

# **Vergleich von Distributionssystemen unter dynamischen Gesichtspunkten durch Anwendung der Simulationstechnik**

Prof. Dr.-Ing. B. Noche  
Universität Duisburg-Essen

## **1. Einleitung**

Die Planung von Distributionssystemen ist eine kreative Aufgabe, die – je nach Blickwinkel – zu sehr unterschiedlichen Systemlösungen führen kann. Ausgehend von einem Anforderungsprofil, das beispielsweise das Artikelsortiment, Auftragsstrukturen und Bevorratungsvorgaben enthält, werden üblicherweise verschiedene Systemlösungen und Planungsvarianten ausgearbeitet. Es stellt sich jedoch häufig die Frage, welches der Konzepte die jeweils beste Lösung repräsentiert. Kriterien wie Betriebs- und Investitionskosten sind recht schnell ermittelt – aber Kriterien wie Servicelevel, Flexibilität und Steuerbarkeit lassen sich nur durch weitere Methoden, wie die Simulationstechnik, überprüfen.

Der Vortrag befasst sich mit der Ausschreibung für den Bau und den Betrieb eines Distributionszentrums. Als Reaktion auf eine Ausschreibung wurden mehrere sehr unterschiedliche Lösungsvarianten eingereicht: Hochautomatisierte Lager- und Kommissioniersysteme, manuelle großflächige Lagersysteme, differenzierte Lagerkonzepte mit unterschiedlicher Technik, Pick by Light-Konzepte konkurrieren mit klassischen Fachbodenkommissionierungen.

Die verschiedenen Distributionskonzepte wurden mit Hilfe der Simulationstechnik bewertet und verglichen. Die Simulationsmodelle sollten nicht nur den reinen Materialfluss bewerten, sondern auch Dispositionsstrategien abbilden, um Kennzahlen bereitstellen zu können, die beispielsweise die Sicherheit der Tourenbelieferung betreffen, die Auslastung des Personals, den Flächenbedarf in der Konsolidierung, die Durchlaufzeit der Kommissionieraufträge usw. Wesentliche Bestandteile der Modelle

sind: Lagerort der Artikel (inkl. Lagertechnik), Kommissioniersystem, Konsolidierung, Verpackung sowie Wareneingang und –ausgang.

## **2. Ausgangssituation**

Für einen Elektrogerätehersteller sollte ein neues Distributionslager erstellt werden. Gelagert werden ca. 25.000 Artikel. Davon sind etwa 10 % Zubehör (kleinere Artikel) und 90 % fertige Geräte. Im Rahmen eines Ideenwettbewerbs wurden verschiedene Lieferanten gebeten, Lösungsvorschläge einzureichen und anzubieten.

Allen Lieferanten wurden die gleichen Informationen in einem Lastenheft zugesandt. Auf der Basis dieser Daten wurden diverse Vorschläge erarbeitet und Angebote eingereicht. In das endgültige Auswahlverfahren wurden insgesamt vier verschiedene Konzepte einbezogen. Auf den ersten Blick erfüllten alle vier Konzepte die gestellten Aufgaben wie:

- Lagerung von Fertigware (Zubehör und Geräte)
  - Kommissionierung von Geräten
  - Kommissionierung von Zubehör
  - Konsolidierung von Kommissionen
  - Verpackung und Versand
- sowie
- Wareneingang von Zubehör und Geräten
  - Einlagerung der Artikel
  - Nachschuborganisation der Kommissionierung

Interessant ist jedoch die Tatsache, dass alle vier Bieter äußerst unterschiedliche Lösungsansätze entwickelten. Alle Lösungsvorschläge entsprechen dem aktuellen Stand der Technik und zeigen auf, dass die Bieter eine hohe Lösungskompetenz aufweisen und völlig zu Recht in die letzte Phase des Bieterverfahrens mit aufgenommen wurden.

### 3. Konzepte

Die Konzepte kann man im Hinblick auf den Automatisierungsgrad unterscheiden:

#### **Automatisches Lösungskonzept (Bild 1)**

Das Artikelsortiment wird nach Groß- und Kleinteilen aufgeteilt, wobei die Grenzen durchaus fließend sein können.

Große Artikel werden in einem Regallager gelagert, wobei das Layout abwechselnd aus einem Kommissioniergang und einem Nachschubgang besteht. Über eine Behälterfördertechnik werden Behälter zu den einzelnen Kommissionierplätzen gebracht und ausgeschleust. Ein Kommissionierer stellt die entsprechenden Artikel zusammen, belädt den Behälter und schickt ihn wieder auf die Reise. Auf diese Weise „besucht“ der Behälter nacheinander alle Kommissioniergänge bis sein maximales Füllvolumen erreicht ist. Anschließend wird er in einem automatischen Karusselllager zwischengepuffert.

