissionierqualität in Abhängigkeit des Prüfumfags am Beispiel der Pick-by-Scan-Kommissionierung führt bei Berücksichtigung bzw. Nicht-Berücksichtigung einer Virtuellen Zonung zu folgenden Kurvenverläufen:

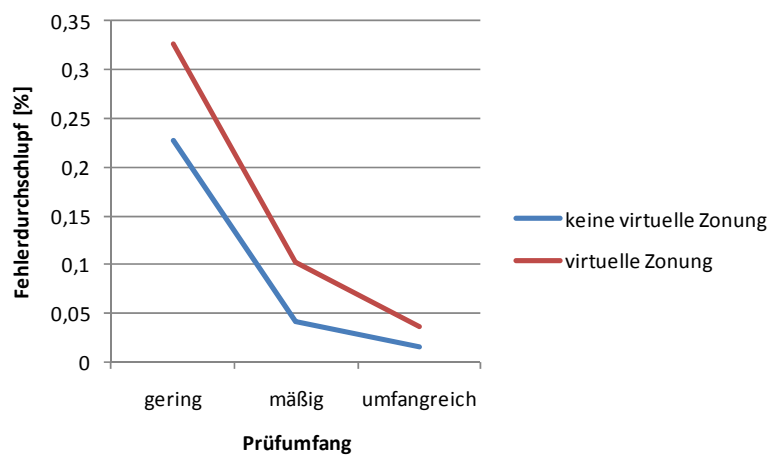


ABBILDUNG 6-18: FEHLERDURCHSCHLUPF IN ABHÄNGIGKEIT VON PRÜFINTENSITÄT UND VIRTUELLER ZONUNG

Unmittelbar ersichtlich ist auch hier der deutlich höhere Fehlerdurchschlupf bei Vorliegen der Virtuellen Zonung. Auffällig ist, dass auch bei intensiver Prüftätigkeit der vertikale Abstand der Kurven signifikant bleibt. Ursächlich für diesen Kurvenverlauf ist die späte Position, die der zusätzlich anfallende Tätigkeitsschritt der Abgabe im Kommissionierprozess einnimmt. Ein dort verursachter Fehler kann durch die zahlreichen chronologisch vorgelagerten Prüftätigkeiten nicht mehr erkannt werden. Entsprechend lässt sich die Empfehlung ableiten, auf das Vorliegen einer Zonung mit späten Prüfungen (z.B. der Endprüfung) zu reagieren.

Die Konsequenzen einer Virtuellen Zonung auf die Leistung des Kommissioniersystems sind nachfolgend abgebildet:

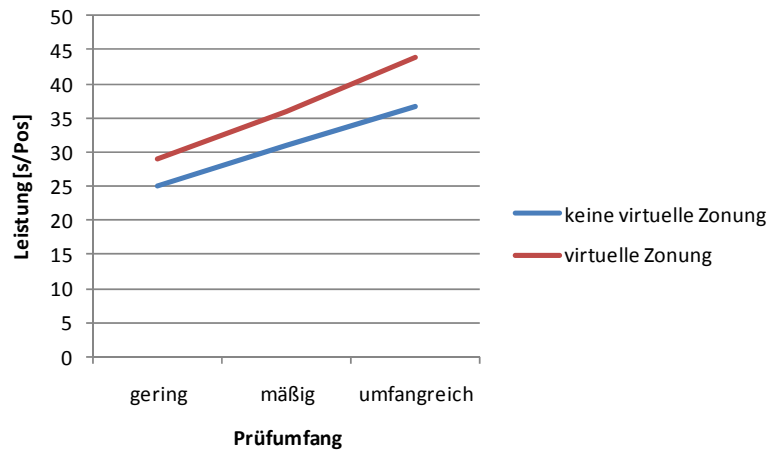


ABBILDUNG 6-19: KOMMISSIONIERLEISTUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON PRÜFINTENSITÄT UND VIRTUELLER ZONUNG

Der zusätzlich anfallende Arbeitsschritt bei Vorliegen einer Virtuellen Zonung reduziert die Leistung des Kommissioniersystems um einen konstanten Faktor. Da allerdings mit der Virtuellen Zonung entsprechend obiger Ausführungen vermehrt Fehler auftreten, die bei umfangreicher Prüftätigkeit eher entdeckt und korrigiert werden, als bei geringem Prüfumfang, nimmt die Kurve bei Vorliegen einer Virtuelle Zonung einen steileren Verlauf.

Analog des Multi-Order-Pickings kann insgesamt festgestellt werden, dass sich eine Virtuelle Zonung bei Simulation der Kommissioniertätigkeiten ausschließlich negativ auf die Zielgrößen Qualität und Leistung auswirkt. Da auch diesem Effekt weitere Auswirkungen hinsichtlich der Wegzeit-Simulation gegenüberstehen, ist erneut eine simulationsübergreifende Betrachtung erforderlich.

SYSTEMAUSLASTUNG - EIN ANSATZ ZUR ZUSAMMENFÜHRUNG DER ZIELGRÖßEN

Die bisherigen Aufarbeitungen der Simulationsergebnisse dienen lediglich dazu, die Effekte, die die einzelnen Einflussgrößen auf die Zielgrößen haben, zu veranschaulichen und dabei zu demonstrieren, wie sich unterschiedliche Prüfindensitäten auf diese Effekte auswirken. Es wurde bewusst darauf verzichtet, aus der großen Menge konkurrierender Prüfstrategien Einzelne zu untersuchen und Handlungsanweisungen hinsichtlich deren situationsabhängigem Einsatz zu formulieren. Das komplexe Zusammenspiel der einzelnen Einflussgrößen, der bereits erläuterte Zielkonflikt zwischen Qualität und Leistung und die große Anzahl alternativer Prüfstrategien lassen es nicht zu, solche allgemeingültigen Handlungsanweisungen auszusprechen. Der stattdessen verfolgte Ansatz macht es sich zu Nutze, dass tatsächlich sämtliche denkbaren Prüfstrategien für jedes betrachtete Szenario in den Simulationsexperimenten berücksichtigt wurden. Es ist dank des vollfaktoriellen Versuchs, der alle Kombinationsmöglichkeiten der Prüftätigkeiten beinhaltet, möglich, für jeden simulierten Fall die eindeutig beste Lösung zu finden. Es wird das Ziel verfolgt, eine Methodik zu entwickeln, die es erlaubt, unter Rückgriff auf die Simulationsdatenbank sämtliche Prüfstrategien situationsbedingt zu bewerten und so in jedem beliebigen Szenario die anzuwendende Prüfstrategie zu ermitteln.

Eine große Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Systemauslastung zu. Auf ihre Sonderrolle als Einflussgröße wurde bereits eingegangen. Sie hat keine direkten Auswirkungen auf die Kommissioniertätigkeit und somit auch nicht auf die Zielgrößen Leistung und Qualität, kann aber zur situationsabhängigen Bewertung (und damit letztlich auch zur Auswahl) von Prüfstrategien

herangezogen werden, die sich aufgrund der in Abbildung 6-11 dargestellten gegenläufigen Tendenz der Zielgrößen nicht generell bewerten lassen.

Es liegt das Problem vor, dass einzelne Prüfstrategien anhand zweier konkurrierender Ziele beurteilt werden müssen: Besteht das Ziel der Optimierung des Kommissionierprozesses in der Minimierung des Fehlerdurchschlupfes, so ist offensichtlich, dass hierzu diejenige Prüfstrategie zu wählen ist, die den insgesamt größten Prüfumfang aufweist. Wird dagegen bei der Optimierung des Kommissionierprozesses ausschließlich das Ziel verfolgt, die Kommissionierleistung zu erhöhen ohne den qualitativen Aspekt zu berücksichtigen, ist vollständig auf Prüftätigkeiten zu verzichten.

Nun ist es sicherlich nicht sinnvoll, Prüfungen generell abzuschaffen, um einen zeitlich effizienten Kommissionierprozess zu erzeugen. Auch ist zu bezweifeln, dass eine Integration der maximal möglichen Prüfung in den Kommissionierprozess in jedem Fall zweckmäßig ist. Vielmehr wird ein situationsgerechter Kompromiss aus beiden Extremfällen gesucht.

Um diesen Kompromiss zu finden, ist auf die Systemauslastung, die sich in der Auftragslage widerspiegelt, zurückzugreifen. Aus einer vorliegenden Menge an Kommissionieraufträgen, kann auf einfache Weise die dafür notwendige Kommissionierleistung errechnet werden. Unter der Prämisse, dass Aufträge nicht so schnell wie möglich, sondern lediglich so schnell wie nötig zu bearbeiten sind, da ansonsten ungenutzte Kapazitäten brachliegen, kann die Systemauslastung zur Lösung des Konfliktes zwischen Qualität und Zeit herangezogen werden. Die optimale Prüfstrategie ist gefunden, wenn nur so viel fehlervermeidende Maßnahmen (unter Wahrung einer Mindest-Qualitätssicherung) in den Kommissionierprozess eingebunden werden, dass der vorliegenden Systemlast mit der Sicherstellung der Erzielung einer ausreichenden Leistung genüge getan wird. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass jederzeit die situationsbedingt maximal mögliche Qualität des Kommissionierprozesses erzielt wird.

Abbildung 6-20 - Abbildung 6-22 veranschaulichen die Zusammenhänge graphisch. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass Prüfstrategien sich bezüglich beider Zielgrößen auf eindeutige Weise in eine Rangfolge bringen lassen. Dies ist in der Praxis nicht unbedingt der Fall, da durchaus Prüfstrategien existieren, die gegenüber anderen Prüfstrategien sowohl zu höherer Leistung, als auch zu höherer Qualität führen. Wie dennoch eine eindeutige Rangfolge erstellt werden kann, wird in Abschnitt 8.2 ausführlich beschrieben. Zunächst ist lediglich das Prinzip zu erläutern, nach dem die Auswahl einer konkreten Prüfstrategie in Abhängigkeit der vorliegenden Systemauslastung vorzunehmen ist.

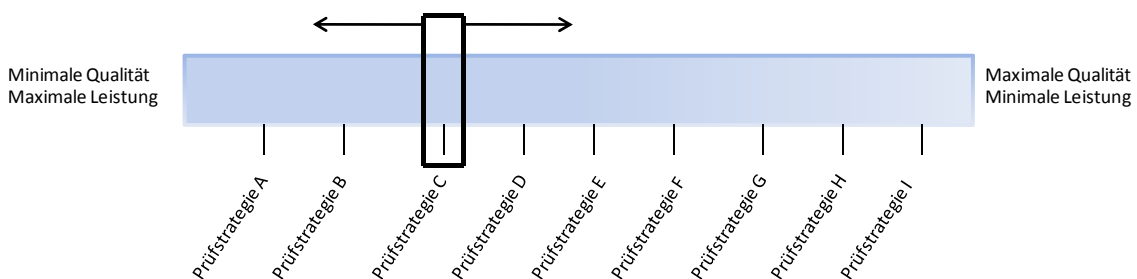


ABBILDUNG 6-20: VORGEHENSWEISE PRÜFSTRATEGIEAUSWAHL I

Dem Prozessverantwortlichen liegt ein Strategievorrat (A-I) vor (s. Abbildung 6-20). Er soll nun diejenige Strategie auswählen, die optimal auf die vorliegende Systemauslastung zugeschnitten ist. Diese lässt sich graphisch als eine Grenze darstellen, die den zur Verfügung stehenden Vorrat an Prüfstrategien reduziert. In Abbildung 6-21 ist eine solche *Leistungsgrenze*, die sich wie eingangs bereits erläutert über die zu erreichende Kommissionierleistung ermitteln lässt, dargestellt:

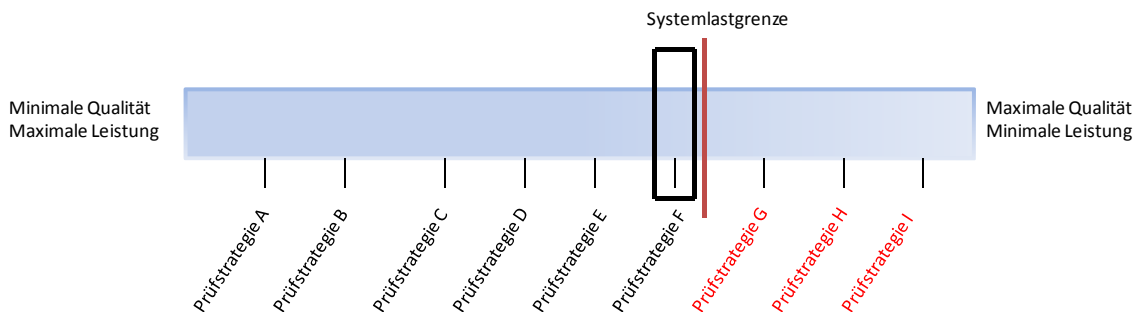


ABBILDUNG 6-21: VORGEHENSWEISE PRÜFSTRATEGIEAUSWAHL II

Die Leistungsgrenze schließt die Anwendung von Prüfstrategie G – I aus. Diese Strategien weisen zwar eine höhere Kommissionierqualität als die übrigen auf, sind aber nicht zulässig, weil die Kommissionierleistung nicht ausreicht, um die anfallenden Aufträge in der vorgegebenen Zeit abzuarbeiten. Aus den verbleibenden Strategien kann der Prozessverantwortliche schließlich diejenige wählen, die die maximale Qualität aufweist. Entsprechend der Darstellung wird also Prüfstrategie F gewählt, um unter Gewährleistung einer ausreichenden Kommissionierleistung die besten Ergebnisse bezüglich des Fehlerdurchschlupfes zu erzielen. Die vereinfachte Darstellung suggeriert dabei, dass niedrigere Leistung immer höhere Qualität bedingt. Dies ist zwar als generelle Tendenz anzunehmen und als solche auch durch die Simulationsergebnisse verifiziert (s. Abbildung 6-11), muss aber in Einzelfällen nicht zwangsläufig der Fall sein. Denkbar ist durchaus, dass sich Prüfstrategie E als vorteilhaft erweist (sofern nicht vorgesehen ist, eine Bereinigung der Rangfolge vorzulagern, die diejenigen Prüfstrategien aussortiert, die bei geringerer Leistung auch geringere Kommissionierqualität aufweisen).

