

---

# Analytische Untersuchung der Flexibilität von Logistiksystemen am Beispiel von Kommissioniersystemen

*Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka  
Dipl.-Inf. Alexander Ulbrich  
Technische Universität München  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik*

## 1 Einleitung

Internationalisierung der Märkte, zunehmender Wettbewerbs- und Kostendruck, wachsende Qualitäts- und Serviceanforderungen, Individualisierung und Dynamisierung der Nachfrage sind aktuelle Schlagwörter, die den Alltag und das Handlungsfeld eines Logistikers beeinflussen. Dabei muss der Logistiker unter zunehmender Unsicherheit und wachsendem Kostendruck aus komplexen Wertschöpfungsstrukturen heraus permanent wechselnde Kundenanforderungen erfüllen. Die Forderung nach flexiblen Logistiksystemen ist die direkte Folge daraus.

Die Logistikkosten sind nach wie vor ein wichtiger Maßstab und Wettbewerbsfaktor für die Logistik. Logistikkosten senken und Servicequalität verbessern – diese beiden Ziele werden häufig genannt, wenn es um die Optimierung des Logistiksystems geht. In der Umfrage „Ein Blick auf die Agenda 2010 des Logistikmanagements“ haben knapp 60% der Unternehmen die Frage nach der strategischen Zielrichtung mit einer Differenzierung der Logistikleistung beantwortet. Dies kann nur mit einer ausgeprägten Kundenorientierung und einer Verbesserung der Servicequalität erreicht werden. Damit ist nicht nur die Erfüllung von individuellen Kundenbedürfnissen zu verstehen (Value-added Services), sondern auch die Gewährleistung auf unvorhergesehene Ereignisse stets flexibel reagieren zu können. [Str-05] Reaktionsfähigkeit zu angemessenen Kosten ist daher ein wichtiger Faktor der Kundenbindung. [Gei-08]

Diese einleitenden Worte veranschaulichen, wie wichtig die Flexibilität von Logistiksystemen ist. In dem vorliegenden Aufsatz setzen die Autoren den Fokus auf die Knoten in einem Logistiknetzwerk insbesondere auf Kommissioniersysteme. Kommissioniersysteme stellen in der heutigen Zeit ein wichtiges Schlüsselement in der Logistik dar, indem sie den Lieferservice und die Logistikkosten im Wesentlichen mitbestimmen. Veränderungen des Marktes wirken sich direkt auf die Anforderungen an das Kommissioniersystem aus, da die Kommissionierung die Schnittstelle zum Kunden ist. Deshalb ist ein flexibles und robustes Kommissioniersystem gefragt. [Dul-05] Trotz der zunehmenden Automatisierung von Kommissioniersystemen kann die geforderte Flexibilität nur dann unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erreicht werden, wenn der Mensch weiterhin im Mittelpunkt von Kommissioniersystemen steht. Dies hat zur Folge, dass die Kommissionierung einer der kostenintensivsten Bereiche von modernen Logistiksystemen bleiben wird.

Im Rahmen eines Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) wurde am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München ein analytisches Modell für die Untersuchung von Kommissioniersystemen entwickelt. Mit diesem Modell können Kommissioniersysteme hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bei sich ändernden Anforderungen untersucht werden.

In den folgenden Abschnitten wird kurz die Flexibilität von Logistiksystemen diskutiert und im Anschluss die Vorgehensweise bei der Modellierung von Kommissioniersystemen vorgestellt. Abschließend wird auf die Bestimmung der Leistung eingegangen.

---

## 2 Flexibilität in Logistiksystemen

Aufgrund der zunehmenden Komplexität von Logistiksystemen und der sich immer schneller verändernden Umwelt müssen Unternehmen immer stärker darauf achten, dass sie diese Herausforderungen bewältigen können. Eine Schlüsselfähigkeit, diese Herausforderungen zu bewältigen, wird als Flexibilität bezeichnet. [Beh-85][Kal-93] Flexibilität ist damit eine wichtige Eigenschaft zur Sicherung des langfristigen Unternehmenserfolgs und folglich einer der wichtigsten strategischen Erfolgsfaktoren [Ans-65]

