

# Leistungsberechnung der Kommissionierung

## 1. Einleitung

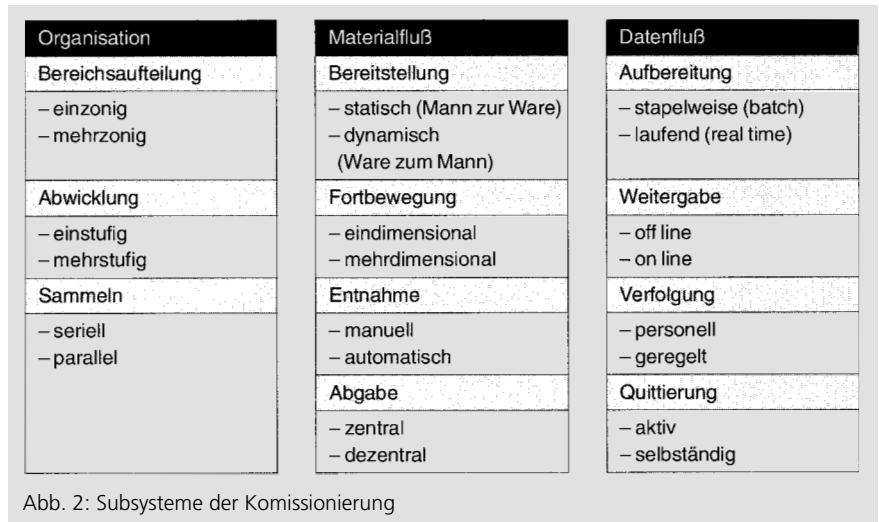
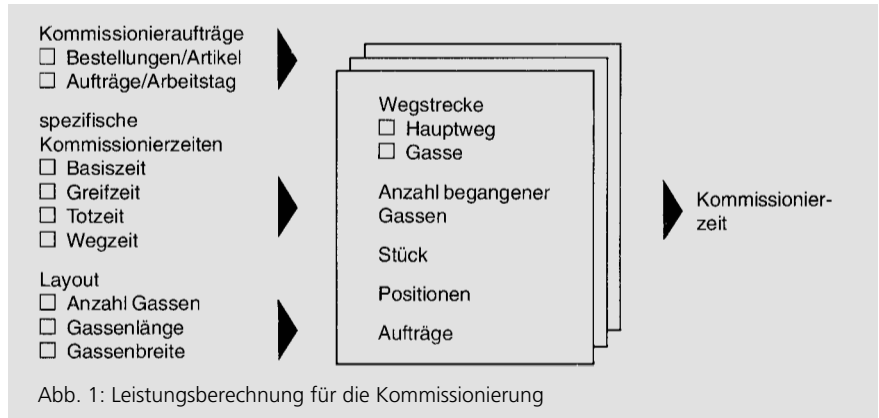
Im Rahmen der betrieblichen Warenverteilung stellt die Kommissionierung ein Bindeglied in der Kette des Warenflusses von der Produktion bis hin zum Kunden dar. Während die Lager- und Transporteinrichtungen weitgehend mechanisiert oder automatisiert sind, erfolgt die Kommissionierung meistens noch manuell mit hohem Personaleinsatz. Die Ausschöpfung des vorhandenen Rationalisierungspotentials setzt die Leistungsberechnung für die Kommissionierung voraus; ein Problem, welches sich der manuellen Berechnung entzieht.

Das gemeinsam mit der Universität Dortmund entwickelte Berechnungsmodell dient der Bewertung von Kommissioniersystemen als Entscheidungshilfe. Dazu sind die Eingaben der unternehmensspezifischen Daten für die Kommissionieraufträge, die spezifischen Kommissionierzeiten und das Layout erforderlich. Das Ergebnis des Modells ist die Kommissionierzeit (s. Abb. 1).

## 2. Das Kommissioniersystem

Nach VDI 3590 Blatt 1 wird das Kommissionieren wie folgt definiert: „Kommissionieren ist das Zusammenstellen von bestimmten Teilmengen (Artikel) aus einer bereitgestellten Gesamtmenge (Sortiment) aufgrund von Bedarfsinformationen. Dabei findet eine Umformung eines lagerspezifischen in einen verbrauchsspezifischen Zustand statt.“

Jedes Kommissioniersystem setzt sich aus den Komponenten Materialfluß, Datenfluß und Organisation zusammen und jede dieser Komponenten weist wiederum eine Vielzahl von Ausprägungsformen auf, die nahezu beliebig kombiniert werden können (vgl. Abb. 2).