Zusätzlich kann es sinnvoll sein, neben der Systemlastgrenze, die die Kommissionierleistung betrifft, eine weitere Grenze einzuführen, die Prüfstrategien hinsichtlich der qualitativen Mindestanforderungen begrenzt. In den obigen Ausführungen wird sich ohnehin an der Prüfstrategie mit maximal möglicher Qualität orientiert. Eine solche Grenze zu berücksichtigen kann aber insbesondere dann sinnvoll sein, wenn die Systemlastgrenze einen kritischen Wert erreicht, also die Grenze für die Mindestqualitätsanforderungen überschreitet (s. Abbildung 6-22). Die vorgestellte Herangehensweise kann folglich auch verwendet werden, um generelle Kommissionierleistungsgrenzen zur Einhaltung von Qualitätsanforderungen zu definieren oder Hinweise für eine ggf. notwendige Steigerung der Kommissionierleistung (z.B. durch Einsatz eines zusätzlichen Kommissionierers) zu erhalten.

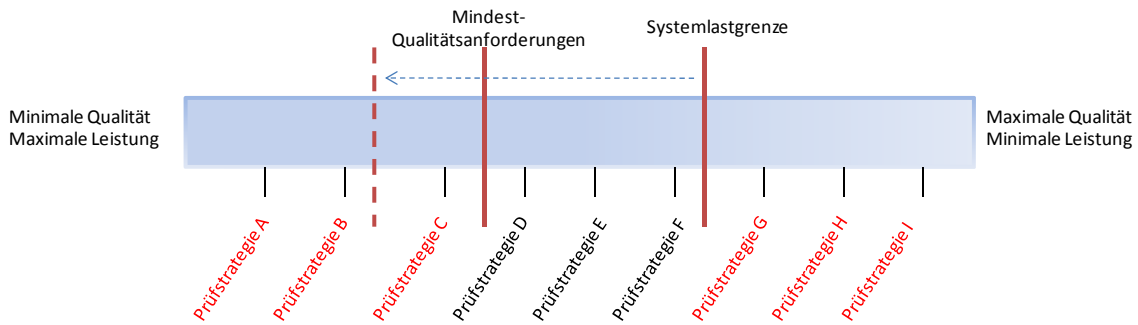


ABBILDUNG 6-22: VORGEHENSWEISE PRÜFSTRATEGIEAUSWAHL III

Um die aufgezeigte Vorgehensweise zur flexiblen Anpassung der Prüfstrategie an die Systemauslastung umzusetzen, sind Rückkopplungen zu den Simulationsergebnissen hinsichtlich der Wegzeiten erforderlich. Die Leistungsgrenze begrenzt die Zeit, die zur Verfügung steht, um die Kommissioniertätigkeiten inklusive der vorzunehmenden Prüfungen abzuwickeln. Bei effizienter Abarbeitung der anfallenden Wegstrecken und geringer Wegzeit ist dieser Zeitrahmen entsprechend größer. Diese Zusammenhänge finden sich in ausführlicher Form im aufzustellenden Wirkmodell wieder und müssen bei der Zusammenführung der Ergebnisse in Kapitel 8 berücksichtigt werden.

6.5 ZWISCHENFAZIT (RIF)

Nach Durchführung der Simulationsexperimente liegt eine umfangreiche Datenbank vor, die unterschiedlichste Szenarien und Prüfstrategien umfasst. Die gewonnenen Daten basieren auf den Eingangsdaten, die dem Referenzmodell zugrunde liegen und ggf. individuell angepasst werden können.

Zunächst konnte durch die Simulationsergebnisse verifiziert werden, dass die beiden Zielgrößen der Prüfstrategiewahl miteinander konkurrieren, hohe Qualität also niedrige Leistung bedingt und umgekehrt eine hohe Kommissionierleistung mit niedriger Qualität einhergeht.

Desweiteren wurden die Effekte der einzelnen Einflussgrößen auf die Zielgrößen Qualität und Leistung abgebildet. Beispielhaft wurde demonstriert, wie sich diese Effekte auswirken und wie sie sich durch unterschiedliche Prüfintensitäten beeinflussen lassen. Dabei konnte festgestellt werden, dass jede der betrachteten Einflussgrößen einen signifikanten Effekt auf die Zielgrößen hat und somit bei der Wahl einer Prüfstrategie zu berücksichtigen ist.

Aufgrund der hohen Anzahl potentiell einsetzbarer Prüfstrategien, der vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen den Einflussgrößen und dem Vorliegen konkurrierender Zielgrößen, wurde von der generellen Bewertung der Prüfstrategien, aus der sich allgemeingültige Handlungsanweisungen ableiten lassen, Abstand genommen. Eine Prüfstrategie ist demzufolge immer situationsspezifisch zu beurteilen. Mit der durch die Simulationstätigkeit aufgebauten Datenbank ist die Grundlage geschaffen, um für jede berücksichtigte Situation die optimale Prüfstrategie zu ermitteln. Die zu diesem Zweck vorgestellte Herangehensweise greift auf die Systemauslastung zurück, um den Zielkonflikt zwischen Leistung und Qualität situationsgerecht zu lösen.

Allerdings konnte festgestellt werden, dass eine isolierte Betrachtung der erzielten Simulationsergebnisse ungeeignet ist, um Aussagen über die Wahl einer Prüfstrategie zu treffen. Es existieren Wechselwirkungen mit den Kommissionierstrategien, die eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich machen. So werden mit dem Multi-Order-Pickung und der Virtuellen Zonung zwei Kommissionierstrategien vom Simulationsmodell als unmittelbare Einflussgrößen berücksichtigt. Desweiteren ist die Kenntnis von Wegzeiten in Abhängigkeit der angewendeten Kommissionierstrategien erforderlich, um auf die aufgezeigte Weise eine Leistungsgrenzen zu ermitteln, die die Grundlage für die Prüfstrategie-Auswahl bildet.

Die Entwicklung einer finalen Methodik, um mithilfe der gewonnenen Daten situationsspezifische Handlungsanweisungen zu formulieren, kann folglich erst nach Zusammenführung der Ergebnisse der einzelnen Simulationsmodelle erfolgen und wird in Kapitel 8 ausführlich vorgestellt. Zuvor werden die im Rahmen der Simulationstätigkeit identifizierten Wirkzusammenhänge zwischen Einflussgrößen, Zielgrößen und Prüf- bzw. Kommissionierstrategien zusammengetragen und anhand eines Modells veranschaulicht.

7 ENTWICKLUNG EINES WIRKMODELLS

Das Wirkmodell fasst die Ergebnisse aus dem vorherigen beiden Kapitel in einer grafischen Übersicht zusammen. Dabei werden die identifizierten Abhängigkeiten zwischen Strategien und Einflussgrößen sowie zwischen den Strategien untereinander dargestellt.

7.1 WIRKMODELL KOMMISSIONIERSTRATEGIEN (FLW)

Das Wirkmodell stellt die identifizierten Einflussgrößen und die Kommissionierstrategien in Beziehung zueinander (siehe Abbildung 7-1). Wie im Abschnitt 5.4 erläutert, kann mit der Strategie „Virtuelle Zonen“ keine Leistungssteigerung erzielt werden. Daher wird diese Strategie im Wirkmodell nicht weiter betrachtet. Der Einsatz der anderen Kommissionierstrategien führt, auch beim kombinierten Einsatz, zu einer Leistungssteigerung.

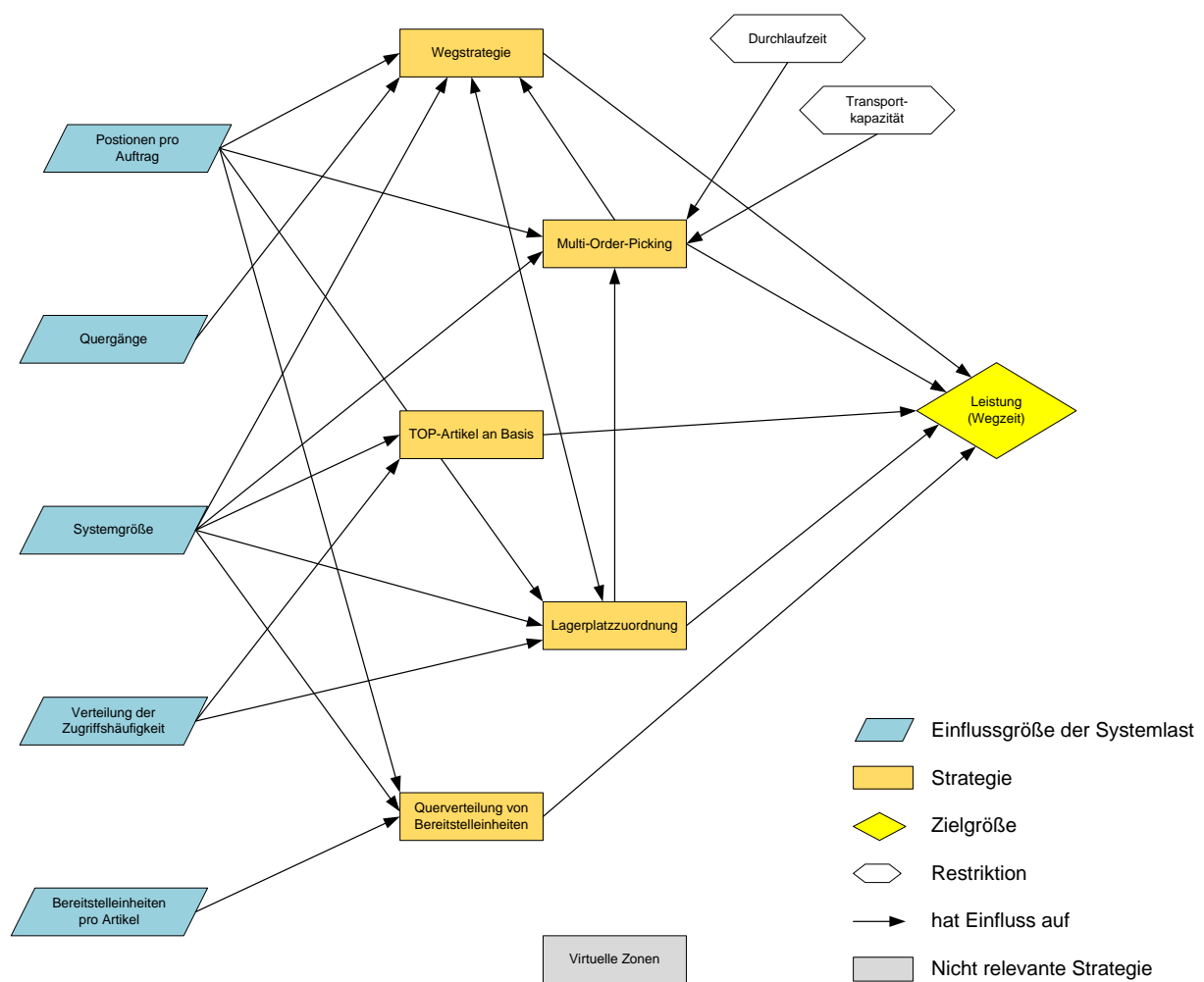


ABBILDUNG 7-1: WIRKMODELL KOMMISSIONIERSTRATEGIEN

Die Wahl der Wegstrategie hängt im Wesentlichen von der Anzahl Positionen pro Kommissionierauftrag, der Verteilung der Zugriffshäufigkeit der Artikel sowie dem Systemlayout (Quergänge) und der Systemgröße ab. Es wurde festgestellt, dass eine Kürzeste-Wege-Strategie allen anderen Wegstrategien unabhängig von der Ausprägung der Verteilung der Zugriffshäufigkeit und dem Systemlayout überlegen ist. Wenn das zur Verfügung stehende Steuerungssystem nur

Stichgang- und Schleifenstrategie anbietet, sollte die Stichgangstrategie grundsätzlich für Kommissionieraufträge mit wenigen Positionen und die Schleifenstrategie für große Aufträge eingesetzt werden (siehe Abbildung 7-2). Wenn eine ABC-Zonung nach Zugriffshäufigkeit gegeben ist, eignet sich die Stichgangstrategie auch für große Aufträge.