Das Thema Flexibilität beschäftigt vor allem die Betriebswirtschaft seit den zwanziger Jahren. Eine einheitliche und anerkannte Definition des Begriffes fehlt bis dato. Vielmehr findet sich in der Literatur eine Vielzahl von verschiedenen Bedeutungen. So ist der Begriff „Flexibilität“ mit der Zeit zu einem „Modewort mit vielschillerndem Inhalt“ geworden, das durch einen hohen Grad an Unschärfe gekennzeichnet ist. Folglich ist der Begriff schwer greifbar und eine gemeinsame Diskussion nur möglich, wenn im Vorhinein ein gemeinsames Verständnis des Begriffes „Flexibilität“ geschaffen wurde.[Voi-07]

In diesem Aufsatz wird unter Flexibilität die Reaktionsfähigkeit und –schnelligkeit verstanden, um sich auf veränderte Rahmenbedingungen einzustellen. Dies gilt insbesondere in Bezug auf Mengen, Zeit und Varianten. [tHo-08] Demnach muss sich ein flexibles Logistiksystem permanent den aktuellen Anforderungen anpassen. Die Flexibilität darf dabei aber nicht auf Kosten der Wirtschaftlichkeit sichergestellt werden. Ein reines Vorhalten von Kapazitätsreserven sichert nicht den langfristigen Erfolg. Die Schlussfolgerung hieraus ist die Forderung nach flexiblen und skalierbaren Logistiksystemen, die dem Spannungsfeld zwischen Erfüllung der Forderungen und der Wirtschaftlichkeit standhalten.

Dass die Flexibilität von Logistiksystemen einen immer höheren Stellenwert bekommt, zeigen auch die Ergebnisse der Studie „Trends und Strategien in der Logistik“. Knapp neunzig Prozent der befragten Unternehmen haben die Frage, „wie sie auf die Dynamisierung der Märkte reagieren“, mit der Aussage „die Flexibilität ihrer Logistikstrukturen steigern“ beantwortet. [Str-05]

Damit zielgerichtete Maßnahmen getroffen werden können, um die Flexibilität eines Logistiksystems zu verbessern, muss zuerst die Flexibilität bewertet und anschließend Schwachstellen analysiert werden. Somit stellt sich die Frage, wie die Flexibilität von Logistiksystemen bewertet werden kann. Für die quantitative Bewertung der Flexibilität bieten sich zwei verschiedene Vorgehensmethoden an. Bei der ersten Methode werden verschiedene Szenarien festgelegt, die unterschiedliche Anforderungen definieren. Für jedes Szenario wird die benötigte Kapazität errechnet, die notwendig ist, damit die Anforderungen erfüllt werden. Im nächsten Schritt werden die Maßnahmen festgelegt, die erforderlich sind, damit die entsprechende Kapazität bereitgestellt werden kann. Auf den Maßnahmen aufbauend können die resultierenden Anpassungs- und Prozesskosten ermittelt werden.

Die zweite Methode basiert auf einer Sensitivitätsanalyse. Dabei wird eine Anforderung in einer bestimmten Bandbreite schrittweise verändert. Alle anderen Anforderungen verändern sich nicht. Die Ergebnisse der Leistungsberechnung geben Aufschluss über den Einfluss dieser Anforderung auf die Performanz des Logistiksystems. [Gal-08]

Bei diesen beiden Ansätzen wird die Reaktionszeit, die die Flexibilität eines Logistiksystems mitbestimmt, nicht berücksichtigt. Die Reaktionszeit, z.B. für die Anforderung zusätzlicher Leiharbeiter, ist von lokalen Bedingungen abhängig und muss separat bewertet werden.

Der Grundstein für die Flexibilität wird bereits bei der Planung gelegt. Somit ist die Bewertung der Flexibilität im Rahmen der Systemplanung ein wesentliches Kriterium. Die beiden vorgestellten Ansätze für die Bewertung der Flexibilität können sowohl in der Systemplanung als auch in der operativen Planung angewendet werden. Für die Kapazitätsermittlung ist ein Modell des Logistiksystems notwendig, welches eine schnelle Ermittlung der notwendigen Kapazität ermöglicht.

Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Simulationsmodellen. Solche Modelle bilden sehr genau das Verhalten des Logistiksystems ab. Die Nachteile von Simulationsmodellen sind der hohe Aufwand für die Erstellung des Modells und die hohen Lizenzkosten für die Software.