## 2.1 Der Materialfluß

Allein der Materialfluß beim Kommissionieren weist 16 mögliche elementare Kommissioniersystemtypen auf, indem die Ausprägungen der Grundfunktionen „Bereitstellung“, „Entnahme“, „Fortbewegung“ und „Abgabe“ miteinander kombiniert werden ( $4^2 = 16$ ). (s. Abb. 3)

## 2.2 Die Organisation

Die Grundfunktionen der Organisation sind: Das Aufteilen, das Abwickeln und das Sammeln.

Aufteilen ist eine Funktion der Aufbauorganisation. Hierbei wird ein komplexes Kommissioniersystem, falls erforderlich, in mehrere Zonen unter-





Die Hauptwegezeit entspricht dem Zeitraum für die zurückgelegte Wegstrecke zwischen den jeweiligen Gassen.

Entscheidend für die Berechnung der Hauptwegelänge ist die Ermittlung der letzten, zu begehenden Gasse. Unter der Voraussetzung, daß alle Gassen innerhalb des Lagers von dem Kommissionierer gleich häufig betreten werden, ergibt sich mit Hilfe der Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung folgende allgemeingültige Beziehung:

$$LG = 1 + \sum_{i=1}^{G-1} (1 - (i/G)^A)$$

Zusammen mit den Angaben zum Lagerlayout berechnet sich die Hauptweglänge durch die Formel:

$$HWL = 2 * (0,5 * GB + RB + (LG - 1) * ZA + ZW$$

Die einzelnen Hauptweganteile sind zur Veranschaulichung in Abb. 5 dargestellt.

Beschreibung der einzelnen Terme:

- (1): ZW entspricht der Wegstrecke vom X-Punkt zum Punkt der Auftragsentgegennahme. Diese Wegstrecke ist vorhanden, wenn der X-Punkt nicht die Stelle ist, wo der Auftrag entgegengenommen wird.
  - (2):  $0,5 * GB + RB$  entspricht der Hauptwegstrecke vom X-Punkt bis zu dem Punkt, wo der Kommissionierer die erste Gasse betritt.
  - (3):  $(LG - 1) * ZA$  entspricht der Hauptwegstrecke von der ersten bis zur letzten zu betretenden Gasse. Der Zeilenabstand ZA berechnet sich aus:  $ZA = 2 * RB + GB$ .
- $2 * (...)$ : berücksichtigt, daß sich die Hauptweglänge aus Hin- und Rückweg zusammensetzt.

Die Hauptwegezeit berechnet sich durch die Formel:

$$t_{\text{Hauptweg}} = HWL/v$$

Die Gassenwegezeit entspricht dem Zeitraum für die durch den Kommissionierer zurückgelegte Wegstrecke in der jeweiligen Gasse.