Bei Systemlayouts mit Quergängen kann die Kommissionierleistung durch die Nutzung einer Kürzeste-Wege-Strategie weiter reduziert werden. Lediglich bei Einpositionsaufträgen liefert die Kürzeste-Wege-Strategie keinen Leistungsgewinn, da Quergänge auch nicht mehr genutzt werden. Der Einsatz von Quergängen verschlechtert die Leistung bei Einpositionsaufträgen sogar geringfügig, da der Gassenweg aufgrund der Quergangsbreite länger wird.

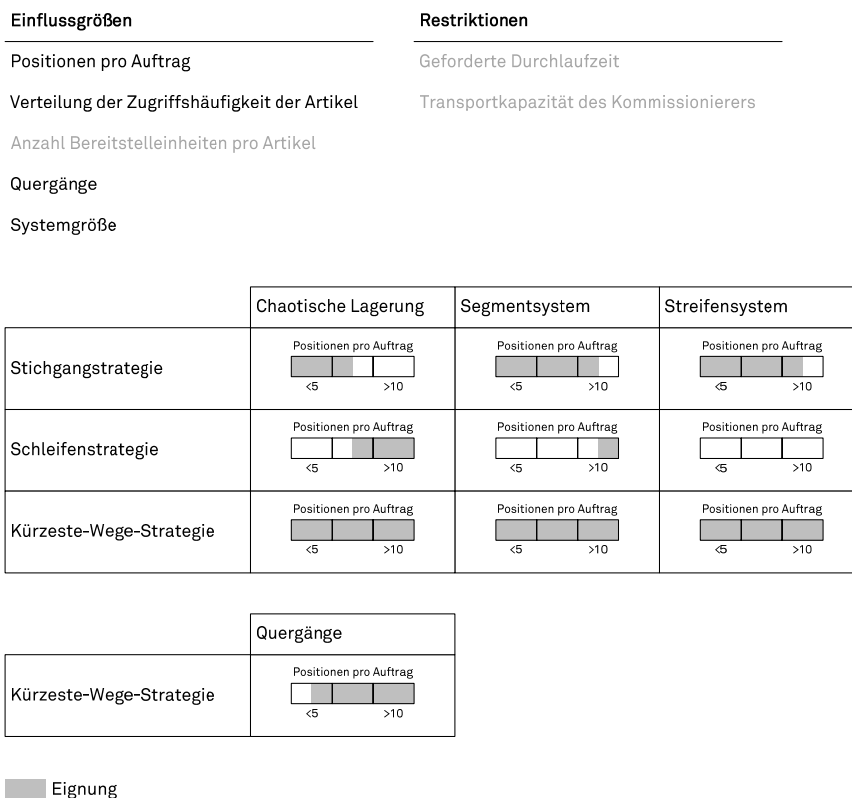


ABBILDUNG 7-2: WEGSTRATEGIEN - EINFLUSSGRÖßEN UND EINSATZFELDER

Die Art der Lagerplatzzuordnung hängt von den Einflussgrößen Positionen pro Auftrag, Verteilung der Zugriffshäufigkeit sowie Systemgröße ab (siehe Abbildung 7-3). Mit der Stärke der Verteilung der Zugriffshäufigkeit sowie bei mittleren und hohen Positionszahlen pro Kommissionierauftrag empfiehlt es sich, eine Bereitstellung der Artikel in einem Segmentsystem vorzunehmen. Lediglich bei wenigen Positionen pro Auftrag und gewöhnlicher 80/20-Verteilung der Zugriffshäufigkeit ist das Streifensystem vorzuziehen.

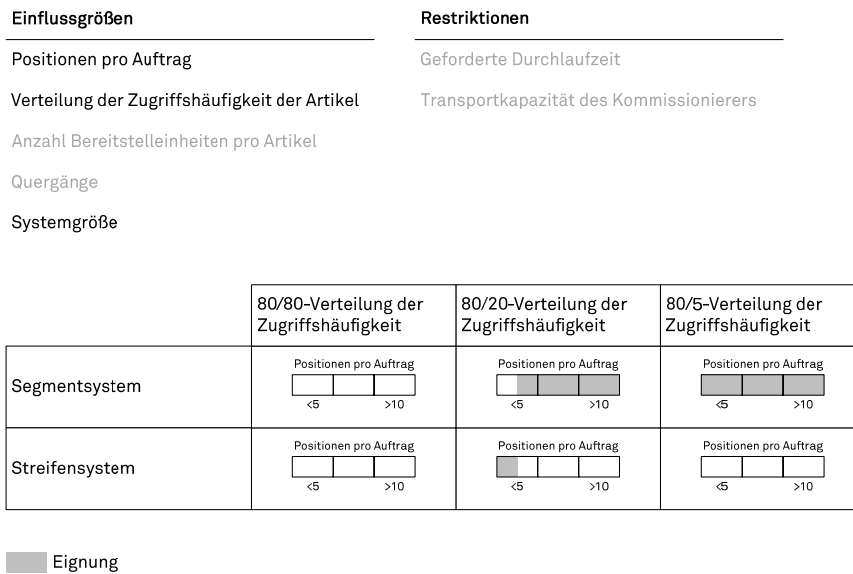


ABBILDUNG 7-3: LAGERPLATZUORDNUNG - EINFLUSSGRÖßEN UND EINSATZFELDER

Das Multi-Order-Picking hat sich als stärkste Strategie herausgestellt. Besonders effektiv ist die Strategie bei Kundenaufträgen mit wenigen Positionen (siehe Abbildung 7-4). Bei steigender Anzahl Auftragspositionen nimmt der Nutzeneffekt hinsichtlich Wegzeitreduzierung ab, es kann aber dennoch eine Wegzeitreduzierung gegenüber der Einzelbearbeitung der Aufträge erzielt werden. Daher sollten, sofern es die Transportkapazität eines Kommissionierers sowie die maximale Auftragsdurchlaufzeit zulassen, möglichst viele Kundenaufträge zu einem Sammelauftrag bzw. Batch zusammengefasst werden. Besonders bei großen Systemen können damit deutliche Wegzeitreduzierungen erreicht werden.



ABBILDUNG 7-4: MULTI-ORDER-PICKING - EINFLUSSGRÖßEN UND EINSATZFELDER

Besonders bei einer starken Ausprägung der Zugriffshäufigkeiten von Artikeln, lohnt sich die Bereitstellung von TOP-Artikeln direkt an der Kommissionierbasis (siehe Abbildung 7-5). Bei einer Gleichverteilung ist der Nutzeneffekt dieser Strategie äußerst gering.



ABBILDUNG 7-5: TOP-ARTIKEL AN BASIS - EINFLUSSGRÖßEN UND EINSATZFELDER

Bei sehr großen Kommissionieraufträgen kann die Wegzeit durch eine Querverteilung der Bereitstelleinheiten kaum noch verkürzt werden, da in diesem Fall ohnehin fast das gesamte System durchlaufen wird (siehe Abbildung 7-6). Bei einer geringen und mittleren Anzahl an Auftragspositionen dagegen sollte die Querverteilung stets eingesetzt werden. Dies gilt unabhängig von der Anzahl Bereitstelleinheiten pro Artikel.

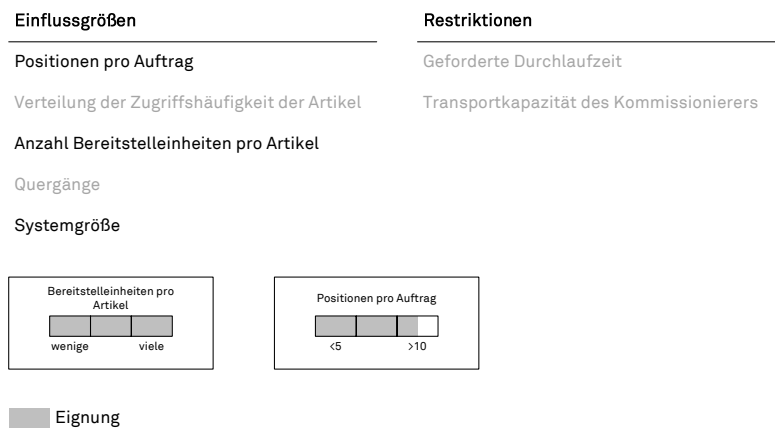


ABBILDUNG 7-6: QUERVERTEILUNG VON BEREITSTELLEINHEITEN - EINFLUSSGRÖßEN UND EINSATZFELDER

7.2 WIRKMODELL PRÜFSTRATEGIEN (RIF)

Wie hinsichtlich der Kommissionierstrategien bereits geschehen, wird auch für die Prüfstrategien ein Wirkmodell erstellt, das die im Rahmen der Simulationstätigkeit verifizierten Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen, Zielgrößen und Kommissionierstrategien veranschaulicht. In dieses zweite Modell sind die Schnittstellen zwischen den einzelnen Simulationsmodellen integriert, um auf dieser Basis im nachfolgenden Kapitel eine Methode vorzustellen, mit der die einzelnen Simulationsergebnisse zusammengeführt werden können.

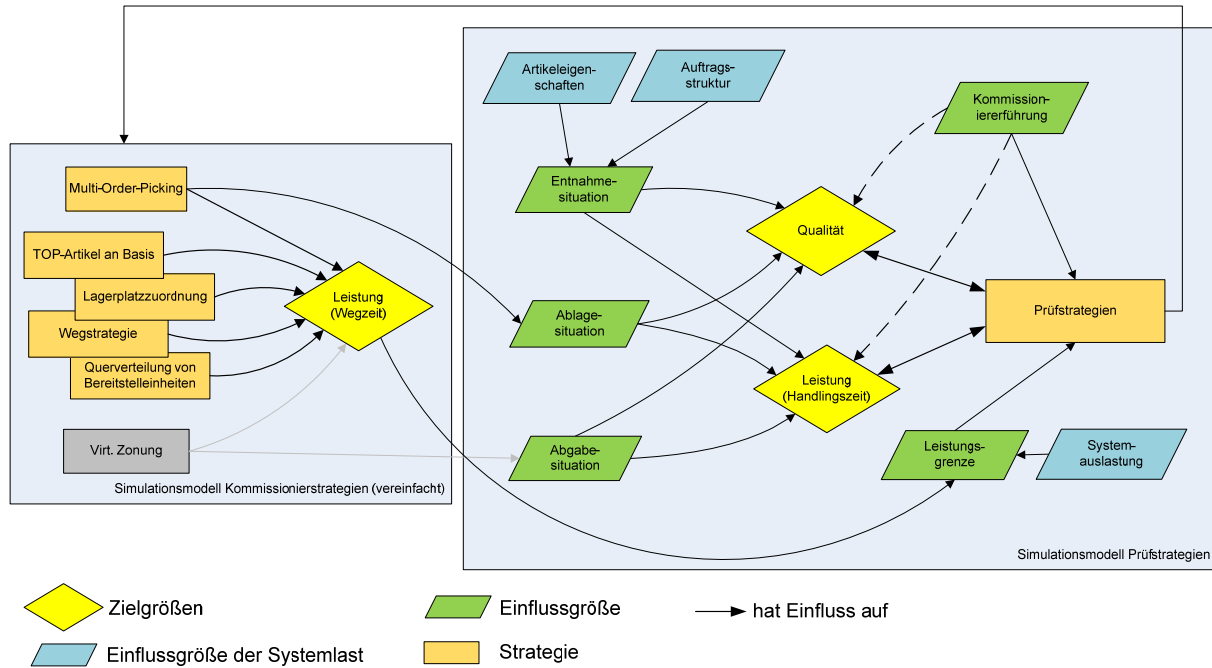


ABBILDUNG 7-7: WIRKMODELL ZUR PRÜFSTRATEGIEAUSWAHL

Im Zentrum des Wirkmodells steht die Entscheidung über die anzuwendende Prüfstrategie, die unmittelbar davon abhängig ist, welche Ausprägungen die Zielgrößen Leistung und Qualität annehmen. Da diese Zielgrößen bei steigender Prüfintensität gegenläufige Tendenzen aufweisen, ist ein Entscheidungskriterium erforderlich, anhand dessen der Zielkonflikt gelöst werden kann. Hierzu wird auf die bereits geschilderte Weise auf die Leistungsgrenze zurückgegriffen, um die optimale Prüfstrategie für eine vorliegende Situation zu ermitteln. Die Leistungsgrenze – d.h. die Zeit die zur Verfügung steht um die Kommissionieraufgabe inklusive der anfallenden Prüfungen abzuwickeln – ist davon abhängig, welche Systemauslastung vorliegt und welche Wegzeiten anfallen. Die Wegzeiten wiederum werden von der Wahl der Kommissionierstrategien beeinflusst. Hier liegt demnach die erste Schnittstelle zwischen Kommissionier- und Prüfstrategien vor.

Der Pool an Prüfstrategien, aus denen eine Auswahl zu treffen ist, ist von der vorliegenden Technik zur Kommissionierführung abhängig, da diese Technik die Möglichkeiten der im Kommissionierprozess potentiell durchführbaren Prüfungen einschränkt. Darüber hinaus hat die technische Unterstützung Einfluss auf Leistung und Qualität des Kommissionierprozesses. Da sie aber als unveränderlich angesehen wird, sind diese Auswirkungen in die kurzfristige, systemlastabhängige Wahl einer Prüfstrategie nicht einzubeziehen (gestrichelte Linien).