Ein neuer Ansatz, der im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes entwickelt wurde, ist das Erstellen von analytischen Modellen für die Leistungsermittlung. Diese Modelle

---

zeichnen sich durch ihre einfache Anpassung an die projektspezifischen Anforderungen aus. Teure Softwareprodukte sind nicht vonnöten. Zudem benötigen Sie einen geringeren Rechenbedarf, so dass Ergebnisse schneller vorliegen.

### 3 Analytische Modellierung von Logistiksystemen am Beispiel von Kommissioniersystemen

Logistische Systeme dienen der raum-, zeit-, art- und mengenmäßigen Veränderung von Gütern. Die Leistung solcher Systeme lässt sich durch die Anzahl der vollzogenen Prozesse zur Raum-, Zeit-, Art- und Mengenveränderung von Gütern bezogen auf eine Zeiteinheit messen. Für Kommissioniersysteme lässt sich die Leistung zum Beispiel in Form von Kommissionieraufträgen pro Stunde angeben. Die Leistung ist dabei im Wesentlichen von den zu erfüllenden Aufgaben abhängig, da diese den Prozess bestimmen. Weitere leistungsbeeinflussenden Faktoren sind die zur Verfügung stehende Technik und der Raum, in der die Aufgabe erfüllt werden muss. Somit muss ein analytisches Modell für die Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen sowohl den Prozess als auch die Umwelt berücksichtigen.

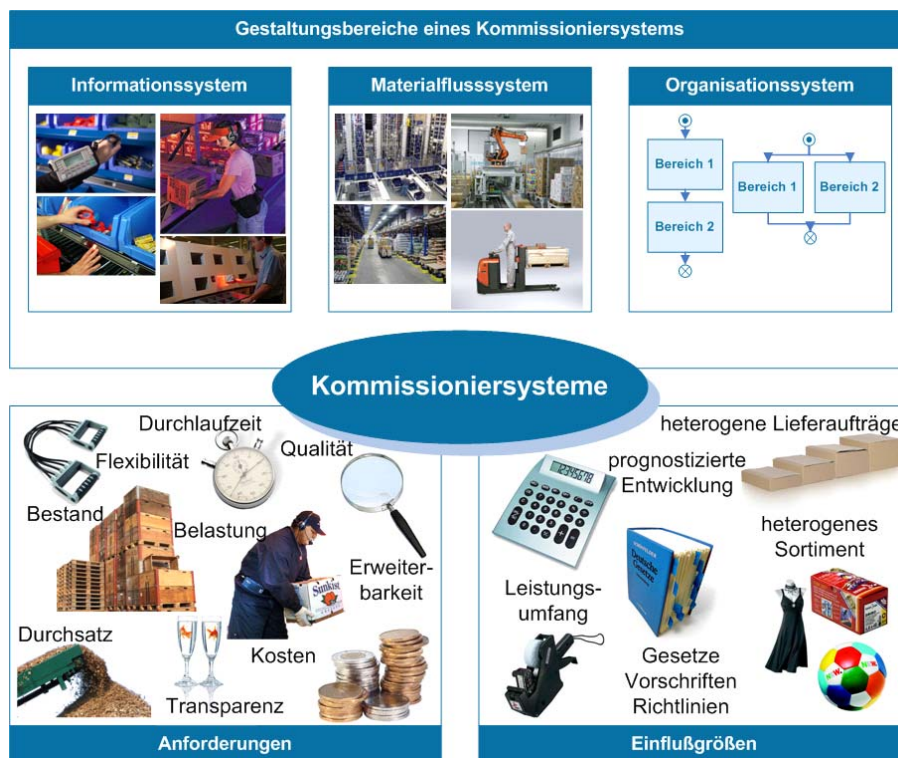


Abbildung 1: Gestaltungsmöglichkeiten, Anforderungen und Einflussgrößen von Kommissioniersystemen

Eine der schwierigsten Aufgaben in der Intralogistik ist das Kommissionieren. [Gud-04] Dies ist auf die Komplexität von Kommissioniersystemen zurückzuführen. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie eine Kommissionieraufgabe realisiert werden kann. [Sad-07], [Dul-05], [Pie-82] Dabei bestehen Kommissioniersysteme häufig aus einer Mischung unterschiedlicher Realisierungsformen. Solche hybriden oder heterogenen Kommissioniersysteme ermöglichen die Anpassung des Gesamtsystems an die spezifischen Anforderungen. Eine Standardlösung für Kommissioniersysteme gibt es nicht. Allerdings besteht die Möglichkeit auf Standardmodule (z.B. AKL, Kommissionierstation) zurückzugreifen. [Dul-05] In der Abbildung 1 sind Gestaltungsmöglichkeiten, Anforderungen und Einflussgrößen beispielhaft dargestellt.