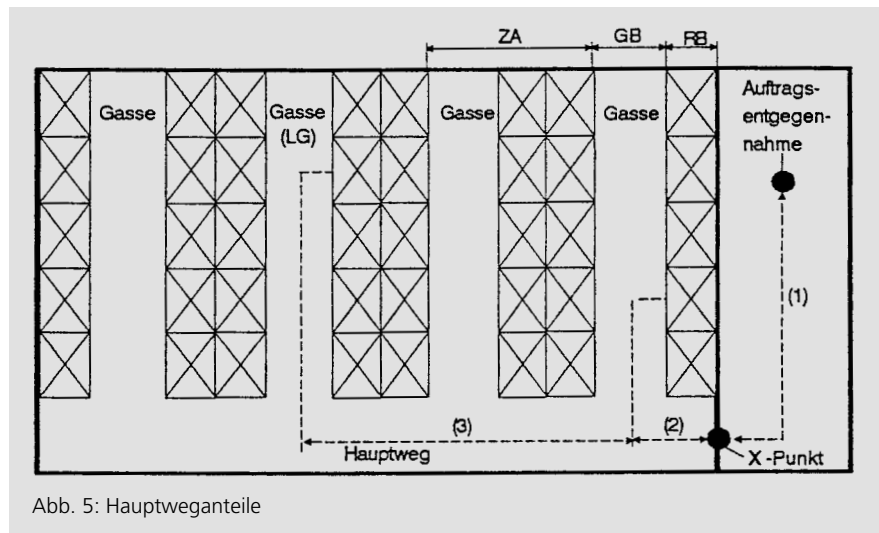


Abb. 5: Hauptweganteile

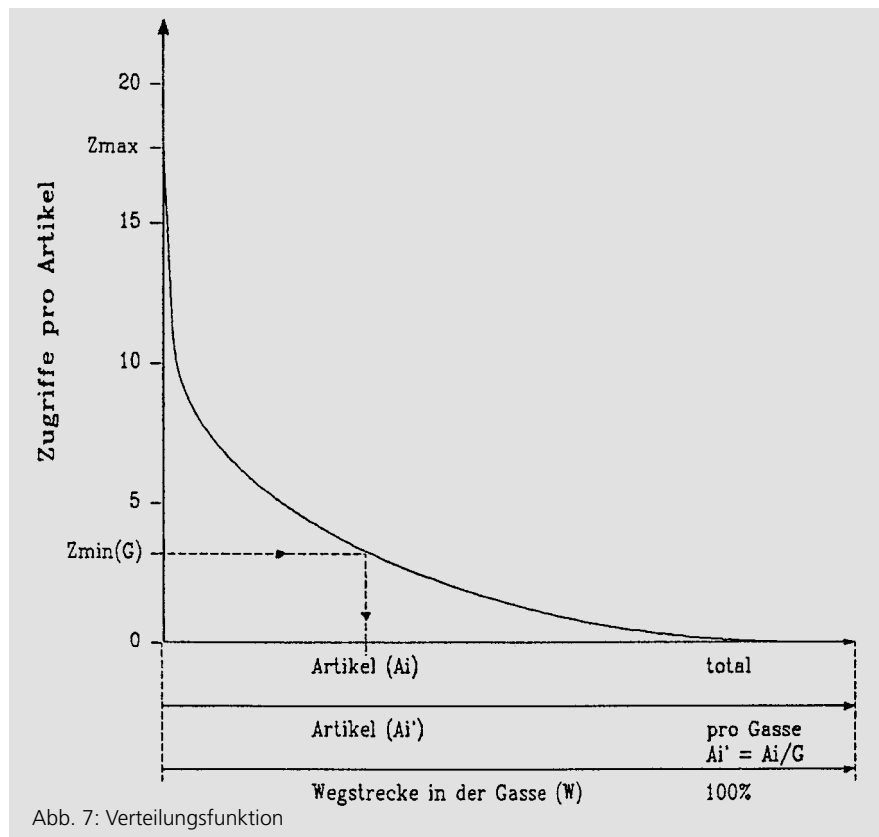


Abb. 7: Verteilungsfunktion

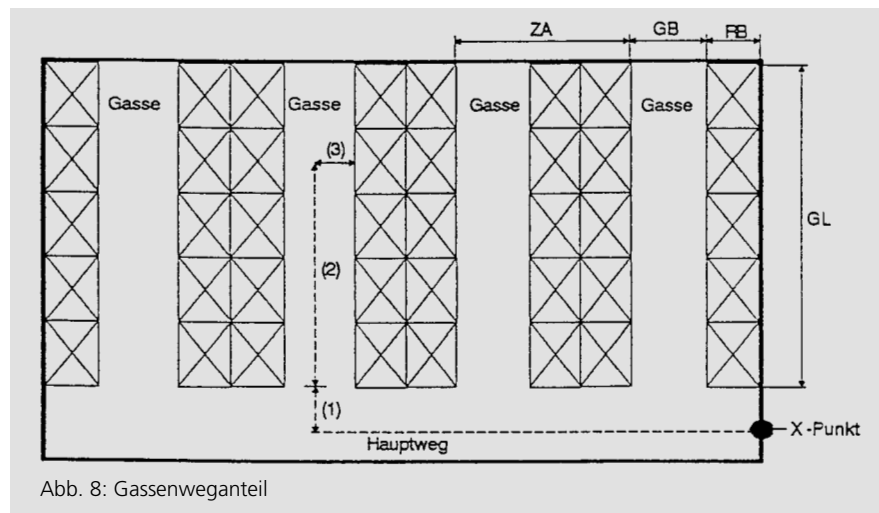


Abb. 8: Gassenweganteil

Der Verteilung der Artikel im Lager kommt eine große Bedeutung zu. Durch eine anforderungsgerechte Artikelverteilung kann die Kommissionierleistung beträchtlich gesteigert werden.