Kleinteile werden in einem Fachbodenlager gelagert. Ein Kommissionierer läuft mit einem Wagen, auf dem bis zu 8 Behälter untergebracht sind, durch die Gänge und sammelt die Kleinteile kundenbezogen in den einzelnen Behältern. Am Ende einer Tour werden die Behälter an ein Förderband übergeben und gelangen ebenfalls zur Konsolidierung. Sobald alle kommissionierten Artikel im Karusselllager angekommen sind, wird die Verpackung angestoßen. Die Behälter werden über einen Sorter ausgelagert und einem Verpackungsplatz zugeführt – von dort aus gelangen die Artikel in den Versand.

Im Versand treffen die verpackten Artikel mit Ganzpaletten aus der Großpackerei zusammen, so dass sichergestellt ist, dass alle Bestellpositionen eines Kunden auch tatsächlich gleichzeitig beim Kunden eintreffen.

Im Wareneingang werden verschiedene Artikel unter Umständen gemeinsam auf einer Palette angeliefert. Nach einer Wareneingangskontrolle werden die Paletten zerlegt und die Artikel ihren jeweiligen Lagerplätzen (Regallager bzw. Kleinteilelager) zugeführt. Für Schnellläufer ist ein Cross-docking vorgesehen, so dass diese Artikel als Rampendreher direkt vom Wareneingang zum Warenausgang gebracht werden.

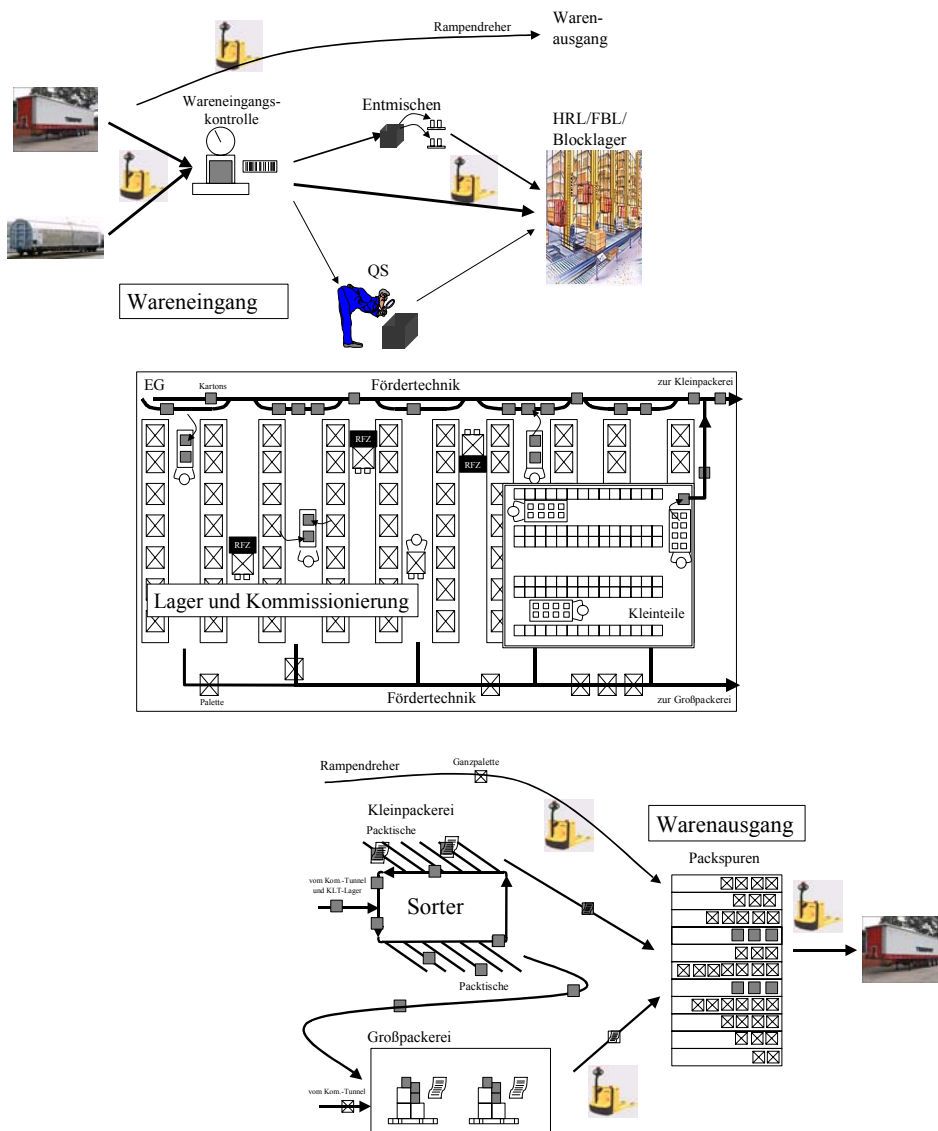


Bild 1: Automatisches Distributionskonzept

### Manuelle Kommissionierung mit Pick by Light (Bild 2)

Der Grundgedanke dieser Variante besteht ebenfalls in der Unterscheidung zwischen Groß- und Kleinteilen, wobei für die jeweilige Artikelgruppe eine weitere Aufteilung der Funktionen vorgenommen wurde.