Die Zielgrößen Leistung und Qualität wiederum sind entsprechend der in Abschnitt 6.4.2 verifizierten Effekte von Einflussfaktoren abhängig, die die durchzuführenden Tätigkeiten betreffen: Die Artikeleigenschaften und die Auftragsstruktur legen die Entnahmesituation fest und wirken so mittelbar auf die Zielgrößen ein. Wird ein Multi-Order-Picking vorgenommen, so ist hiervon die Ablagesituation betroffen, deren Komplexität mit wachsender Zahl parallel zu kommissionierender Aufträge zunimmt und so Qualität und Leistung beeinflusst. Die Virtuelle Zonung nimmt insofern auf die Zielgrößen Einfluss, als dass bei Anwendung dieser Kommissionierstrategie die Tätigkeiten des

Kommissionierers dahingehend erweitert werden, dass Übergaben von einer Zone in die nächste auftreten, die Fehlerpotential aufweisen und zu Leistungsminderungen führen.

Folglich finden sich im Wirkmodell zur Prüfstrategie-Auswahl mit dem Multi-Order-Picking und der Virtuellen Zonung auch Kommissionierstrategien als Einflussgrößen wieder, die eine weitere Schnittstelle zwischen den Simulationsexperimenten zur Abbildung der Wegzeiten und denen zur Abbildung der Tätigkeiten bilden. Entsprechend sind bei der Simulation zur Abbildung der Tätigkeiten Kommissionierstrategien zu berücksichtigen, da diese Einfluss auf die durchzuführenden Tätigkeiten ausüben, während die Simulationsexperimente zur Abbildung der Wegzeiten unabhängig von der Wahl der Prüfstrategie durchgeführt werden konnten. Allerdings liegen bei der Virtuellen Zonung und dem Multi-Order-Picking unterschiedliche Ausgangssituationen vor, die nachfolgend einzeln betrachtet werden:

- Die Kommissionierstrategie der Virtuellen Zonung wurde in den Simulationsexperimenten hinsichtlich der Prüfstrategien berücksichtigt, da die Aufträge bei Vorliegen einer Zonung in Unteraufträge gesplittet werden, die wieder zusammengeführt werden müssen. Entsprechend fällt ein Arbeitsschritt an, der Tätigkeitszeit beansprucht und ein gewisses Fehlerpotential birgt. Hier auftretende Fehler setzen die Kommissionierleistung herab (sofern sie erkannt werden) oder reduzieren die Prozessqualität (sofern sie nicht erkannt werden und den Fehlerdurchschlupf erhöhen).
Im Rahmen der Auswertung der Simulationsergebnisse konnte allerdings unerwartet festgestellt werden, dass das Vorliegen einer Virtuellen Zonung die Kommissionierleistung hinsichtlich der Wegzeiten nicht relevant erhöht. Den negativen Auswirkungen bezüglich der Handlingszeiten und der Qualität des Prozesses steht demnach kein Leistungsgewinn seitens der Wegzeiten gegenüber. Aus diesem Grund ist von einer Umsetzung dieser Kommissionierstrategie generell abzusehen. Für die Wahl einer Prüfstrategie wird sie damit irrelevant.
- Hinsichtlich des Multi-Order-Pickings liegt eine andere Situation vor, die ausführlich zu erläutern ist: Die parallele Bearbeitung mehrerer Aufträge hat weitreichende Auswirkungen auf den gesamten Kommissionierprozess. Hauptintention bei der Umsetzung einer solchen Kommissionierstrategie liegt in der Reduzierung der Wegzeit, die durch die simultane Bearbeitung erzielt wird. Allerdings geht mit der parallelen Auftragsbearbeitung der bereits beschriebene Komplexitätszuwachs seitens des Handlings von Artikeln bei der Entnahme aus Lagerplätzen und der Ablage in auftragsspezifischen Sammelbehältern einher. Die entsprechenden Handlingprozesse wurden im Forschungsvorhaben im Rahmen der Bewertung von Prüfstrategien berücksichtigt. Dem durch die Wegzeit erzielten Leistungszuwachs steht demnach ein durch den erhöhten Handlingsaufwand verursachter Leistungsverlust gegenüber. Diese Situation kann auf stark idealisierte Weise wie folgt veranschaulicht werden:

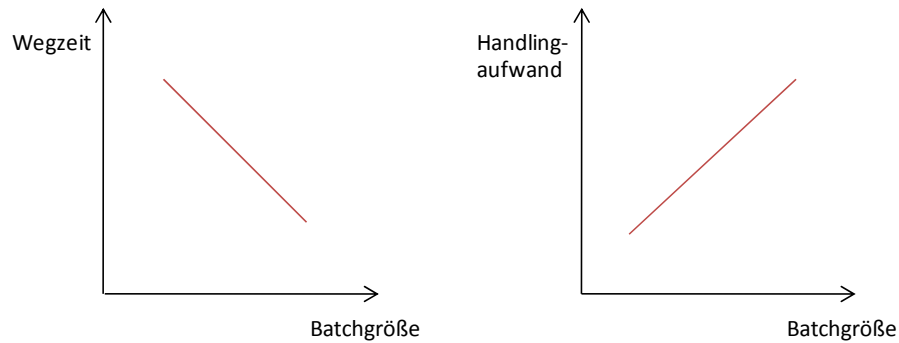


ABBILDUNG 7-8: AUSWIRKUNG DER BATCHGRÖÖE AUF DIE LEISTUNG

Da es sich um eine rein qualitative Gegenüberstellung handelt, können erst bei Vorliegen eines konkreten Anwendungsfalls Aussagen bezüglich der Gewichte der einzelnen Effekte getroffen werden, die es erlauben, den tatsächlichen Leistungszuwachs bzw. -verlust zu bewerten. Generell bleibt aber festzuhalten, dass eine ganzheitliche Betrachtung der Auswirkungen der Batch-Bildung auf die Kommissionierleistung vorzunehmen ist.

Nun beschränken sich die Auswirkungen des Multi-Order-Pickings – wie dem Wirkmodell zu entnehmen ist – nicht ausschließlich auf die Leistung des Kommissionierprozesses. Vor dem Hintergrund der integrierten Betrachtung von Kommissionier- und Prüfstrategien ist insbesondere zu ermitteln, welchen Einfluss die parallele Auftragsbearbeitung auf die Qualität des Kommissionierprozesses hat. Die höhere Komplexität des Handlingvorgangs bei zunehmender Batchgröße schlägt sich in einer Minderung der Kommissionierqualität nieder. Je höher die Anzahl mitzuführender Auftragsbehälter, desto mehr Möglichkeiten existieren, bei der Zuordnung von Kommissionierartikeln Fehler zu produzieren. Werden diese Fehler entdeckt, führen sie zu Korrekturen, die bereits in den Leistungseinbußen berücksichtigt werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass ein gewisser Anteil der Fehler unentdeckt bleibt und damit den Fehlerdurchschlupf – die Maßgröße für die Qualität des Kommissionierprozesses – negativ beeinflusst. Auch diese Tendenz wurde durch die Simulationsergebnisse verifiziert und kann gemäß der oben gewählten Darstellungsweise graphisch idealisiert veranschaulicht werden:

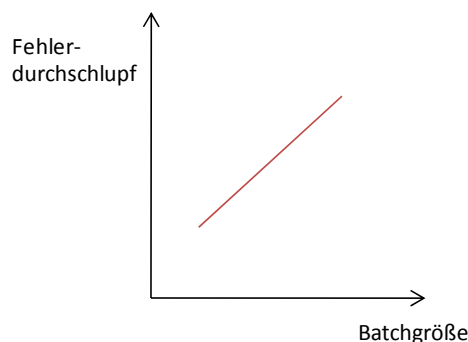


ABBILDUNG 7-9: AUSWIRKUNG DER BATCHGRÖÖE AUF DIE QUALITÄT

Die Wahl einer Kommissionierstrategie hat folglich weitreichende Konsequenzen, die sich neben der Leistung auch auf die Qualität auswirken. Um eine Bewertung vorzunehmen, sind die Effekte insgesamt abzuwägen und eine ganzheitliche Betrachtung vorzunehmen. Damit tritt zwangsläufig das

Problem auf, verschiedenartige Bewertungskriterien gegenüberstellen zu müssen. Während sich die gegenläufigen Tendenzen bezüglich der Leistung dank der gleichen Maßgrößen problemlos gegeneinander aufrechnen lassen, ist dies bei der Qualitätsbewertung nicht der Fall. Wie mit dieser Problematik umzugehen ist, wird im folgenden Kapitel, das sich mit der Zusammenführung der Ergebnisse befasst, diskutiert.

Festzuhalten bleibt, dass eine Prüfstrategie-Auswahl nicht unabhängig von der Kommissionierstrategie-Auswahl getroffen werden kann und umgekehrt auch die Wahl der Kommissionierstrategie unter Berücksichtigung der Wahl der Prüfstrategie geschehen muss und dieser nicht unabhängig vorgelagert werden kann. Im Wirkmodell wird dieser Umstand durch eine rekursive Verknüpfung zwischen der Prüfstrategie und den Kommissionierstrategien dargestellt.

8 KENNZAHLBASIERTER AUSWAHLALGORITHMUS

Das oberste Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines kennwertbasierten Auswahlalgorithmus für den situationsgerechten Einsatz von Kommissionier- und Prüfstrategien bei der auftragsweisen manuellen Kommissionierung unter Zuhilfenahme der Simulation. Dabei wurde die Veränderung der Strategien im laufenden Betrieb auf Basis der aktuellen Einflussgrößen angestrebt, um so die Effizienz des Kommissionierprozesses zu erhöhen.

Nachdem die Simulationstätigkeiten unter Rückgriff auf zwei unterschiedliche Modelle separat voneinander durchgeführt wurden, sind die Ergebnisse nachfolgend zusammenzuführen. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass entsprechend der in Kapitel 7 festgestellten Wirkzusammenhänge Abhängigkeiten der Ergebnisse untereinander bestehen.

Die Zusammenführung wird durch den Umstand erschwert, dass in den Simulationen uneinheitliche Ergebnisse bezüglich der Bewertungskriterien vorliegen. Während die Simulationsergebnisse zur Kommissionierstrategie ausschließlich die Leistung des Kommissioniersystems hinsichtlich der Wegzeit beurteilen, greifen die Simulationen zur Prüfstrategie neben Leistungsdaten bezüglich der Handlungszeiten auch auf Qualitätsdaten zurück.

Eine Methodik mit deren Hilfe die unterschiedlichen Ergebnisse vor dem Hintergrund der Ableitung von Handlungsempfehlungen dennoch zusammengeführt werden können, ohne dabei auf die Überführung in eine monetäre Größe zurückzugreifen, wie sie bereits in Abschnitt 2.6 ausgeschlossen wurde, wird nachfolgend vorgestellt. Ein auf Basis der Simulationsergebnisse entwickelter kennwertbasierter Auswahlalgorithmus soll die situationsgerechte Auswahl von Kommissionier- und Prüfstrategien ermöglichen. Da die Ergebnisse zweier unterschiedlicher Simulationsmodelle in den Algorithmus einfließen, gliedert sich dieser in zwei Ablaufschritte. Entsprechend der im Wirkmodell identifizierten Zusammenhänge greift der Algorithmus also zunächst auf die Simulationsergebnisse hinsichtlich der Kommissionierstrategien zurück, um anschließend eine Prüfstrategieauswahl vorzunehmen, die sich wiederum aufgrund der rekursiven Wirkzusammenhänge auf die endgültige Festlegung der Kommissionierstrategien auswirkt. Die beiden Einzelschritte werden nachfolgend separat vorgestellt.

8.1 KENNWERTBASIERTER AUSWAHLALGORITHMUS FÜR KOMMISSIONIERSTRATEGIEN (FLW)

Ein kennwertbasierter Auswahlalgorithmus wurde für den Einsatz von Kommissionierstrategien auf Grundlage der Ergebnisse der Simulationsexperimente (vgl. Abschnitt 5.4)), der Abhängigkeiten von Kommissionierstrategien zu Einflussgrößen und des abgeleiteten Wirkmodells für Kommissionierstrategien (vgl. Abschnitt 7.1) entwickelt. Der Auswahlalgorithmus zeigt, welche Kommissionierstrategien in Abhängigkeit der aktuellen Einflussgrößen im Kommissioniersystem genutzt werden sollten, um die Wegzeit der Kommissionierer effizient zu verringern und damit die Systemleistung zu maximieren.

Abbildung 8-1 veranschaulicht diesen Auswahlalgorithmus. Oberstes Ziel beim Einsatz von Kommissionierstrategien ist die Realisierung des Multi-Order-Pickings mit einer möglichst großen Batchgröße. Aus Sichtweise der Wegbetrachtung ist die maximal mögliche Batchgröße durch zwei

Restriktionen festgelegt. Zum einen darf die maximale Transportkapazität des Kommissionierers bzw. des vom Kommissionierer benutzten Fortbewegungsmittels nicht überschritten werden. Zum anderen hat die Auswertung der Durchlaufzeiten gezeigt, dass die Batchgröße hier die entscheidende Einflussgröße ist (vgl. Abbildung 5-29). Die Batchgröße darf deshalb maximal nur so groß gewählt werden, wie es das Zeitfenster bis zur notwendigen Auftragsfertigstellung zulässt. Das Minimum dieser beiden Restriktionen legt die realisierbare Batchgröße fest.