Die Erkenntnis, dass sich Kommissioniersysteme aus verschiedenen Standardverfahren zusammensetzen, die an die projektspezifischen Anforderungen angepasst werden, kann für die Modellierung genutzt werden. Durch die Kombination verschiedener Standardbausteine für die unterschiedlichen Standardverfahren können so verschiedene Kommissioniersysteme abgebildet werden.

Im Forschungsprojekt wurde für die Modellierung von verschiedenen Kommissioniersystemen eine Software entwickelt, die es dem Anwender erlaubt das analytische Modell für die Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen anzuwenden. Die dazu notwendigen Schritte in der Software sollen im folgenden Kapitel kurz erläutert werden. Im Anschluss wird gezeigt, wie das analytische Modell aufgebaut ist und mit Hilfe welcher Methoden die Leistung ermittelt wird.

### 3.1 Vorgehensweise bei der Modellierung von Kommissioniersystemen

Die Arbeitsschritte in der Software orientieren sich an der VDI-Richtlinie 2689 [VDI2689]. Die Aufgabe der Software besteht darin objektive und reproduzierbare Kennzahlen für die Bewertung von Systemvarianten zu liefern. In der Software müssen dafür verschiedene Phasen durchlaufen werden. Die einzelnen Phasen sind in Abbildung 2 dargestellt.