Die Kommissionierung der Großteile erfolgt via Gabelhubwagen oder Wagen – je nach zu kommissionierendem Volumen. Das Kommissionierlager ist als Regallager aufgebaut, wobei auf der oberen Ebene in den Regalen der Nachschub für die Kommissionierebene gelagert wird. Alle Artikel, die nicht mehr in das

Kommissionierlager passen (Geräte und Zubehör), werden in einem Reservelager zwischengespeichert.

Die Großteile werden, sobald sie kommissioniert wurden, in die Großpackerei gebracht und danach auf Packspuren im Versand bereitgestellt.

Die Kleinteile werden ebenfalls in zwei verschiedenen Lagerbereichen verwaltet. Die Kommissionierung der B- und C-Teile erfolgt über einen Kommissionierwagen. Nach der Tour übergibt der Picker die Behälter einer „Pick by Light“-Anlage für die Zuführung der A-Teile. Anschließend werden die Behälter in die Kleinpackerei gebracht und im Versand zu den Großteilen gestellt.

Schon im Wareneingang werden artikelreine Paletten von den übrigen Paletten getrennt. Artikelreine Paletten sind für das Reservelager bestimmt – vorausgesetzt, im Nachschubbereich des Kommissionierlagers ist kein Bedarf für Nachschubware angemeldet. Das Entpacken der Kleinteile und die Aufteilung der Teile auf die entsprechenden Lagerbereiche im Kleinteilelager erfolgt ebenfalls im Wareneingang.

### **Manuelle Kommissionierung mit Ware zum Mann (Bild 3)**

Diese Variante zeichnet sich durch eine klare Gliederung von A- bzw. B- und C-Artikeln im Großteilebereich aus. Die prinzipielle Idee besteht in der Durchführung einer manuellen Kommissionierung im Schnelldreher-Bereich während die B- und C-Artikel mit einem „Ware zum Mann“-Prinzip über eine konventionelle Lagertechnik mit Regalbediengeräten einzelnen Kommissionierplätzen zugeführt werden.

Die Kleinteile sind in einem Fachbodenbereich untergebracht und werden getrennt kommissioniert. In der Packerei erfolgt in getrennten Packbereichen (Kleinteile, Großpackerei) die Verpackung der Artikel mit anschließender Bereitstellung in den entsprechenden Packbahnen.

Da das Hochregallager auch als Reservelager für die Schnelldreher dient, wird die Ware aus dem Wareneingang direkt in das Hochregallager geschickt.

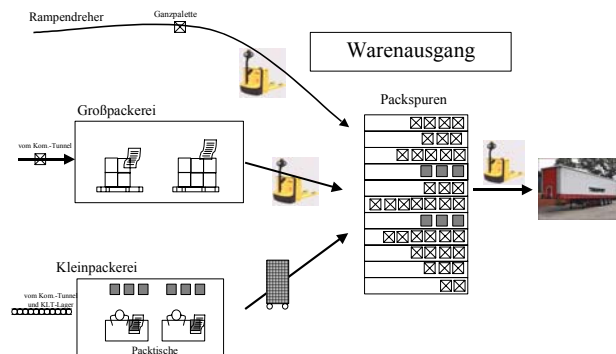
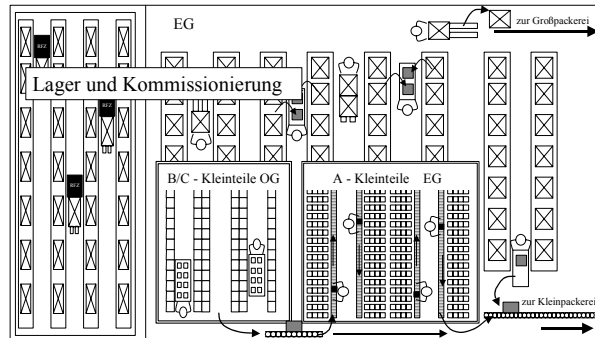
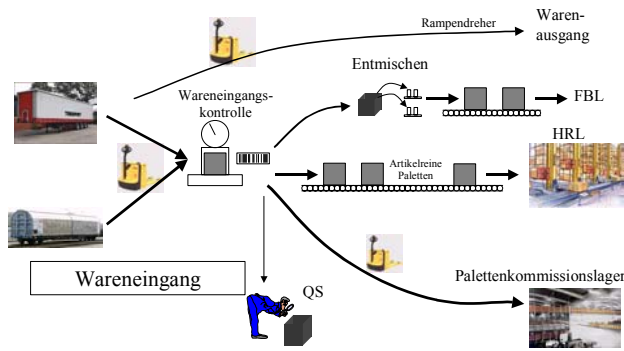


Bild 2: Manuelle Kommissionierung Pick by Light

### Manuelle Kommissionierung (Bild 4)

In dieser Variante wird auf den Einsatz automatischer Komponenten weitgehend verzichtet. Unterschieden wird bei der Lagerung und Kommissionierung lediglich zwischen Groß- und Kleinteilen. Die Großteile sind in zwei verschiedenen Lagerbereichen untergebracht: In einem kompakten Durchlauflager für Super-A-Teile (sehr schnell drehende Teile) und einem konventionellen Regallager für die restlichen Großteile.