Der Auswahlalgorithmus unterscheidet zwischen Batchgröße 1 (dem Single-Order-Picking) und mittleren oder größeren Batchgrößen (Multi-Order-Picking). Folgt man der Verzweigung in Abbildung 8-1, wird im nächsten Schritt differenziert, wie die Verteilung der Zugriffshäufigkeiten auf die Artikel ausgeprägt ist. Hier besteht die Auswahl zwischen einer Gleichverteilung der Zugriffshäufigkeiten (80/80), einer normalen ABC-Verteilung (80/20) und einer besonders stark ausgeprägten ABC-Verteilung (80/5). Derjenige Wert, der am ehesten zutrifft, sollte an dieser Stelle gewählt werden. Abschließend wird in Abhängigkeit der Positionen pro Auftrag aufgelistet, welche Kommissionierstrategien in einem konkreten Fall angewendet werden sollten. Kurzfristig und langfristig umsetzbare Strategien werden dabei unterschieden (vgl. Abbildung 3-1).

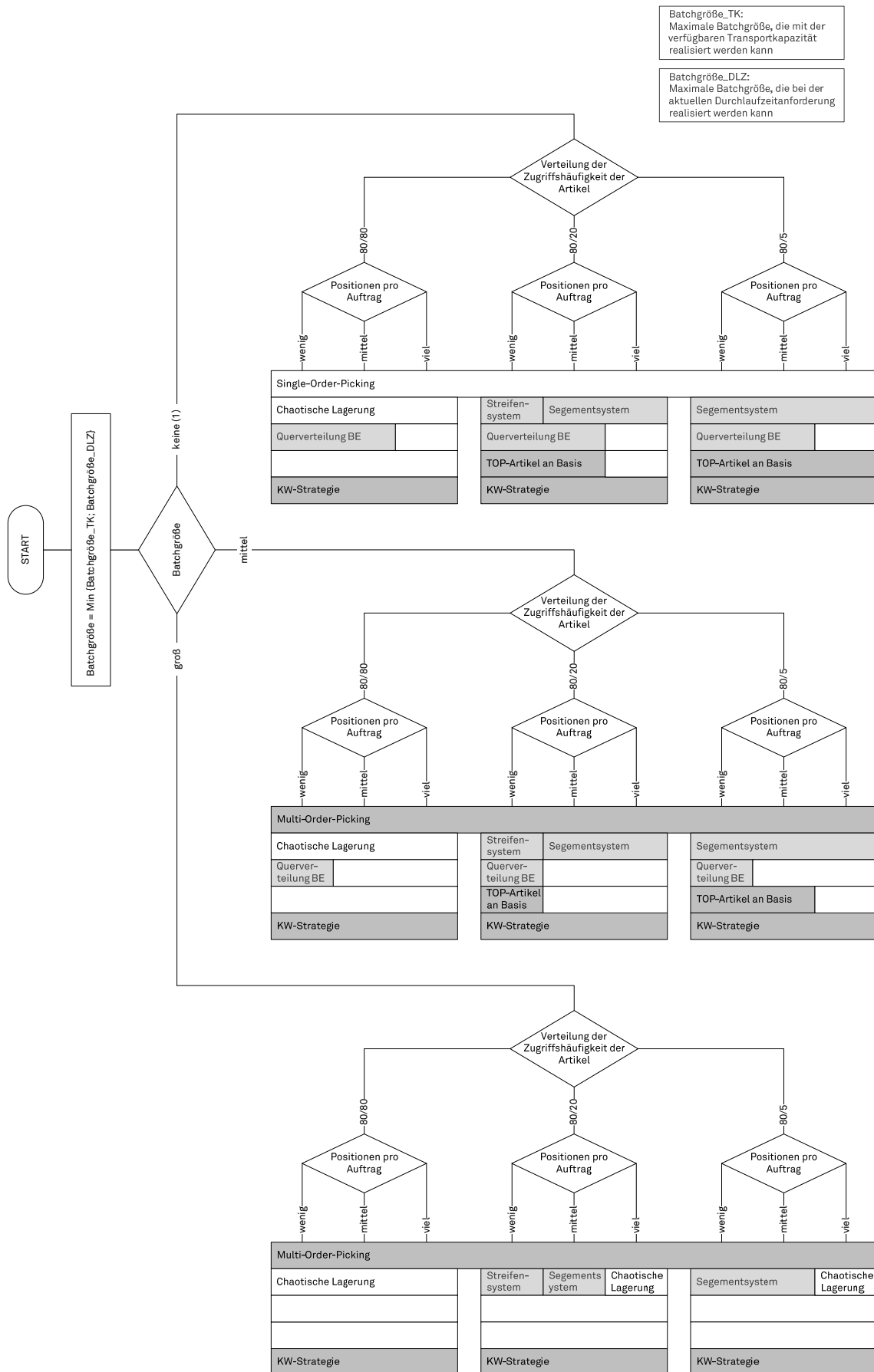


ABBILDUNG 8-1: KENNZAHLBASIERTER AUSWAHLALGORITHMUS FÜR KOMMISSIONIERSTRATEGIEN

8.2 KENNWERTBASIRTER AUSWAHLALGORITHMUS PRÜFSTRATEGIEN (RIF)

Der erste Teilschritt des Auswahlalgorithmus erlaubt bei Vorliegen einer spezifischen Situation keine endgültige Auswahl bezüglich der anzuwendenden Kommissionierstrategien. Um Handlungsanweisungen hinsichtlich Prüf- und Kommissionierstrategien abzuleiten, ist vielmehr eine integrierte Betrachtung der einzelnen Simulationsergebnisse erforderlich, da die Wahl der Kommissionierstrategien sich in ihren Auswirkungen nicht auf die Wegzeiten beschränkt, sondern auch Einfluss auf die im Kommissionierprozess anfallenden Tätigkeiten hat. Entsprechend der im Wirkmodell ausgearbeiteten Wechselwirkungen betrifft dies ausschließlich das Multi-Order-Picking, weil von einer Virtuellen Zonung generell abzusehen ist. Eine ganzheitliche Entscheidung hinsichtlich der anzuwendenden Kommissionier- und Prüfstrategien ist also nur durch die Zusammenführung der Ergebnisse der unterschiedlichen Simulationsmodelle unter Berücksichtigung verschiedener Batchgrößen realisierbar.

Um auf die auftretende Problematik verschiedenartiger Bewertungskriterien zu reagieren, wird auf die in Abschnitt 6.4.2 vorgestellte Methodik zurückgegriffen: Eine Leistungsgrenze, die die minimal benötigte Leistung des Kommissioniersystems markiert, wird herangezogen, um die situationsgerechte Kombination aus Prüf- und Kommissionierstrategien ausfindig zu machen. An dieser Stelle liegt allerdings eine zweite Schnittstelle zwischen den Simulationsmodellen vor, da die für die Bewältigung der anfallenden Wege aufzuwendende Zeit Einfluss auf die Leistungsgrenze zur Prüfstrategieauswahl hat. Neben dem Multi-Order-Picking nehmen also auch die übrigen Kommissionierstrategie-Entscheidungen Einfluss auf die Wahl einer Prüfstrategie. Im Unterschied zur Batchgröße wirkt sich dieser Einfluss allerdings nicht auf die Simulation der Tätigkeiten des Kommissionierprozesses, sondern lediglich auf die Wegzeiten aus (vgl. Abbildung 7-7).

Wie allgemein vorzugehen ist, um unter Rückgriff auf die Systemauslastung eine Zusammenführung der konkurrierenden Zielgrößen Leistung und Qualität vorzunehmen, wurde bereits im Rahmen der Prüfstrategieauswahl ausführlich dargelegt (vgl. Abschnitt 6.4.2). An dieser Stelle kann die vorgestellte Herangehensweise nun unter Berücksichtigung sämtlicher Wirkzusammenhänge ausgebaut werden.

WEITERFÜHRUNG DES AUSWAHLALGORITHMUS

Bisher konnte lediglich festgelegt werden, welche Batchgrößen unter Beachtung gewisser Restriktionen theoretisch umzusetzen sind. Dabei wurden die Ergebnisse der Wegzeit-Simulation zugrunde gelegt, ohne damit einhergehende Konsequenzen hinsichtlich der Prüfstrategie-Simulationen zu berücksichtigen. Mit Einbeziehung der Simulationsergebnisse bezüglich der Prüfstrategien, soll nun die ideale Kombination aus Prüf- und Kommissionierstrategie gefunden werden.

Der zweite Teilschritt des kennwertbasierten Auswahlalgorithmus schließt sich unmittelbar an den bereits erläuterten ersten Teilschritt an und beruht auf zwei unterschiedlichen Arten von Kennwerten. Dies sind zunächst die Kennwerte, die unmittelbar aus der Systemlast zu ermitteln sind (z.B. die erforderliche Kommissionierleistung, die Artikeleigenschaften und die Auftragsstruktur). Desweiteren sind Kennwerte zu berücksichtigen, die die Wirkzusammenhänge zu den Kommissionierstrategien herstellen. Dies betrifft die Wegzeiten, die von den angewendeten

Kommissionierstrategien abhängen. Da aber die Kommissionierstrategien vorab nicht festgelegt werden können, weil sie nicht nur Auswirkungen auf die Wegzeiten, sondern auch auf die Tätigkeiten haben, sind diverse Wegzeiten für unterschiedliche Ausprägungen der Kommissionierstrategien als Eingangsgröße für den zweiten Teilschritt des kennwertbasierten Auswahlalgorithmus vorzugeben. In Abbildung 8-2 ist die Verknüpfung zwischen den beiden Teilschritten dargestellt.

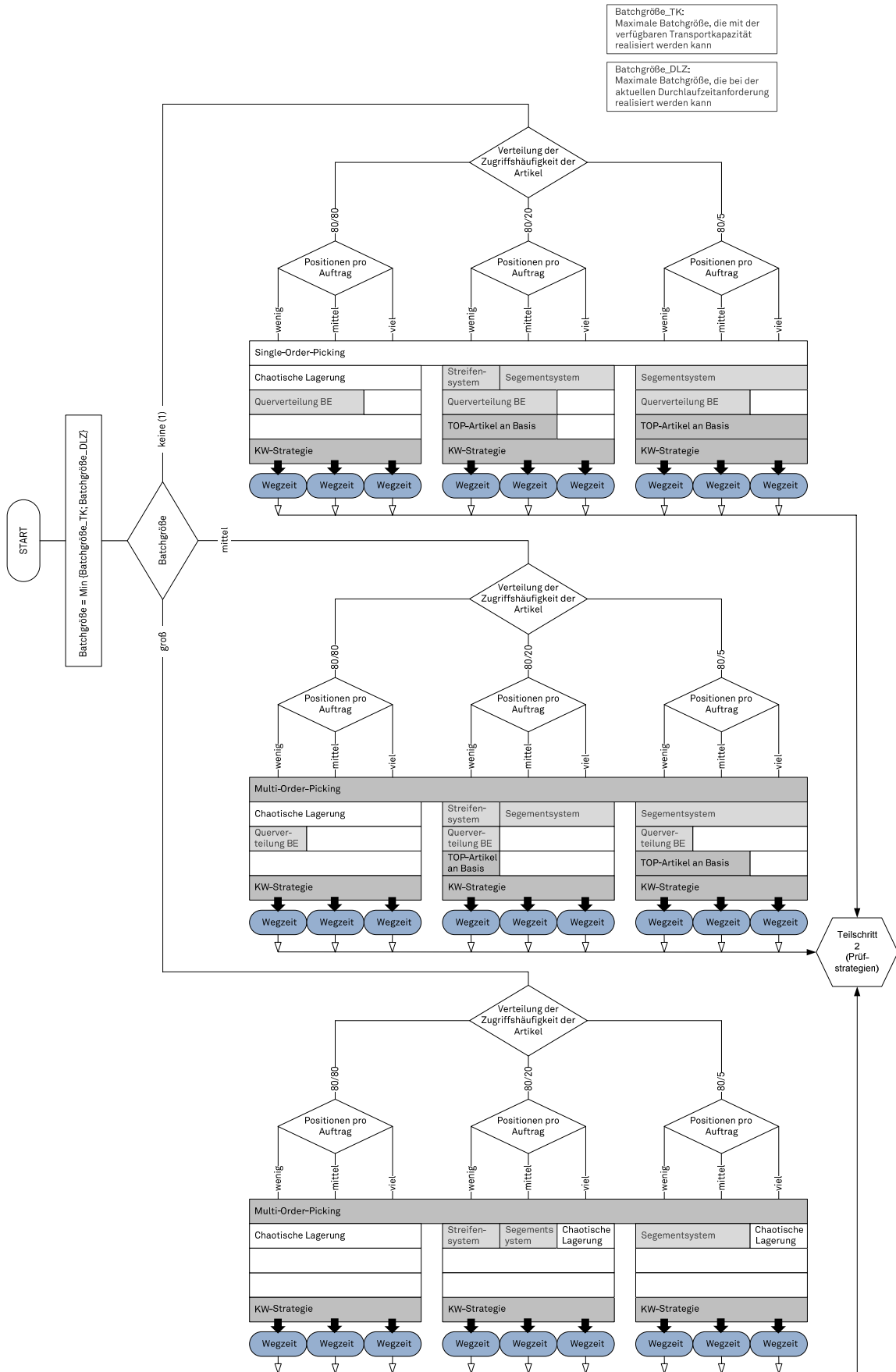


ABBILDUNG 8-2: VERKNÜPFUNG DER TEILSCHRITTE DES KENNZAHLBASIERTEN AUSWAHLALGORITHMUS

Jede der potentiell einsetzbaren Batchgrößen ist an einen bestimmten Satz anzuwendender Kommissionierstrategien gebunden und kann dank der Datenbank, die im Rahmen der Simulationstätigkeit erstellt wurde, mit einer konkreten Ausprägung für die Leistung bezüglich der Wegzeiten belegt werden (vgl. Abbildung 8-2). Die Eingangsgrößen, die vom ersten Teilschritt des Auswahlalgorithmus übergeben werden, liegen also in Form von alternativen Batchgrößen mit den zugehörigen Wegzeiten vor. Dabei ist in der Regel davon auszugehen, dass die größtmögliche Batchgröße die kürzeste Wegzeit aufweist, allerdings bezüglich der Handlingszeit und der verursachten Fehler den übrigen unterlegen ist. Aufgabe des Algorithmus ist die Identifikation derjenigen Kombination aus Kommissionier- und Prüfstrategie, die diesen Zielkonflikt situationspezifisch optimal löst.