Innerhalb der Gasse wird eine ABC-Verteilung der Artikel vorausgesetzt. Dies bedeutet, daß sich die Schnellläufer unter den Artikeln im vorderen Teil und die Langsamläufer im hinteren Abschnitt der Gasse befinden.

Die Gassenweglänge ist abhängig von der Fragestellung:

- In wie viele Gassen muß ein Kommissionierer durchschnittlich gehen?
- Wie weit muß ein Kommissionierer durchschnittlich in eine Gasse hineingehen?

Für die durchschnittliche Anzahl zu begehender Gassen  $G'$  ergibt sich unter Berücksichtigung der Gesetze der Kombinatorik (vgl./7/) folgende Beziehung:

$$G' = G * (G^A - (G - 1)^A) / G^A$$

Die zurückzulegende Gassenwegstrecke ist von der lagerspezifischen Verteilungsfunktion abhängig. Für eine ABC-Verteilung der Artikel in der Gasse ergibt sich der dargestellte, qualitative Verlauf der Verteilungsfunktion (vgl. Abb. 7).

Die Verteilungsfunktion stellt die Anzahl der Zugriffe bezogen auf den jeweiligen Artikel dar. Bei Kenntnis der Verteilungsfunktion für ein bestimmtes Lager ist es möglich, durch Vorgabe einer Zugriffshäufigkeit auf den zugegriffenen Artikel zu schließen. Hierzu trägt man den Wert für die gesuchte Zugriffshäufigkeit an der Y-Achse ein, erstelle eine Gerade parallel zur X-Achse und erhält den Schnittpunkt mit der Verteilungsfunktion. Durch Erstellung des Lotes zur X-Achse kann der gesuchte Artikel an dieser abgelesen werden.

Die Artikelzahl pro Gasse  $Ai'$  ergibt sich, indem die Artikelzahl im Lager durch die Gassenzahl dividiert wird. Um die Zuordnung eines bestimmten Artikels zur entsprechenden Gassenwegstrecke zu ermöglichen, wird die Gassenlänge  $GL$  durch die Artikelzahl in der Gasse  $Ai'$  dividiert:

$$MPA = GL / Ai'$$

Das Ergebnis sind die Anzahl Meter pro Artikel (MPA).

Da sich bei einer ABC-Verteilung die Artikel mit der geringeren Zugriffshäufigkeit im hinteren Teil einer Gasse befinden, ist zur Bestimmung der maximalen Gassenwegstrecke die minimale Zugriffshäufigkeit entscheidend. Die minimale Zugriffshäufigkeit in der Gasse ist abhängig von der maximalen Zugriffshäufigkeit  $Z_{max}$  und der Anzahl zu kommissionierender Artikel pro begangene Gasse  $A'$ .

$$Z_{min}(G) = Z_{max} \frac{1}{a'+1}$$

Nachdem die minimale Zugriffshäufigkeit in der Gasse berechnet ist, erfolgt die Zuordnung zu dem entsprechenden Artikel,  $Ai(Z_{min}(G))$  mit Hilfe der Verteilungsfunktion (vgl. Abb. 7).

Die vom Kommissionierer zurückzulegende Gassenweglänge  $GWL$  ergibt sich durch die Beziehung:

$$GWL = G' * (2 * Ai' (Z_{min}(G)) * MPA + 2 + A' * GB) (m)$$

Die einzelnen Gassenweganteile sind in Abb. 8 dargestellt.

Beschreibung der Gassenweganteile:

- (1): + 2 berücksichtigt, daß der Hauptweg des Kommissionierers ein Meter Abstand von dem Beginn der Regalgasse hat.
- (2):  $2 * Ai' (Z_{min}(G)) * MPA$  entspricht der Wegstrecke, die ein Kommissionierer in die Gasse parallel zur Regalzeile hinein und anschließend hinaus geht.
- (3):  $+ A' * G$ : entspricht der Wegstrecke, die der Kommissionierer senkrecht zur Regalzeile auf das Regalfach gehend zurücklegt. Wobei die Anzahl zu kommissionierender Artikel in einer Regalzeile  $A'$  sich durch:  $A' = A/G'$  berechnet.