An einem Übergabepunkt erfolgt die Zuordnung zur Klein- und Großpackerei und zur anschließenden Bereitstellung auf den Packspuren. Im Wareneingang erfolgt die Trennung der Artikel für ihren jeweiligen Lagerbereich.

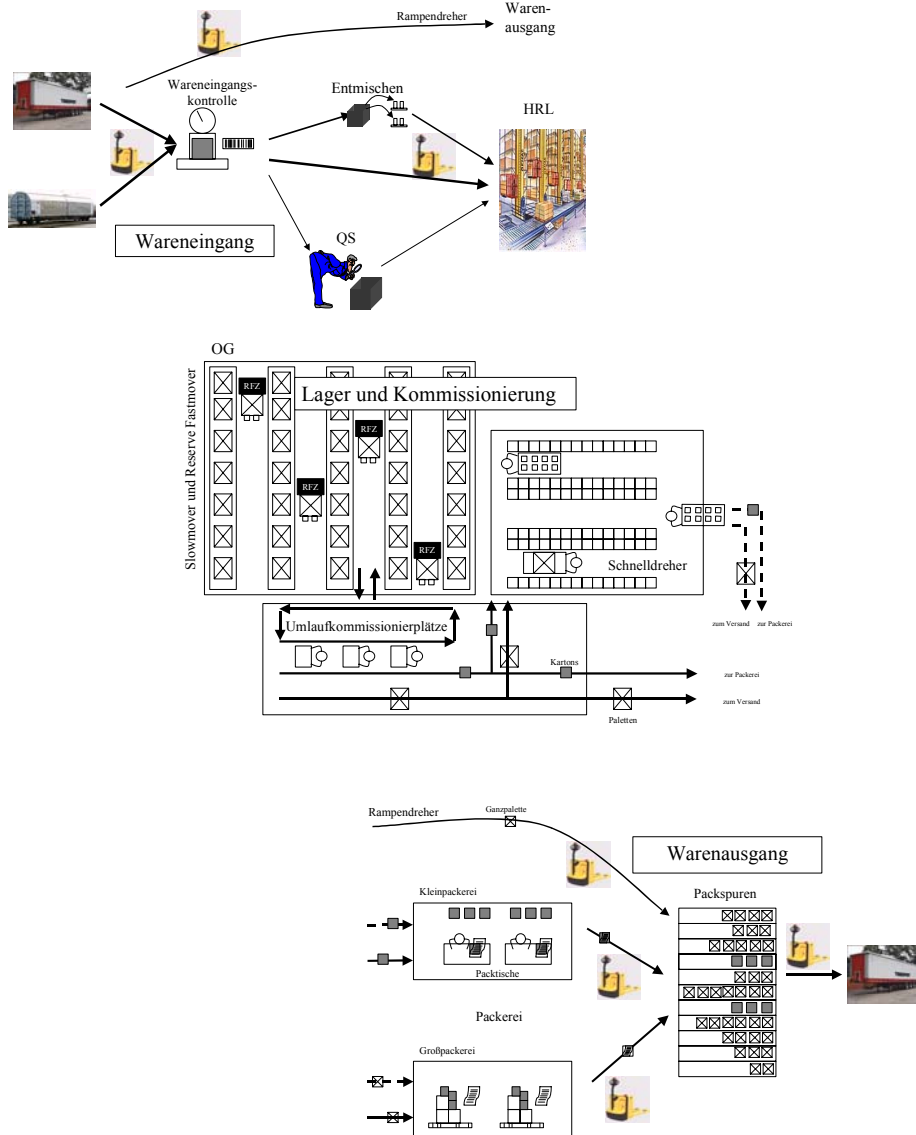


Bild 3: Manuelle Kommissionierung mit „Ware zum Mann“-Prinzip

#### 4. Daten für die Simulation

Um die verschiedenen Konzepte miteinander vergleichen zu können, wurden Simulationsmodelle aufgebaut. Für diese Modelle wurden insbesondere folgende Daten benötigt:

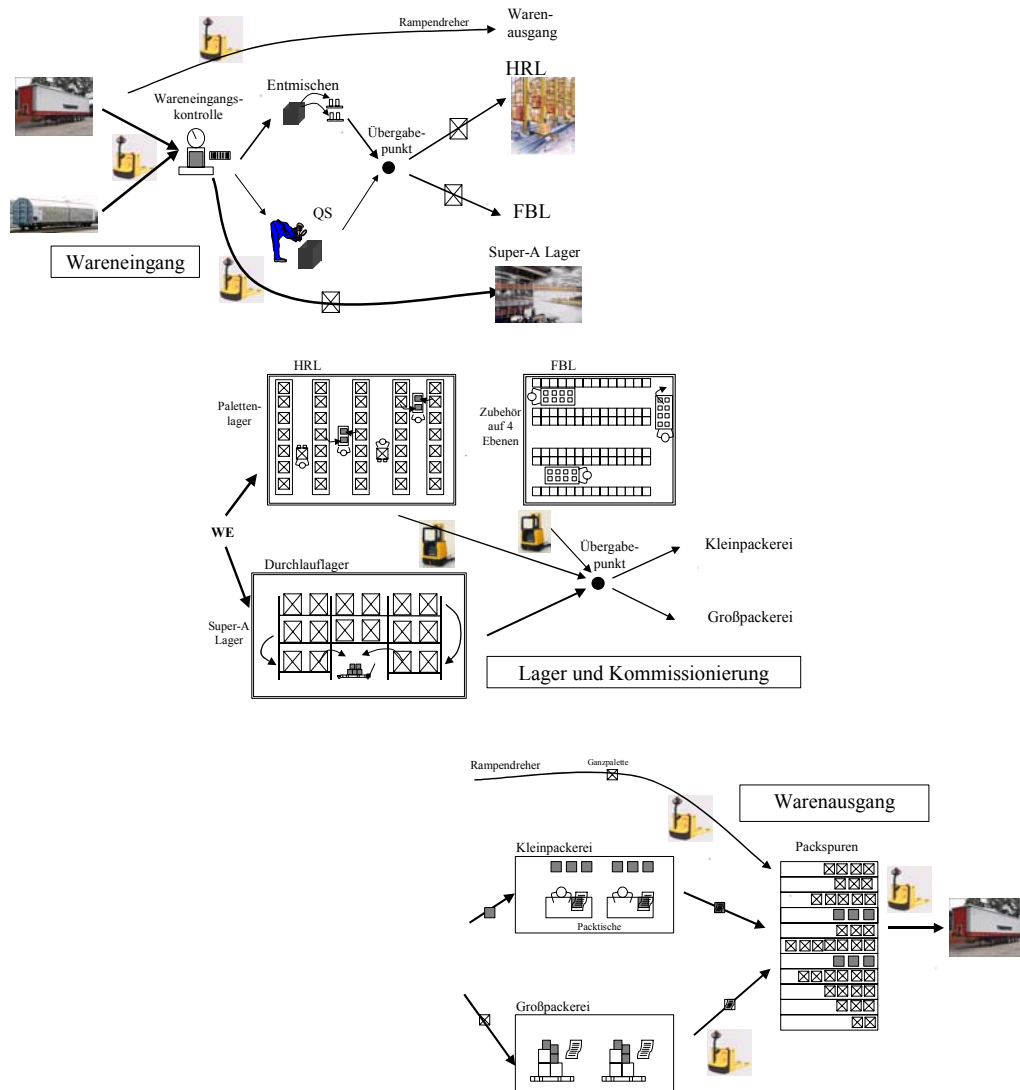


Bild 4: Manuelle Kommissionierung

- Systemlast  
Auftragsdaten bestehend aus Pickpositionen
- Konfiguration des Systems  
Layout der Planungsalternativen mit Kapazitäten und Artikelverteilung auf die Lagerbereiche
- Organisationsstruktur  
Werkerorganisation und Schichtmodelle sowie Tourentabelle
- Ablaufsteuerung  
Durchlauf der Pickaufträge durch das System und Synchronisierung der



Teilaufträge in der Konsolidierung bzw. auf den Packbahnen

- Technik

Technische Parameter wie Geschwindigkeiten, Kapazitäten und lokale Steuerungen

Auf den folgenden Bildern sind einige der Daten dargestellt:

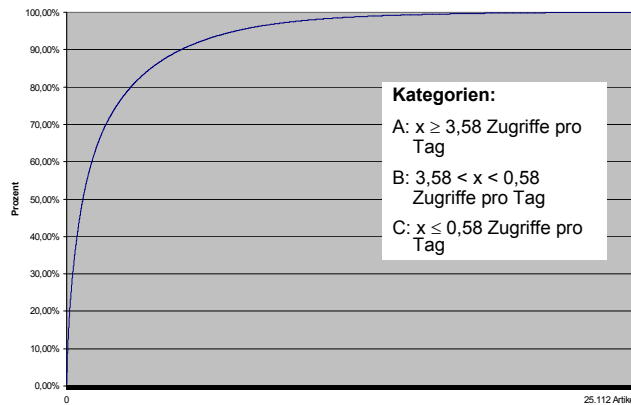


Bild 5: Zugriffshäufigkeiten auf die Artikel

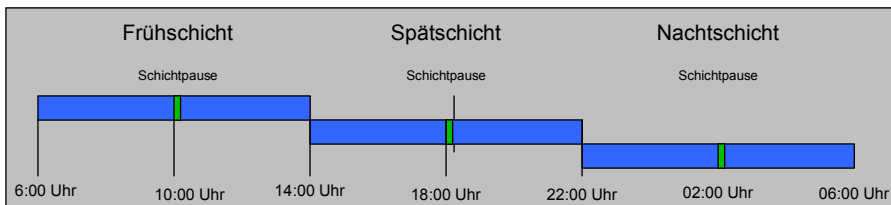


Bild 6: Schichtmodell

<b>Route Deutschland</b>	Cut-Off: 19:00 Uhr
<b>Route Frankreich</b>	Cut-Off: 17:00 Uhr
<b>Route Spanien (Süd)</b>	Cut-Off: 14:00 Uhr
<b>Route Niederlande (Benelux)</b>	Cut-Off: 19:00 Uhr
<b>Route Italien</b>	Cut-Off: 15:00 Uhr
<b>Route Österreich</b>	Cut-Off: 17:00 Uhr