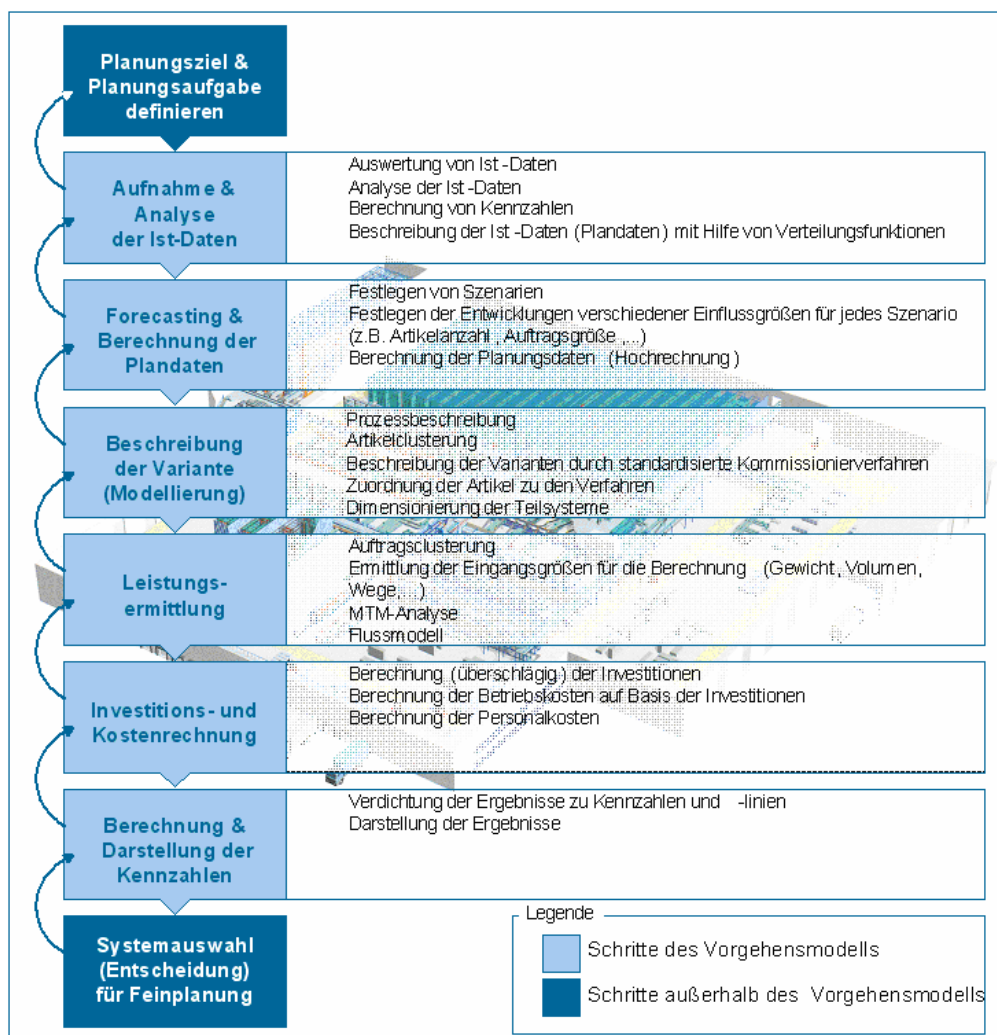


Abbildung 2: Vorgehensmodell für die Grobplanung von Kommissioniersystemen

Nachdem der Nutzer die Untersuchungsaufgabe und das –ziel definiert hat, beginnt die Ist-Analyse. Ein Datenmodell dient dem Nutzer bei der Auswahl der aufzunehmenden Daten als Hilfe. Durch Werkzeuge können die Daten auf Vollständigkeit und Konsistenz geprüft werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit Kennzahlen für die Bewertung der Ist-Situation bzw. der Anforderungen zu erzeugen.

Von den gewonnenen Daten ausgehend müssen die Szenarien beschrieben werden. Mit Hilfe eines Werkzeuges kann der Planer die aktuellen Daten auf Grund seiner Einschätzungen anpassen. Die Anpassung erfolgt über Parameter und die Auswirkung auf die Planungsdaten wird graphisch dargestellt. In diesem Schritt können auch Faktoren für Sensitivitätsanalysen festgelegt werden.

Im nächsten Schritt muss das Modell für ein Kommissioniersystem erstellt werden. Für das abzubildende System stehen verschiedene Bausteine zur Verfügung. Die Bausteine können nach den Vorstellungen des Nutzers kombiniert werden. Für die unterschiedlichen Funktionen eines Kommissioniersystems gibt es unterschiedliche Bausteintypen. Die Bausteine müssen den projektspezifischen Anforderungen angepasst werden. Dafür steht dem Planer ein Werkzeug zur Verfügung mit dem z.B. die notwendige Anzahl von Bereitstellplätzen berechnet und dabei die Zugriffshäufigkeit, der Ladungsträgertyp und die Reichweite berücksichtigt werden kann. Im Rahmen der Modellierung wird weiterhin der Prozess innerhalb eines jedes Bausteins und damit die zu erfüllende Funktion beschrieben.

Ist das Kommissioniersystem vollständig beschrieben, erfolgt die Leistungsberechnung durch ein Werkzeug. In diese Phase ist der Planer nur durch Vorgaben für die Flussebene eingebunden. Im Abschnitt 3.2 wird auf die Modellierung und Berechnung detaillierter eingegangen.

Im Anschluss an die Leistungsberechnung erfolgt eine Investitions- und Kostenrechnung. Die Investitionsrechnung ruht auf einer Kostenzahlenbasis für die verwendete System- und Gebäudetechnik. Über die Parameter der Dimensionierung und die Angaben zur verwendeten Systemtechnik können die Investitionen grob berechnet werden. Dabei werden auch Investitionen für das Gebäude und das Grundstück berücksichtigt. Anhand der Investitionen werden über einen prozentualen Ansatz die Betriebs- und Wartungskosten bestimmt. Der Nutzer ist in die Ermittlung der Personalkosten aktiv eingebunden. Dazu werden ihm die Ergebnisse der Leistungsberechnung dargestellt. Es obliegt dem Nutzer festzulegen, wie das passende Arbeitszeitmodell aussieht und welche Personalkosten dadurch entstehen.

In der letzten Phase werden die Kennzahlen für die Bewertung berechnet. Das Werkzeug für die Berechnung der Kennzahlen stellt bereits vordefinierte Kennzahlen wie „Positionen pro Mitarbeiter und Stunde“ oder „Kosten pro Position“ zur Verfügung. Im folgenden Abschnitt sollen die Modellierung und Leistungsberechnung von Kommissioniersystemen detaillierter beschrieben werden.

### **3.2 Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen**

Das Modell des Kommissioniersystems setzt sich aus vier verschiedenen Bausteintypen zusammen und zwar aus den Transportbausteinen, dem Zusammenführungsbaustein und dem Nachschubbaustein. Den Kern des Modells bilden die Kommissionierbausteine, die die verschiedenen Kommissionierprinzipien repräsentieren. Im Forschungsprojekt wurden bisher drei verschiedene Kommissionierbausteine entwickelt.