## 4. Modellanwendung

### 4.1 Variantenvergleich mit Log-KOM2

Um die Leistungsfähigkeit verschiedener Varianten zu vergleichen, bietet

das Programm LOG-KOM2 (Basis: Lotus 123) folgende Ergebnisse an:

- die gesamte Wegstrecke des Kommissionierers (m/Auftrag)
- die Kommissionierzeit pro Auftrag (s/Auftrag)
- die benötigten Mitarbeiter pro Arbeitsgang (Mitarbeiter (8h))
- die Kommissionierzeit pro Stück (s/Stück)
- und die kommissionierte Stückzahl pro Arbeitstag (Stück/8h).

Die drei zuerst genannten Ergebnisse befinden sich im Arbeitsblatt 1 auf der ersten Bildschirmseite. Sie sollen in den anschließenden Berechnungsbeispielen als Bewertungskriterien zum Vergleich der sechs Varianten dienen. Die beiden zuletzt genannten Ergebnisse befinden sich im Arbeitsblatt 1 auf der zweiten Bildschirmseite (die Taste bildabwärts betätigen).

In den folgenden Berechnungsbeispielen werden folgende Fragestellungen untersucht:

- Wie ändern sich die Ergebnisse bei Variation der Gassenanzahl und der Gassenlänge?
- Wie ändern sich die Ergebnisse bei Variation der Kommissioniergeschwindigkeit?
- Wie ändern sich die Ergebnisse bei Erhöhung der Anzahl zu kommissionierender Aufträge pro Tag?

Die drei Fragestellungen werden durch Berechnung von sechs Varianten pro Beispiel analysiert. Bei jedem Beispiel werden nur die genannten Eingabewerte variiert, alle anderen Eingabewerte werden nicht geändert. Für jedes Beispiel erfolgt die Darstellung der Ergebnisse graphisch.

### 4.2 Berechnungsbeispiel

In diesem Berechnungsbeispiel ist zu untersuchen, wie sich die Ergebnisse der Gassenzahl und Verringerung der Gassenlänge ändern. Hierbei wird die Gassenzahl stufenweise von 6 bei Variante 1, bis auf 20 bei Variante 6 erhöht. Die Gassenlänge wird entsprechend stufenweise von 20 m bis auf 6 m reduziert. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abb. 9 dargestellt.

Das Ergebnis zeigt, daß die gesamte, durch den Kommissionierer zurückzu-

Variante		1	2	3	4	5	6
<b>Eingabe</b>							
Gassenanzahl (G)		6	8	10	12	15	20
Anzahl Aufträge pro Tag (8h)	Aufträge/8h	800	800	800	800	800	800
Artikel/Auftrag (A)		3	3	3	3	3	3
Stückzahl/Auftrag (St)		5	5	5	5	5	5
Anzahl Artikel im Lager (AZ)		1000	1000	1000	1000	1000	1000
Gassenbreite (GB)	m	2	2	2	2	2	2
Gassenlänge (GL)	m	20	15	12	10	8	6
Regalbreite (RB)	m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Entfernung X-Punkt zur Auftragsentnahme (ZW)	m	0	0	0	0	0	0
Kommissioniergeschwindigkeit (V)	m/s	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Greifzeit (Tg)	s	5	5	5	5	5	5
Totzeit (Tt)	s	10	10	10	10	10	10
Basiszeit (Tb)	s	30	30	30	30	30	30
<b>Ergebnis</b>							
gesamte Wegstrecke	m/Auftrag	69,88	81,64	94,69	108,40	129,61	165,82
Kommissionierzeit	s/Auftrag	140,91	150,31	160,76	171,72	188,68	217,65
Mitarbeiter pro Tag (8h)	Mitarbeiter/8h	3,91	4,18	4,47	4,77	5,24	6,05

Abb. 9: Eingabe- und Ergebnisteil für Berechnungsbeispiel

legende Wegstrecke pro Auftrag bei Erhöhung der Gassenzahl größer wird. Bei einer Anzahl von sechs Gassen und einer Gassenlänge von 20 m

für Variante 1 beträgt die gesamte Wegstrecke 69,88 m/Auftrag. Für Variante 6 ist die gesamte Wegstrecke 165,82 m/Auftrag, bei einer

Gassenzahl von 20 und 6 m Gassenlänge.

In Abb. 10 ist die gesamte Wegstrecke in Abhängigkeit von der jeweiligen Variante graphisch dargestellt.