Der zweite Teilschritt des Auswahlalgorithmus führt zu diesem Zweck wiederum vier aufeinanderfolgende Schritte durch und greift auf die Simulationsdatenbank zurück, in der die relevanten Daten für sämtliche Prüfstrategien in Abhängigkeit der vorliegenden Batchgrößen hinterlegt sind. Die Wirkweise des Algorithmus wird zunächst anhand Abbildung 8-3 veranschaulicht, bevor die Schritte im Einzelnen erläutert werden:

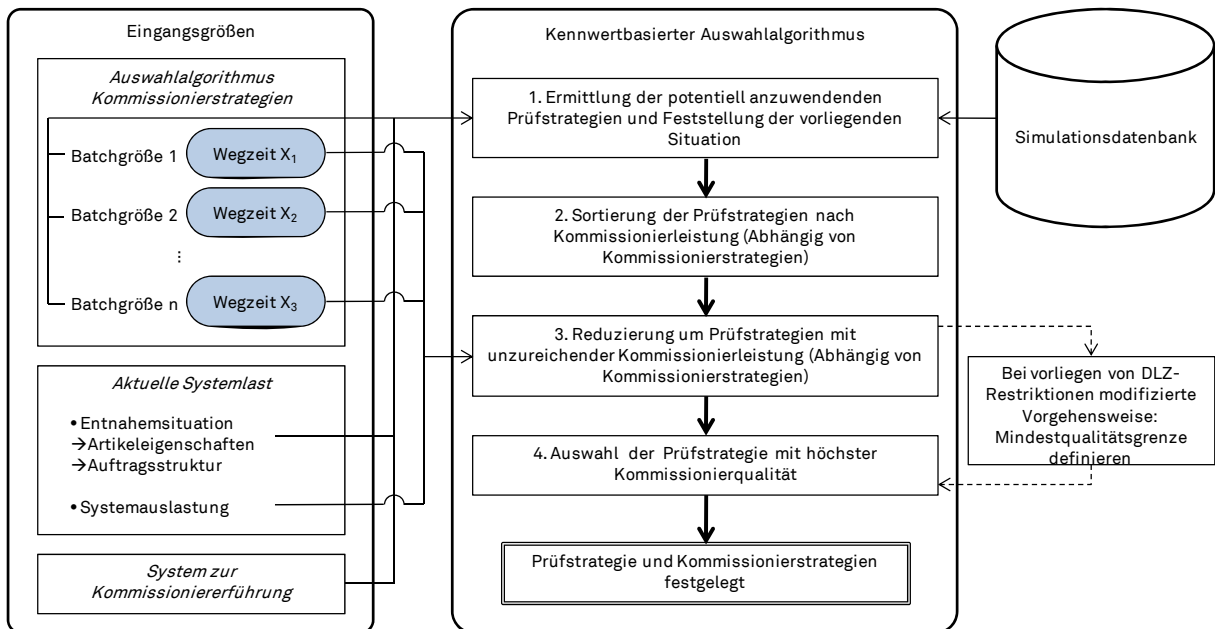


ABBILDUNG 8-3: KENNZAHLBASIRTER AUSWAHLALGORITHMUS

1. *Ermittlung der potentiell anzuwendenden Prüfstrategien und Feststellung der vorliegenden Situation:* Bei der Initiierung des Auswahlalgorithmus ist zunächst die eingesetzte und unveränderliche Technik zur Kommissionierführung zu bestimmen, da damit bereits die grundlegend einsetzbaren Prüfungsmethoden und aus deren Kombinationsmöglichkeit die entsprechenden Prüfstrategien zu identifizieren sind (vgl. Abschnitt 4.2.2).

Da diese Prüfstrategien situationsabhängig völlig unterschiedlich zu bewerten sind, ist darüber hinaus die vorliegende Situation zu charakterisieren. Dies erfolgt auf Basis der besagten Kennwerte, die dem Algorithmus als Eingangsgrößen vorliegen müssen. Folglich ist der Entnahmeprozess, der von Articleigenschaften und Auftragsstruktur abhängt und damit als Bestandteil der Systemlast in den Algorithmus einfließt, zu definieren. Abhängig von einer bestimmten Ausprägung der Kommissionierstrategien bezüglich der Batchgröße sind

anschließend durch Zugriff auf die Simulationsdatenbank die Simulationsdaten aller potentiell einzusetzenden Prüfstrategien für die vorliegende Situation zu ermitteln. Ergebnis des Schrittes ist also ein alle potentiell einzusetzenden Prüfstrategien umfassender Datensatz für jede Batchgröße.

Soll die parallele Kommissionierung von 1,2,4,8 oder 16 Aufträgen in die Untersuchung einbezogen werden, sind insgesamt 5 Datensätze zu ermitteln, die jeweils jede der potentiell einsetzbaren Prüfstrategien inklusive der entsprechenden Werte, die die Zielgrößen annehmen, umfassen.

Abbildung 8-4 zeigt ausschnittsweise die Daten, die der Simulationsdatenbank zu entnehmen sind:

Datensatz Szenario 1			Datensatz Szenario 2			Datensatz Szenario 5		
Batchgröße: 1			Batchgröße: 2			Batchgröße: 16		
→ Wegzeit: 20s/Pos.			→ Wegzeit: 18s/Pos.			→ Wegzeit: 14s/Pos.		
PS1	ZG L	ZG Q	PS1	ZG L	ZG Q	PS1	ZG L	ZG Q
PS2	ZG L	ZG Q	PS2	ZG L	ZG Q	PS2	ZG L	ZG Q
PS3	ZG L	ZG Q	PS3	ZG L	ZG Q	PS3	ZG L	ZG Q
PS4	ZG L	ZG Q	PS4	ZG L	ZG Q	PS4	ZG L	ZG Q
PS5	ZG L	ZG Q	PS5	ZG L	ZG Q	PS5	ZG L	ZG Q
PS6	ZG L	ZG Q	PS6	ZG L	ZG Q	PS6	ZG L	ZG Q
PS7	ZG L	ZG Q	PS7	ZG L	ZG Q	PS7	ZG L	ZG Q
PS8	ZG L	ZG Q	PS8	ZG L	ZG Q	PS8	ZG L	ZG Q
PS9	ZG L	ZG Q	PS9	ZG L	ZG Q	PS9	ZG L	ZG Q
⋮			⋮			⋮		
PS60	ZG L	ZG Q	PS60	ZG L	ZG Q	PS60	ZG L	ZG Q
PS61	ZG L	ZG Q	PS61	ZG L	ZG Q	PS61	ZG L	ZG Q
PS62	ZG L	ZG Q	PS62	ZG L	ZG Q	PS62	ZG L	ZG Q
PS63	ZG L	ZG Q	PS63	ZG L	ZG Q	PS63	ZG L	ZG Q
PS64	ZG L	ZG Q	PS64	ZG L	ZG Q	PS64	ZG L	ZG Q

PS4	ZG L	ZG Q
-----	------	------

Prüfstrategie Ausprägung der Zielgröße Leistung Ausprägung der Zielgröße Qualität

ABBILDUNG 8-4: DATENSÄTZE

In der Abbildung wird davon ausgegangen, dass eine Pick-by-Scan-Kommissionierung vorliegt und eine Auswahl aus 64 alternativen Prüfstrategien zu treffen ist. Die Datensätze unterscheiden sich hinsichtlich der Batchgröße und repräsentieren jeweils ein bestimmtes Szenario. Abhängig von diesen Szenarien ergeben sich mit Hilfe der Kommissionierstrategie-Simulation unterschiedliche Wegzeiten, die für den Auswahlalgorithmus eine Eingangsgröße darstellen. Ebenfalls abhängig vom vorliegenden Szenario nehmen die Zielgrößen der Qualität und der Leistung unterschiedliche Werte für jede Prüfstrategie an. Es gilt also aus 20 Datensätzen (eine ausführliche Darstellung eines Datensatzes findet sich in Abbildung 6-10) und 64 Prüfstrategien – also insgesamt 1280 Alternativen – die situationsabhängig optimale zu identifizieren.

2. *Sortierung der Prüfstrategien nach Kommissionierleistung:* Die einzelnen Datensätze repräsentieren eine spezifische Simulationssituation, in der alle Eingangsgrößen definiert sind und lediglich die Prüfstrategie variiert wird, jeder Prüfstrategie also eine situationspezifische Ausprägung der beiden Zielgrößen zugewiesen wird. Der zweite vom Algorithmus auszuführende Schritt besteht nun darin, innerhalb der aus der Simulationsdatenbank gewonnenen situationspezifischen Datensätze die einzelnen Prüfstrategien entsprechend der Handlingszeiten zu sortieren, und so eine Rangfolge innerhalb der Datensätze zu generieren.

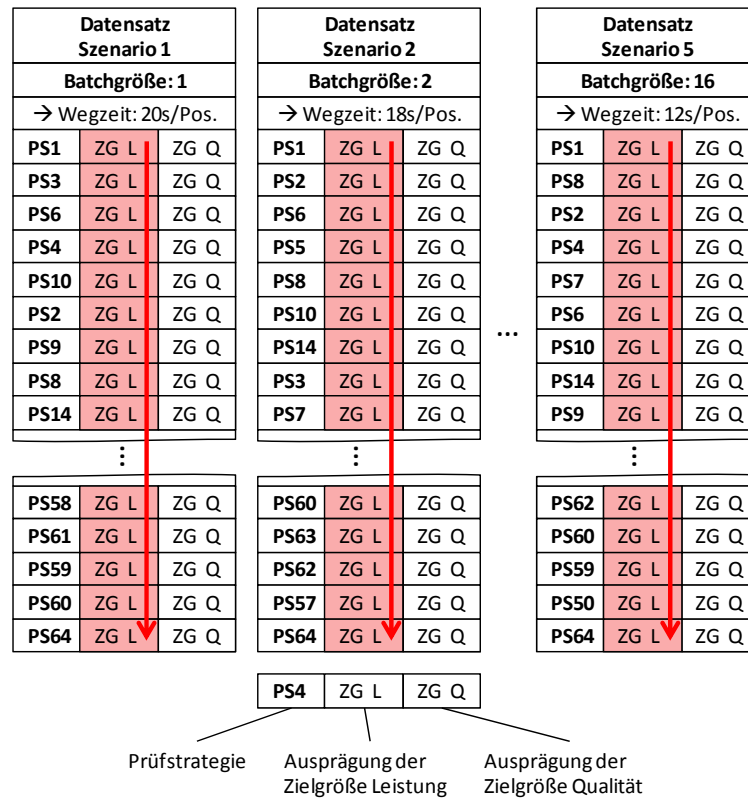


ABBILDUNG 8-5: DATENSÄTZE SORTIERT NACH LEISTUNG

Für jeden Datensatz ergibt sich dabei eine unterschiedliche Rangfolge der Prüfstrategien. Die Ursache hierfür liegt in den unterschiedlichen Fehlersituationen, die von der jeweils vorliegenden Batchgröße bestimmt wird. Generell bleibt aber die Tendenz erhalten, dass Prüfstrategien mit hohem Prüfumfang eine geringere Leistung hinsichtlich der Handlungstätigkeiten aufweisen. (Die Zeitwerte dienen der Veranschaulichung und sind in sämtlichen Abbildungen beispielhaft zu verstehen.)

3. *Reduzierung um Prüfstrategien mit unzureichender Kommissionierleistung:* Im dritten Schritt des Auswahlalgorithmus muss auf die Systemauslastung als Eingangsgröße zurückgegriffen werden, um innerhalb jedes Datensatzes die Liste potentieller Prüfstrategien um diejenige zu reduzieren, die keine ausreichende Kommissionierleistung gewährleisten. Hierzu ist die Leistungsgrenze zu bestimmen, die sich aus der Auftragslage bzw. der Systemauslastung ableiten lässt und in Form der maximal erlaubten Kommissionierzeit pro Position vorliegt. Die Leistungsgrenze wird dabei nicht anhand der Auftrags-Durchlaufzeit bemessen.

Betrachtungsgegenstand ist kein Auftrag, sondern vielmehr die Kommissionierleistung hinsichtlich einzelner Positionen in der bekannten Einheit [s/Pos.].