Bild 7: Tourentabelle

Über eine ABC-Analyse werden Zugriffshäufigkeiten auf einzelne Artikel ermittelt (Bild 5). Die Aufteilung des Schichtmodells ist aus Bild 6 ersichtlich, die Tourentabelle ist beispielhaft in Bild 7 dargestellt. In der Kommissionierstrategie wird der Tourenfahrplan berücksichtigt. Die entferntesten Zielorte werden zunächst kommissioniert, wobei gleichzeitig die Kommissionsaufträge tourenrein zugeordnet werden. Damit ist sichergestellt, dass einzelne Touren verschoben werden können.

## **5. Simulationsergebnisse**

Die Simulationsergebnisse liefern eine Fülle von Daten, die das dynamische Verhalten des jeweiligen Distributionssystems beschreiben. Die Statistiken beziehen sich auf die Durchlaufzeiten, stellen die Auslastung des Personals und der Regalbediengeräte dar. Im folgenden wird nun das manuelle Kommissionierkonzept (Bild) mit Pick by Light etwas detaillierter erläutert. Das Bild 8 stellt exemplarisch die Einlastung der Kommissionieraufträge auf das Pick by Light-System an drei verschiedenen Tagen dar. Es fällt auf, dass die Auslastung in den einzelnen Stunden sehr stark schwankt, obwohl die einzelnen Tage sehr ähnlich verlaufen. In der ersten Stunde laufen praktisch nur reine A-Artikel durch das System, die B- und C-Artikel werden im entsprechenden Bereich noch kommissioniert. Über den Tag hinweg werden die A-Artikel dynamisch bewegt, gegen Ende des Tages liegen relativ viele Aufträge mit B- und C-Artikeln vor. Diese Schiefe in der Bevorzugung der A-Artikel wirkt sich auf die Dimensionierung der Konsolidierungsfläche und die Durchlaufzeit der Lieferscheine aus (Bild 9). Die Kommissionieraufträge sind bis zu 10 h im System, wobei die mittlere Durchlaufzeit bei etwa 100 Minuten liegt. Die meisten Aufträge liegen bei einer Durchlaufzeit zwischen 30 Minuten und 4 h. Aus der breiten Streuung der Durchlaufzeiten lässt sich ableiten, dass im System verschiedene begrenzende Faktoren zusammenwirken müssen.

In Bild 10 ist exemplarisch die WerkerAuslastung im Pick by Light-Bereich dargestellt. Es fällt auf, dass regelmäßig die Auslastung in einzelnen Schichten einbricht, dass andererseits aber auch eine relativ hohe Auslastung des eingesetzten Personals gewährleistet werden kann.

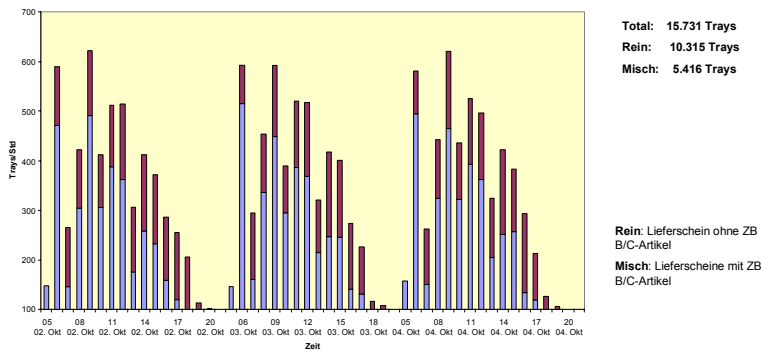


Bild 8: Einlastung der Kommissionieraufträge auf das Pick by Light-System

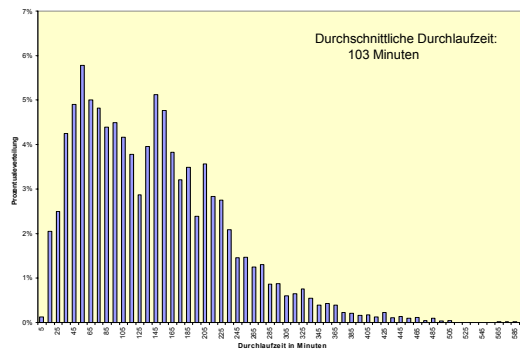


Bild 9: Zeitbedarf der Lieferscheine (Durchlaufzeit)