Der erste Baustein stellt das konventionelle eindimensionale Kommissionieren mit statischer Bereitstellung der Artikel und einer zentralen Abgabe der Sammelbehälter dar. Beim zweiten Baustein kommt ein vertikal fahrbares Kommissionierfahrzeug zum Einsatz. Das Bereitstellungsprinzip ändert sich beim dritten Baustein, denn in diesem Fall wird die Ware dynamisch bereitgestellt. Die automatische Bereitstellung erfolgt an einem Kommissionierarbeitsplatz in der Vorzone eines automatischen Hochregallagers (Pick-Station). In der Abbildung 3 sind Praxisbeispiele von diesen drei Bausteinen dargestellt. Das Erstellen und Einbinden von weiteren Bausteinen ist möglich.





Abbildung 3: Beispiele von den Kommissionierbausteinen

Durch die Kombination der verschiedenen Bausteintypen kann eine Vielzahl von verschiedenen homogenen und heterogenen Kommissioniersystemen erstellt werden. In der Abbildung 4 ist ein Beispiel für ein Modell dargestellt. Das Modell besteht aus zwei parallel angeordneten Kommissionierbausteinen, einem Nachschubbaustein und einem Zusammenführungsbaustein. Der Wareneingang und der Warenausgang sind nicht Bestandteile des Modells.

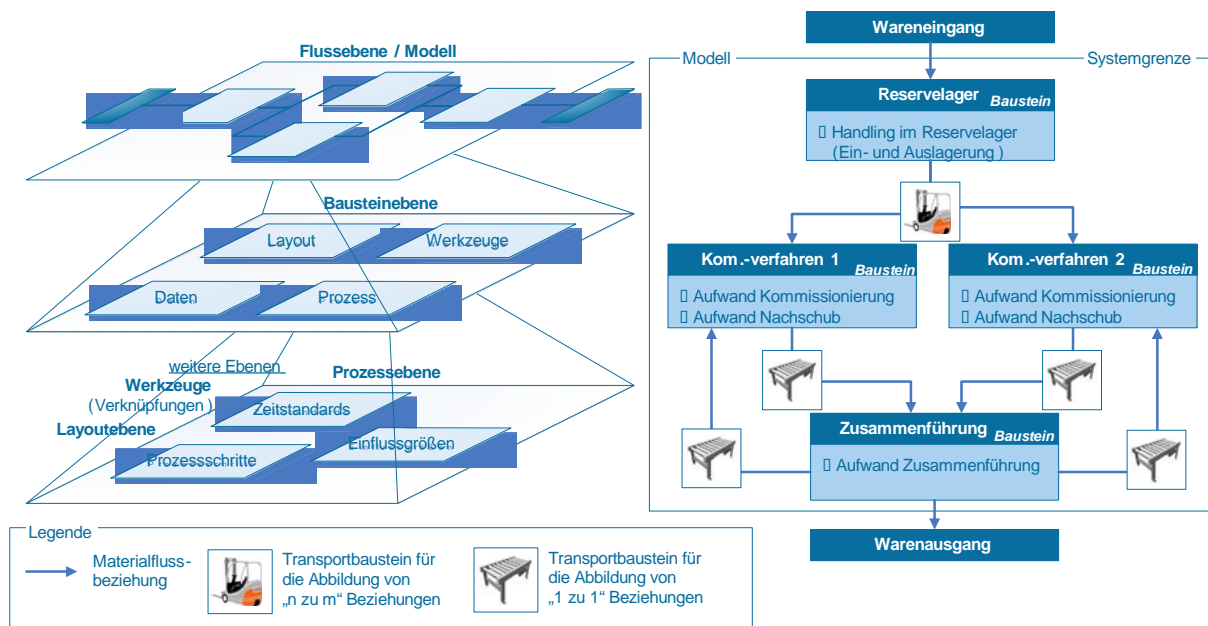


Abbildung 4: Ebenen des Modells und Beispiel für die Flussebene eines Modells

Alle Bausteine müssen entsprechend des geplanten Materialflusses verknüpft werden. Die Beschreibung des Materialflusses erfolgt in der Flussebene. Diese Ebene ist die oberste Ebene im Modell. Durch die Verknüpfung der Bausteine entstehen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. Die Aufgabe der Flussebene ist es, diese abzubilden. Dabei handelt es sich um ein mesoskopisches Modell, welches den Durchsatz (unter Beachtung der Kapazität) der einzelnen Bausteine in Abhängigkeit der Zeit berücksichtigt. [Sch-08]