Neben den aus der Datenbank gewonnenen Zeiten für die Durchführung von Kommissionier- und Prüftätigkeiten, sind die Wegzeiten zur Bestimmung der Kommissionierleistung erforderlich. Um die Kommissionierzeit pro Artikel zu ermitteln, die bei Anwendung einer Prüfstrategie erreicht wird, ist demnach die Information über die Wegzeit einzuholen, die bei der zu einem Datensatz gehörenden Kombination aus Zonung und Batchgröße anfällt. Diese werden vom ersten Teilschritt des Algorithmus übergeben.

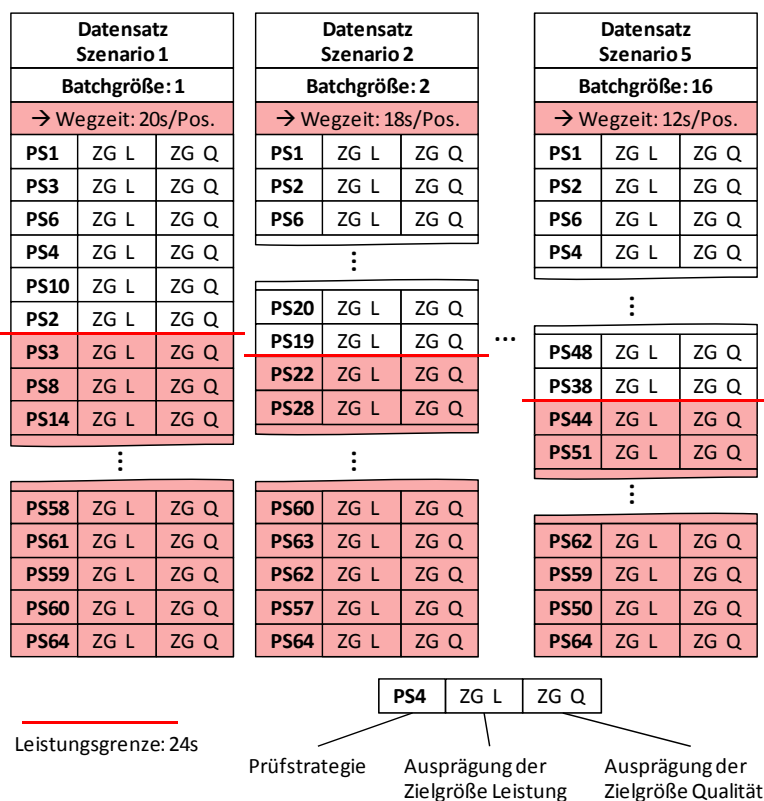


ABBILDUNG 8-6: DATENSÄTZE INKLUSIVE LEISTUNGSGRENZEN

Die Zeit, die für die Ausführung von Prüftätigkeiten zur Verfügung steht, divergiert also abhängig von der vorliegenden Kommissionierstrategie. So können zeitintensive Prüfstrategien angewendet werden, wenn die eingesetzten Kommissionierstrategien zu geringen Wegzeiten führen. Die Leistungsgrenze wirkt sich für jedes Szenario unterschiedlich aus. Im Abbildung 8-6 bleibt für Prüf- und Korrekturtätigkeiten in Szenario 1 ein Zeitfenster von 4s. In Szenario 5 stehen 12s zur Verfügung. Indessen ist zu berücksichtigen, dass eben die Kommissionierstrategien, die kurze Wegzeiten aufweisen, die Komplexität des Handlings von Kommissionierartikeln erhöhen und somit Fehler verursachen, deren Korrekturen einen Leistungsverlust bewirken. Dieser Leistungsverlust wiederum ist abhängig von der Prüfstrategie und fällt bei hoher Prüfintensität entsprechend stärker aus als bei geringer Prüfintensität, gewährleistet dafür aber eine höhere Kommissionierqualität. Es sind also vielschichtige Wechselwirkungen abzuwägen, die in den Algorithmus durch Berücksichtigung sämtlicher Kombinationsmöglichkeiten einfließen, wodurch die Identifikation der idealen Lösung sichergestellt wird.

4. *Auswahl der Prüfstrategie mit höchster Kommissionierqualität:* Die Datensätze der einzelnen Prüfstrategien beinhalten neben den Daten zur Kommissionierleistung auch Daten der Kommissionierqualität, die in Form von Durchschlupfraten vorliegen. Da nach der Streichung sämtlicher unzulässiger Prüfstrategien alle verbliebenen Prüfstrategien dem Kriterium der Kommissionierleistung genügen, ist vom Algorithmus diejenige Prüfstrategie zu identifizieren, die die höchste Kommissionierqualität, also den geringsten Fehlerdurchschlupf aufweist. Dabei sind sämtliche Datensätze nach dieser Strategie zu durchsuchen. Es wird also mit der Entscheidung für die Prüfstrategie auch die Entscheidung für die Kommissionierstrategien getroffen, die dem Datensatz der zu favorisierenden Prüfstrategie zugrunde liegen.

Abbildung 8-6 suggeriert, dass die qualitativ beste Lösung in dem „Datensatz Szenario 5“ zu finden ist, da hier die meiste Zeit für Prüftätigkeiten zur Verfügung steht und dementsprechend eine Prüfstrategie gewählt werden kann, die eine hohe Prüfintensität aufweist. Dies ist nicht zwangsläufig der Fall. Es ist durchaus denkbar, dass sich die ideale Kombination aus Kommissionier- und Prüfstrategie im „Datensatz Szenario 1“ wiederfindet. Zwar können hier keine umfangreichen Prüfungen aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Zeit durchgeführt werden, allerdings werden dank der einfachen Kommissioniersituation ohne Multi-Order-Picking weniger Fehler verursacht. Die bereits angesprochenen vielschichtigen Wechselwirkungen werden umfassend berücksichtigt, da die Methodik die Ergebnisse beider Simulationsmodelle integriert.

Durchlaufzeit als Restriktion

Die obigen Ausführungen beschränken sich darauf, die Auswahl der Prüfstrategie anhand einer Gesamt-Soll-Kommissionierleistung festzumachen. Liegen bezüglich einzelner Aufträge konkrete Anforderungen hinsichtlich einer zu erreichenden Durchlaufzeit vor, wird die Auswahlsituation erneut komplexer, da nunmehr drei Zielgrößen vorliegen (DLZ, Kommissionierleistung, Qualität).

Die Durchlaufzeit ist in entscheidendem Maße von der Batchgröße abhängig (vgl. Abschnitt 5.4.4) und steigt mit zunehmender Zahl parallel zu kommissionierender Aufträge. Folglich muss als weitere Eingangsgröße abhängig von der zu erreichenden Durchlaufzeit für jede Batchgröße separat die notwendige Kommissionierleistung bestimmt werden. D.h. es gibt nicht mehr länger eine gemeinsame Leistungsgrenze, sondern jeweils eine Leistungsgrenze für jede Batchgröße. Bei großer Batchgröße wäre die zu erbringende Leistung höher als bei niedriger Batchgröße. Vom bisher angenommenen Trend sinkender Wegzeiten bei mehreren parallel zu bearbeitenden Aufträgen kann nicht mehr ausgegangen werden. Systemabhängig kann sich der Trend sogar umkehren. An den Beispiel-Datensätzen kann sich dies wie folgt bemerkbar machen:

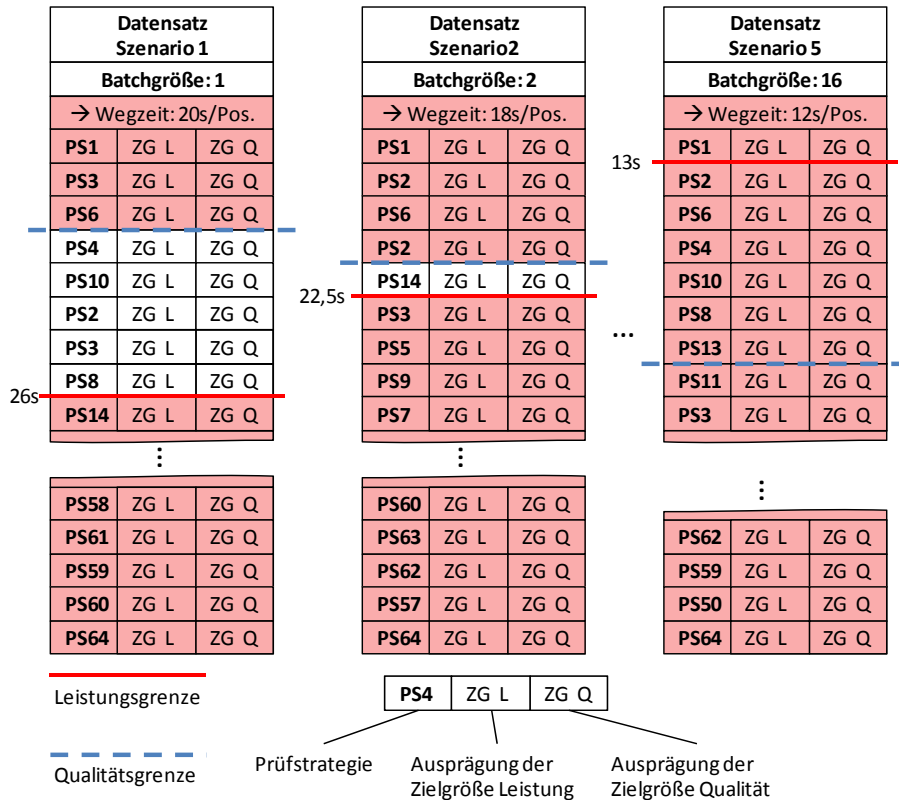


ABBILDUNG 8-7: DATENSÄTZE INKLUSIVE LEISTUNGSGRENZE UND QUALITÄTSGRENZE

Das Auswahlkriterium der Kommissionierqualität führt in diesem Beispiel dazu, dass die anzuwendende Prüfstrategie zwangsläufig in „Datensatz Szenario 1“ zu finden ist, da hier sowohl am wenigsten Fehler verursacht werden (keine Batch-Bildung), als auch die meiste Zeit zur Prüfung zur Verfügung steht (6s). In einem solchen Fall, bei dem die Durchlaufzeit die dominierende Restriktion darstellt, kann nun eine Mindestqualitätsgrenze eingeführt werden (vgl. Abschnitt 6.4.2), um die Zielgröße der Gesamtkommissionierleistung nicht zu vernachlässigen. Es ist also ein maximal tolerierbarer Fehlerdurchschlupf zu definieren und in jedem Datensatz als Grenze einzufügen (strichliert dargestellt, weil die Prüfstrategien nicht nach Qualität sortiert sind, also keine fixe Grenze ausgemacht werden kann, sondern ein Abgleich stattfinden muss). Zur Erzielung dieser Qualitätsgrenze, wird bei steigender Batchgröße ein größerer Prüfumfang erforderlich, da in dieser Situation mehr Fehler produziert werden. Die anzuwendende Prüfstrategie entspräche hier der Leistungsstärksten Prüfstrategie, die sowohl die durchlaufzeitabhängige Leistungs- als auch die Qualitätsgrenze einhält. Im Beispiel ist diese in „Datensatz Szenario 1“ oder „Datensatz Szenarion 2“ zu finden. In „Datensatz Szenario 5“ mit Batchgröße 16 liegt dagegen die Situation vor, dass bei sämtlichen Prüfstrategien, die eine ausreichende Leistung erzielen, die Mindestqualitätsanforderungen nicht eingehalten werden können. Angenommen Prüfstrategie 14 in „Datensatz Szenario 2“ ist hinsichtlich der Leistung sämtlichen Prüfstrategien aus „Datensatz Szenario 1“ überlegen, so wäre folglich die Batchgröße auf zwei parallel zu kommissionierende Aufträge festzulegen und diejenigen Prüfungen in den Prozess zu integrieren, die Prüfstrategie 14 entsprechen.

Nach Abarbeitung der vier Ablaufschritte sind sowohl die anzuwendende Prüfstrategie, als auch die zugehörige Batchgröße und damit der Satz anzuwendender Kommissionierstrategien ermittelt. Damit konnte auf Basis der Eingangswerte der Systemlast eine Strategiekombination gefunden werden, die eine situationsgerechte Integration von Prüfmethode in den Kommissionierprozess ermöglicht.

9 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

9.1 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines kennwertbasierten Auswahlalgorithmus für den situationsgerechten Einsatz von Kommissionier- und Prüfstrategien bei der auftragsweisen, manuellen Kommissionierung. Mit einem derartigen Auswahlalgorithmus soll die Steuerung von Kommissioniersystemen zukünftig in die Lage versetzt werden, flexibel auf veränderte Einflussgrößen zu reagieren und jeweils die aktuell beste Kombination von Kommissionier- und Prüfstrategien einzusetzen.