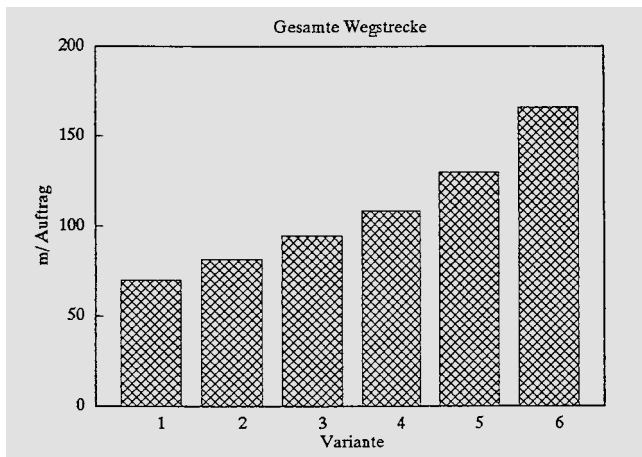


Abb. 10 (links): gesamte Wegstrecke für Berechnungsbeispiel 1

Für die Kommissionierzeit pro Auftrag zeigen die Ergebnisse den gleichen Verlauf wie für die gesamte Wegstrecke. Bei einer Anzahl von 6 Gassen und einer Gassenlänge von 20 m ergeben sich für die Kommissionierzeit 140,91 s/Auftrag. Dagegen beträgt die Kommissionierzeit 217,65 s/Auftrag für eine Gassenzahl von 10 und eine Gassenlänge von 6 m.

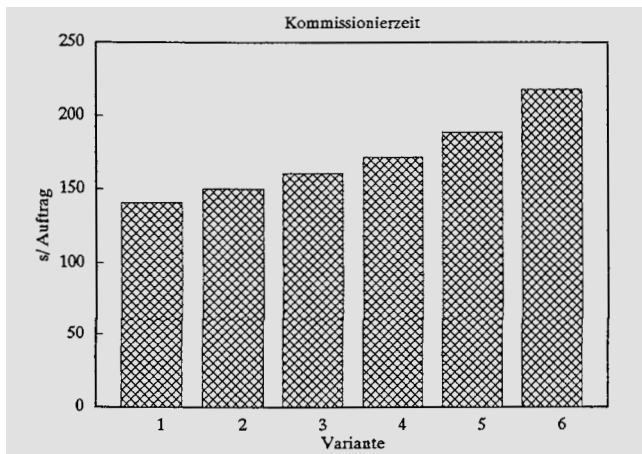
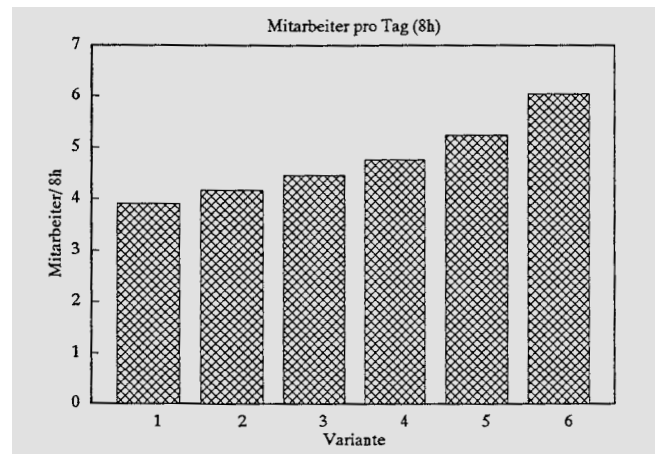


Abb. 11 (unten links): Kommissionierzeiten für Berechnungsbeispiel 1

Abb. 12 (unten rechts): Mitarbeiter pro Tag (8h) für Berechnungsbeispiel 1

Die Kommissionierzeiten sind in Abb. 11 für die einzelnen Varianten graphisch dargestellt.



Die Anzahl von benötigten Kommissionierern ist abhängig von der Kommissionierzeit pro Auftrag und der Anzahl zu bearbeitender Aufträge pro Arbeitstag.

Wie das Berechnungsbeispiel zeigt, ist es möglich, Mitarbeiter einzusparen, indem die Gassenanzahl reduziert und die Gassenlänge entsprechend erhöht wird. Bei einer Gassenanzahl von 20 und einer Gassenlänge von 6 m werden bei einer Anzahl von 800 zu kommissionierender Aufträge 6.05 Mitarbeiter pro Tag benötigt.

Durch Verringerung der Gassenanzahl auf 6 und Erhöhung der Gassenlänge auf 20 m werden bei gleicher Anzahl zu kommissionierender Aufträge pro Tag nur noch 3.91 Mitarbeiter benötigt. Es werden also ungefähr zwei Mitarbeiter pro Tag weniger benötigt.