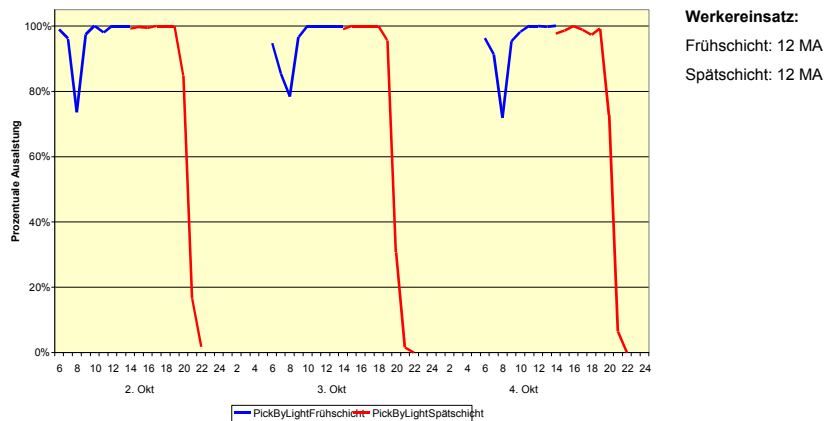


Bild 10: Werker auslastung in der Pick by Light-Anlage

Die Belegung der Konsolidierungsfläche ist in Bild 11 für drei verschiedene Tage dargestellt. Über den Tag hinweg baut sich ein Bestand an offenen Positionen auf. D. h., im Warengangsbereich befinden sich bis zu knapp 350 offene Lieferscheine

(Kunden), für die noch Positionen kommissioniert werden. Schön zu sehen ist auch, dass alle drei Tage nahezu gleichzeitig beendet werden müssen. Damit kann gezeigt werden, dass es keine wandernden Engpässe gibt und dass sich das Distributionssystem sehr stabil verhält.

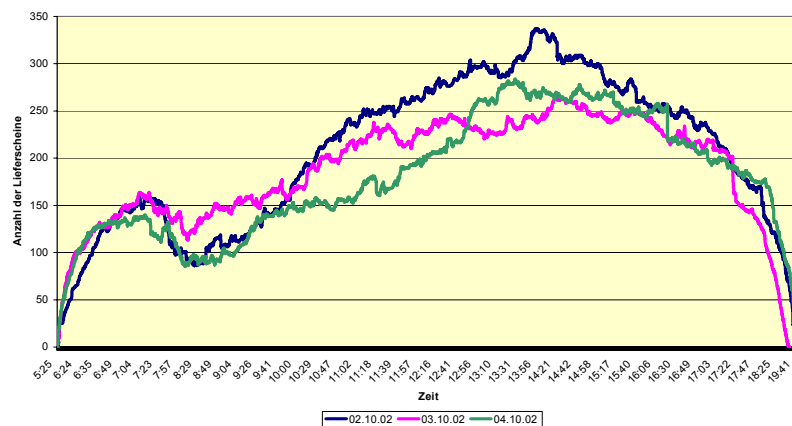


Bild 11: Belegung der Konsolidierung

## 6. Vergleichende Bewertungen

Das Design der verschiedenen Lösungsvarianten für die gestellte Distributionsaufgabe enthält den Versuch, die verschiedenen Bereiche auszubalancieren und die Automatisierung und organisatorischen Konzepte so auszurichten, dass die Kommissionierer möglichst effizient eingesetzt werden können. Das bedeutet, dass die Werker möglichst kontinuierlich gut ausgelastet werden bei gleichzeitig hoher Pickleistung. D. h., es wird angestrebt, die Picker möglichst viel greifen zu lassen bei kurzen Wegstrecken.

Zu den einzelnen Systemen ergeben sich folgende Anmerkungen:

### Automatisches Distributionskonzept

Die Behälterförderanlage, die für die Gerätekommissionierung vorgesehen ist, schleust jeweils einzelne Behälter in den zugeordneten Kommissioniergängen aus. Es zeigt sich, dass dabei immer wieder einzelne Kommissioniergassen überlastet werden und andere

in einzelnen Stunden relativ hohe Wartezeitanteile aufweisen. Auch durch verschiedene Artikelverteilungen in den Gassen ist das Problem nicht besonders gut beherrschbar. Durch die Über- und Unterlastungen kommt es im Konsolidierungsbereich zu einem recht großen Pufferplatzbedarf, da viele Lieferscheinpositionen lange offen bleiben, bis sie zur Packerei weitergeleitet werden können. Die Kommissionierung der Kleinteile im Fachbodenbereich wird manuell durchgeführt. Durch die Entkopplung der Bereiche ist eine Synchronisierung der Lieferscheine nur schwer möglich. Insgesamt wird der sehr hohe Technikeinsatz nicht belohnt, da sich immer wieder Engpässe in der Fördertechnik ergeben, die durch Zufälligkeiten in der Auftragsstruktur bedingt sind.