Die Leistung von Kommissionierstrategien wird im Wesentlichen durch die Einflussgrößen der Auftragsstruktur und des Systemlayouts bestimmt. Die Auftragsstruktur schwankt in vielen Branchen kurzfristig, während das Systemlayout nur durch mittelfristige Umstrukturierungen angepasst werden kann. Die Simulationsexperimente zur Leistungbestimmung der Kommissionierstrategien in Abhängigkeit der Einflussgrößen haben gezeigt, dass unabhängig von deren Ausprägung für jedes System eine allgemeine Handlungsempfehlung formuliert werden kann. Daraus hat sich ergeben, dass in jedem Fall Multi-Order-Picking mit maximal möglicher Batchgröße eingesetzt werden sollte. Die Kombination mit einer zusätzlichen Kommissionierstrategie führt darüber hinaus immer zu einer Leistungssteigerung. Obwohl Analysen der Steuerungssysteme der Industriepartner gezeigt haben, dass der kombinierte Einsatz von Kommissionierstrategien gängige Praxis ist, können Unternehmen die Auswirkungen nur grob abschätzen. Auch in der Forschung findet dieser Aspekt wenig Beachtung. Beispielsweise konnte bisher keine Aussage über die Leistungsverbesserung bei kombiniertem Einsatz von Multi-Order-Picking, einer Kürzesten-Wege-Strategie und dem Einsatz einer Lagerplatzzuordnung nach Zugriffshäufigkeiten getroffen werden. Für die Industriepartner waren die Ergebnisse der Simulationsexperimente hilfreich, da erstmalig Angaben zum Leistungsgewinn beim Einsatz einer bestimmten Strategiekombination getroffen werden können. Bei dem Einsatz von Strategiekombinationen ist zu beachten, dass abhängig von der Ausprägung der Einflussgrößen der Nutzen einer zusätzlichen Strategie und der Aufwand für deren Umsetzung in einem ungünstigen Verhältnis stehen können. Aus diesen Ergebnissen wurde ein kennzahlbasierter Auswahlalgorithmus entwickelt, der abhängig von aktuellen Einflussgrößen die beste Kombination von Kommissionierstrategien vorgibt.

Zusätzlich wurden Prüfstrategien mit in die Betrachtung einbezogen und der Zielkonflikt zwischen Leistung und Qualität bei der Implementierung von Prüftätigkeiten untersucht. Hierbei konnten die Auswirkungen genereller sowie systemlastabhängiger Einflussgrößen auf die Prüfstrategieauswahl verifiziert werden. Aufgrund der hohen Anzahl potentiell einsetzbarer Prüfstrategien, der vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen den Einflussgrößen und dem Vorliegen konkurrierender Zielgrößen, kann keine allgemeine Handlungsempfehlung gegeben werden. Die Ergebnisse konnten jedoch in den kennzahlbasierten Auswahlalgorithmus integriert werden, mit dessen Hilfe individuell für jedes System unter Beachtung der jeweils aktuellen Ausprägung der Einflussgrößen eine Empfehlung der einzusetzenden Kommissionier- und Prüfstrategien gegeben werden kann.

9.2 FAZIT

Die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass im Rahmen der auftragsweisen, manuellen Kommissionierung signifikante Einsparungen bei der Wegzeit durch Kommissionierstrategien möglich sind. Der kombinierte Einsatz verschiedener Kommissionierstrategien wurde in diesem Forschungsprojekt erstmalig systematisch untersucht. Als Ergebnis können die zu erwartenden Leistungsgewinne in Abhängigkeit der Einflussgrößen beziffert werden.

Die darüber hinaus gehende Betrachtung der Prüfstrategien und der resultierende Zielkonflikt zwischen Leistung und Qualität hat ein umfassendes Wirkmodell von Einflussgrößen, Kommissionier- und Prüfstrategien geliefert. Der aus diesen Erkenntnissen abgeleitete kennzahlbasierte Auswahlalgorithmus bildet die Basis für neue Steuerungssysteme in der manuellen, auftragsweisen Kommissionierung, die Kommissionier- und Prüfstrategien flexibel und situationsgerecht einsetzen. So werden Unternehmen in die Lage versetzt, allein durch eine Anpassung der Steuerungssoftware auf Systemlastschwankungen zu reagieren und damit unabhängig von Einflussgrößen einen effizienten und konkurrenzfähigen Betrieb zu sichern.

10 VERÖFFENTLICHUNGEN

- Pelka, M.; Zellerhoff, J.: Effiziente Kommissionierung durch kontinuierliche Strategieanpassung. In: Wolf-Kluthausen, H.: Jahrbuch der Logistik, Korschbroich, (2010) S.70-74.
- ten Hompel, M.; Zellerhoff, J. ; Pelka, M.: Strategien für eine flexible, auftragsweise Kommissionierung. In: Scheid, W.-M.: 5. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für technische Logistik (WGTL), Universitätsverlag Ilmenau, (2009) S. 319-330.
- Zellerhoff, J.; Pelka, M.: Mit flexiblen Strategien zu mehr Leistung – Forschungsprojekt deckt Verbesserungspotenziale manueller Kommissioniersysteme auf. In: Fördern + Heben, Nr. 3/2010, Vereinigte Fachverlage, S. 76.-78.

Eingereicht:

- Zellerhoff, J.: Simulation zur Bestimmung des Leistungsgewinns bei kombiniertem Einsatz mehrerer Kommissionierstrategien. 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik am 06.-08. Oktober 2010 in Karlsruhe
- Mathis, J.; Strothotte, D.: Flexibilität beim Einsatz von Prüfstrategien für unterschiedliche Varianten der Kommissionierung. 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik am 06.-08. Oktober 2010 in Karlsruhe
- Zellerhoff, J.; Pelka, M.: Kombination von Optimierungsmaßnahmen in manuellen Kommissioniersystemen – Leistungsgewinne und Gestaltungsprinzipien. 6. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL) am 29.-30. September 2010 in Hannover.

11 LITERATURVERZEICHNIS

- [AiF14368] AiF 14368 N: Optimierung von Kommissionierung und Verpackung durch geeignete Strategien für die Qualitätsprüfung unter Berücksichtigung der Retourenabwicklung (Endbericht).
- [AIK08] Arnold, D. (Hrsg.); Isermann, H. (Hrsg.); Kuhn, A. (Hrsg.) et al.: Handbuch der Logistik. 3. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 2008.
- [ArF09] Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. 6. Aufl. Heidelberg: Springer, 2009.
- [Arn06] Arnold, D.: Intralogistik. Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Berlin/Heidelberg: Springer, 2006.
- [Bar03] Bartholdi, J.: A routing System based on spacefilling Curves, thesis, 2003.
- [Ber98] Bernnat, R.: Strategien der Lagerplatzvergabe: Rationalisierungspotentiale im Kommissionierlager, Deutscher Universitäts-Verlag Wiesbaden, 1998.
- [BiS04] Bichler, K.; Schröter, N.: Praxisorientierte Logistik. 3. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer, 2004.
- [BoL06] Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2006.
- [CMP98] Caron, F.; Marcher, G.; Peregro, A.: Routing Policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. In: International Journal of Production Research Vol.36, No. 3, 1998.
- [Cor06] Corban, M.: Trendumfrage „Kommissioniertechnik“ bei internationalen Anbietern. In: FM - Das Logistikmagazin. Konradin, (2006) 3, S. 12-15.
- [CHL04] Corstack, H.-A.; Höfling, M.; Liangsiri, J.: Simulation in Quality Management – An Approach to Improve Inspection Planning, The proceeding of the 4th International Conference on Advanced Engineering Design, 5.-8. September 2004, ISBN 80-86059-41-3, Schottland.
- [Cro07] Crostack, H.A. (Hrsg.): Forderungsgerechte Auslegung von intralogistischen Systemen: 1. Kolloquium am 20. Februar 2007, Dortmund: Verlag Praxiswissen, 2007.
- [dKo99] De Koster, M.; Van der Poort, E.; Wolters, M.: Efficient orderbatching methods in warehouses. In: International Journal of Production Research Vol. 37, No. 7, 1999.
- [dKo06] De Koster, R.; Le-Duc, T.; Roodbergen, K.-J. : Design and control of warehouse order picking: A literature review. In: European Journal of Operational Research (2006), doi:10.1016/j.ejor.2006.07.009.
- [DLR04] Dyckhoff, H., Lackes, R., Reese, J.: Order Picking: A Survey of Planning Problems and Methods. Springer Verlag, 2004.

- [Dom97] Domschke, W.: Logistik – Rundreisen und Touren. 4. Auflage, München: Oldenbourg Verlag, 1997.
- [GGM06] Gu, J.; Goetschalckx, M.; McGinnis, F.: Research on warehouse operation: A comprehensive review. In: European Journal of Operational Research. Elsevier, 177 (2007) 1, S. 1-21.
- [GIF08] Gleißner, H.; Femerling, C.: Logistik, Wiesbaden: Gabler, 2008.
- [GiS92] Gibson, D.; Sharp, G.: Order batching procedures (1991). In: European Journal of Operational Research, 58, 1992.
- [GIM09] Gleißner, H.; Möller, K.: Fallstudien Logistik. Logistikwissen in der praktischen Anwendung. Wiesbaden: Gabler, 2009.
- [GoR90] Goetschalckx, M.; Ratliff, H. D.: Shared storage policies based on the duration stay of unit loads. In: Management Science Vol. 36, No. 9, 1990.
- [Gud05] Gudehus, T.: Logistik - Grundlagen, Strategien, Anwendungen. Springer, Berlin, 2005.
- [Hes63] Heskett, J. L.: Transportation and Distribution Management, 1963.
- [HKD09] Henn, S.; Koch, S.; Doerner, K.; Strauss, C.; Wäscher, G.: Metaheuristics for the Order batching Problem in Manual Order Picking Systems, 2009.
- [HSG76] Hausmann, W. H., Schwarz, L. B., Graves, S. C.: Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. In: Management Science Vol. 22, No. 6, 1976.
- [KrK06] Kreuzer, M.; Kühling, S.: Logik für Informatiker. Pearson Studium, 2006.
- [Liu99] Liu, C. – M.: Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. In: Computers & Operations Research, 26, 1999.
- [Lol03] Lolling, A.: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Aachen: Shaker, 2003 – zugl. Dissertation[Maa03]
Maas, A.: Raumbüllende Kurven, Seminararbeit TU München, 2003.
- [MaF08] Malmborg, C. J.; Fukunari, M.: A heuristic travel time model for random storage system using closest open location load dispatching. In: International Journal of Production Research Vol. 46, No. 8, 2008.
- [Mar09] Martin, H.: Transport- und Lagerlogistik. 7. Auflage, Wiesbaden: GWV Fachverlage, 2009.
- [Mer07] Mertens, P.: Integrierte Informationsverarbeitung. Operative Systeme in der Industrie. 16. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 2007.
- [MTM08a] MTM-1 Lehrgangsunterlagen. Dt. MTM-Vereinigung, Hamburg.
- [MTM08b] MTM-UAS Lehrgangsunterlagen. Dt. MTM-Vereinigung, Hamburg.
- [MTM08c] MTM-Logistikdaten Lehrgangsunterlagen. Dt. MTM-Vereinigung, Hamburg.
- [Noe06] Noe, M.: Projektbegleitendes Qualitätsmanagement. Der Weg zu besserem Projekterfolg. Erlangen: Publicis, 2006.

- [Pat07] Patil, V.: Methods for wave generation in an order picking warehouse, 2007
- [Pfe01] Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement – Strategien, Methoden, Techniken. 3. Aufl. München: Hanser, 2001.
- [Pul09] Pulverich, M.: Handbuch Kommissionierung. Effizient Picken und Packen. München: Vogel, 2009.
- [RaR83] Ratliff, H. D.; Rosenthal, A. S.: Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Travelling Salesman Problem. In: Operations Research Vol. 31, No. 3, 1983.
- [RdK00] Roodbergen, K. J.; De Koster, R.: Routing oder pickers in a warehouse with a middle aisle. In: European Journal of Operations Research 133, S. 32 – 43, 2000.
- [RdK01] Roodbergen, K. J.; De Koster, R.: Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. In: International Journal of Production Research 39(9), S. 1865 – 1883, 2001.
- [ReW00] Reschke, V.; Wäscher, G.: Local Search-Verfahren für die Lagerplatzvergabe in Mann-zur-Ware-Kommissioniersystemen. In: Logistik 2000plus: Herausforderungen, 2000.
- [Ros96] Rosenwein, M. B.: A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection. In: International Journal of Production Research Vol. 34, 3, S. 657 – 664, 1996.
- [Sac96] Saccomano, A.: How to pick picking technologies. In: Traffic World, 13 May 1996, S. 39-40
- [Sad07] Sadowsky, V.: Beitrag zur analytischen Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen. Dissertation, Universität Dortmund, 2007.
- [SwG83] Swain, A. D.; Guttmann, H. E.: Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications: Final Report – NUREG/CR-1278. Hrsg.: U.S. Nuclear Regulatory Commission. Washington D.C., 1983.
- [tHS07] ten Hompel, M.; Schmidt, T.; Nagel, L.: Materialflusssysteme. 3. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 2007.
- [tHo08] ten Hompel, M.; Heidenblut, V.: Taschenlexikon Logistik. Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik. 2. Aufl. Berlin: Springer, 2008
- [vOT88] van Oudheusden, D. L.; Tzen, Y. – J. J.; Ko, H. – T.: Improving Storage and order picking in a person-on-board as/r system: a case study. In: Engineering Coasts and Production Economies, 13, 1988.
- [Wes01] Wesselmann, J.: Benchmarking für manuelle Kommissioniersysteme – Ergebnisse einer Studie. Vortrag auf dem Kommissionierforum, 2001.