Die Anzahl erforderlicher Mitarbeiter pro Arbeitstag ist für die einzelnen Varianten in Abb. 12 dargestellt.

## 5. Zusammenfassung

Die Forderung, mehrere Varianten verschieden realisierter Kommissioniersysteme direkt miteinander vergleichen zu können, führte zur Entwicklung des Berechnungsmodells. Mit seiner Hilfe ist es möglich, die Leistungsfähigkeit realisierter und geplanter Kommissioniersysteme zu bewerten.

Als Dateninput genügen

- die Verteilung der Kommissionieraufträge
- Bestellung / Artikel
- Aufträge Arbeitstag
  
- die spezifischen Kommissionierzeiten
- Basiszeit
- Greifzeit
- Totzeit
- Wegezeit

und

- Layoutangaben
- Anzahl Gassen
- Gassenlänge
- Gassenbreite

Ergebnis eines Rechenlaufes sind dann die erforderlichen Arbeitsstunden eines Arbeitstages.

Wie aber werden organisatorische und technische Alternativen berechnet? Diese wirken sich grundsätzlich und ausschließlich auf den Dateninput aus. Der Einsatz von Flurfördermitteln verändert z.B. die spezifische Wegzeit, und Veränderungen in der Regaltechnik bewirken andere Gassenlängen bzw. Gassenbreiten. Auch organisatorische Maßnahmen, wie z.B. die Zonung in Schnell- und Langsamdreher oder eine Einführung einer zweistufigen Kommissionierung, können berücksichtigt werden, indem Subsysteme gebildet und einzeln berechnet werden.

Der Nutzen dieses Berechnungsmodells liegt eindeutig darin, daß der arbeitsintensive Bereich der Kommissionierung hinsichtlich seines manpower-Bedarfes bewertet wird.

Die Einbeziehung realer Kommissionieraufträge - z.B. über 3 Monate, übernommen aus der EDV - sichert die Ergebnisse zudem statisch hinreichend ab.

Modellierungsaufwand und die erforderliche Speicherkapazität wurden auf ein Minimum begrenzt, indem aus realen Daten statistische Verteilungen abgeleitet werden; eine Voraussetzung, um kurzfristig beliebige Alternativen bewerten zu können.

So haben erste Anwendungen des Modells zu folgendem, sehr interessantem Ergebnis geführt:

In der Kommissionierung sind grundsätzlich organisatorische Maßnahmen

(Artikelplatzierung, Zonung, Layout...) technischen Lösungen überlegen. Letztere findet ihre Berechtigung - im Gegensatz zu den üblichen Erwartungen - im Bereich der C-Artikel, der Langsamdreher.

## Abkürzungsverzeichnis

A	Artikel pro Auftrag
A'	Anzahl kommissionierter Artikel pro begangene Gasse
A1	Artikelzahl im Lager
A1'	Artikelzahl pro Gasse
A1'	Artikel mit minimaler Zugriffshäufigkeit pro Gasse
(Z <sub>min(G)</sub> )	
G	Gasse
G'	Anzahl zu begehender Gassen
GB	Gassenbreite
GL	Gassenlänge
GWL	Gassenweglänge
h	Stunde
HWL	Hauptweglänge
i	Laufvariable
LG	letzte, zu begehende Gasse
m	Meter
MPA	Meter pro Artikel
RB	Regalbreite
s	Sekunde
St	Stück
t <sub>bas.</sub>	Basiszeit
t <sub>Hauptweg</sub>	Hauptwegezeit
t <sub>gr</sub>	Greifzeit
t <sub>kom1</sub>	Kommissionierzeit (s/Auftrag)
t <sub>kom2</sub>	Kommissionierzeit (s/Stück)
t <sub>tot.</sub>	Totzeit
t <sub>ver.</sub>	Verweilzeit
t <sub>weg</sub>	Wegezeit
V	Geschwindigkeit des Kommissionierers
WG	gesamte Wegstrecke
xPunkt	definierter Punkt
ZA	Zeilenabstand
Z <sub>max</sub>	maximale Zugriffshäufigkeit
Z <sub>min(G)</sub>	minimale Zugriffshäufigkeit in der Gasse
ZW	Wegstrecke zwischen X-Punkt und dem Punkt der Auftragsentgegennahme.