### **Manuelle Kommissionierung mit Pick by Light**

Der Aufbau des Kommissioniersystems für Großteile bei einer Zerlegung der Lagerfunktionen in einen Reserve- und einen Kommissionierlagerbereich führt zu einem Konzept, in dem die Kommissionierer nur relativ kurze Wege zurücklegen müssen. Ungünstig ist insbesondere das Zusammenspiel von Reserve- und Nachschuborganisation. Bei konsequenter Umsetzung der Grundidee müsste ein leerer Kommissionierplatz aus dem Nachschubbereich des Kommissionierlagers versorgt werden, anschließend muss dann aus dem Reservelager eine Palette in den Nachschubbereich gebracht werden. Die Automatisierung im Zubehörbereich durch eine kleine Pick by Light-Anlage erweist sich als sehr leistungsfähig, da sie durch die vorgelagerten B- und C-Artikelkommissionierung kompakt gehalten werden kann. Andererseits wird durch die Zweistufigkeit im Zubehörbereich die Durchlaufzeit dieser Artikel erhöht.

### **Manuelle Kommissionierung mit Ware zum Mann**

Diese Gestaltungsvariante ist eine besonders konsequente Umsetzung der Idee, dass schnelldrehende Ware (sowohl Geräte als auch Zubehör) manuell kommissioniert werden soll, während B- und C-Artikel in einer Ware zum Mann-Kommissionierung abgewickelt werden. Es zeigt sich jedoch, dass die Auslagerung der Paletten aus dem Hochregallager insgesamt sehr träge erfolgt. Einerseits müssen die Paletten in einer bestimmten Reihenfolge ausgelagert werden, andererseits kann es passieren, dass die Kommissionierer ihre Tätigkeit in wenigen Sekunden durchführen (Kleinteile).

Dadurch kann es zum Abriss der Versorgung aus dem Hochregallager kommen. Durch die Bremse im Hochregallager kommt es zu einem sehr großen Pufferplatzbedarf im Konsolidierungsbereich.

### **Manuelle Kommissionierung**

Das manuelle Konzept besteht im wesentlichen aus drei unabhängig voneinander operierenden Kommissionierbereichen: Dem Super A-Bereich, den A-, B- und C-Kommissionierbereich und dem Fachbodenlager. Da viele Artikel im Großteilebereich gelagert werden, müssen die Kommissionierer relativ lange Wege zurücklegen, um Ware zu kommissionieren. Dies wird durch die besonders effiziente Gestaltung des Super A-Bereichs nicht aufgewogen. Durch die Notwendigkeit, drei verschiedene Lagerbereiche miteinander zu synchronisieren, entsteht ein großer Pufferplatzbedarf in der Konsolidierung mit hohen mittleren Durchlaufzeiten.

Die verschiedenen Konzepte haben alle Vor- und Nachteile. Für die automatisierten Lösungen spricht der niedrige Personalbedarf, für die manuellen Lösungen spricht die Flexibilität bei großen Auftragschwankungen. Kombinierte manuelle und automatische Konzepte sind dabei im Vorteil, da sie die Investitionsausgaben klein halten bei gleichzeitiger Flexibilität in der Personaldisposition. Durch die Verbindung von sequentieller und paralleler Kommissionierung ergeben sich Vorteile, die sich auf die Durchlaufzeiten und Konsolidierungspuffer auswirken.

## **7. Zusammenfassung**

Die Gegenüberstellung der fünf verschiedenen Konzepte ergab große Überraschungen. Es zeigt sich insbesondere, dass

- fast alle Konzepte die ausgeschriebenen Anforderungen zunächst nicht erfüllen konnten
- Systemlösungen eingerichtet worden sind, die bei genauerer Betrachtung große Planungslücken aufwiesen
- scheinbar gute Systemlösungsansätze technisch nicht umsetzbar waren

- die Flexibilität bei der Disposition einen entscheidenden Einfluss auf den effizienten Betrieb der Systeme hat
- zu viele verschiedene Lagersysteme nur sehr schlecht koordiniert werden können
- sowohl automatisierte als auch manuelle Systemlösungen gravierende Nachteile mit sich bringen

Die Simulationstechnik hat sich als äußerst hilfreiches Instrument erwiesen, da es bei der Bewertung der Konzepte objektive Kriterien bereitgestellt hat, die nicht mal eben wegdiskutiert werden können. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass alle Lieferanten durch Hinweise auf Schwachstellen ihre Lösungsansätze teilweise erheblich verbessern konnten.

Durch die Simulationsmodelle wurde sichergestellt, dass alle Lieferanten ein vergleichbares Systemkonzept anboten – die erheblichen Preisdifferenzen konnten auf ihre eigentlichen Ursachen zurückgeführt werden.

Aus planerischer Sicht ergeben sich eine Reihe von Hinweisen, wo die prinzipiellen Stärken und Schwächen der Lager- und Kommissioniertechniken liegen, wenn sie im Verbund mit weiteren Systemen betrieben werden müssen.