In der Abbildung 5 wird die Funktionsweise des Flussmodells am Beispiel von zwei Kommissionierbausteinen, die mit einem Transportbaustein verknüpft sind, gezeigt. Der Abfluss  $\lambda_{KB1}^{out}(t)$  des Kommissionierbausteins 1 wird demnach aus dem Zufluss  $\lambda_{KB1}^{in}(t)$ , dem Durchsatz  $\mu_{KB1}(t)$  und dem Auftragsbestand  $B_{KB1}(t)$  des Kommissionierbausteins 1 bestimmt. Der Input des Transportbausteins entspricht dem Output des Kommissionierbausteins 1. Die Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufes ermöglicht es leistungsbeeinflussende Veränderun-

gen der Anforderungen über den Tagesverlauf einzubeziehen. Insofern lässt sich die oft typische Zunahme der Auftragsanzahl zum Nachmittag hin beachten.

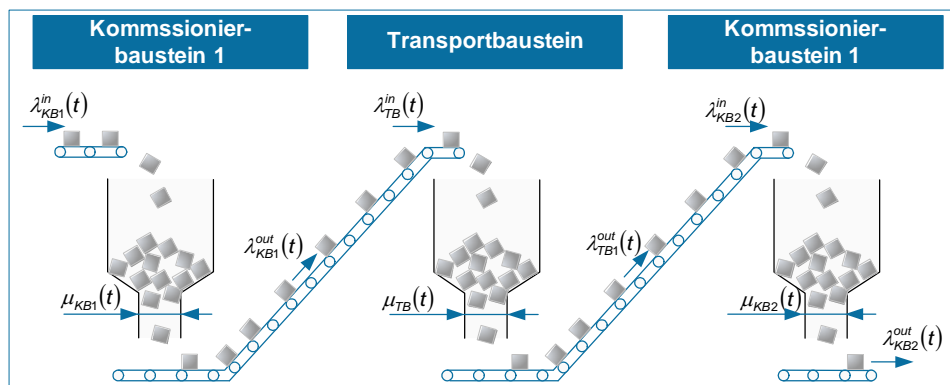


Abbildung 5: Flussmodell für die Abbildung des Materialflusses in Abhängigkeit der Kapazität

Die durch das Flussmodell verknüpften Bausteine sind alle ähnlich aufgebaut. Im Folgenden soll der Aufbau der Kommissionierbausteine erläutert werden. Die Kommissionierbausteine unterscheiden sich durch den Prozess und das Layout. Für jeden Baustein wird ein Standardlayout unterstellt, das durch Parameter angepasst wird.

Im Fall des Kommissionierbausteins „konventionelles Kommissionieren“ sind die wesentlichen Parameter die Gassenanzahl, Lagerfachspalten und -zeilen pro Regal.

Zentrales Element des Bausteins ist die Prozessbeschreibung. Jeder Baustein hat definierte Prozessschritte. Für die einzelnen Prozessschritte können durch den Planer unterschiedliche Varianten ausgewählt werden. Am Beispiel des Prozessschritts „Entnahme“ des Bausteins „konventionelles Kommissionieren“ sind folgende Alternativen möglich: Entnahme ohne Bestätigen, Entnahme mit Bestätigen, Entnahme mit Scannen des Lagerfaches. Die Konsistenz des gesamten Prozesses wird durch eine Verknüpfungsmatrix gewährleistet, die nur bestimmte Kombinationen von Alternativen für Prozessschritte zulässt.

Auf Grundlage der festgelegten Prozessschritte kann der gesamte Prozess mit Hilfe von MTM Zeitbausteinen beschrieben werden. Der Zeitstandard für einen Zeitbaustein ist abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren.

Um den Zeitstandard für einen Zeitbaustein zu ermitteln, müssen die Einflussgrößen aus den Planungsdaten ermittelt bzw. berechnet werden. Die relevanten Einflussgrößen für einen Zeitbaustein sind im Modell hinterlegt. Die Abbildung 6 soll den Zusammenhang zwischen Prozess, Prozessschritt, Zeitbaustein und den Einflussgrößen verdeutlichen.

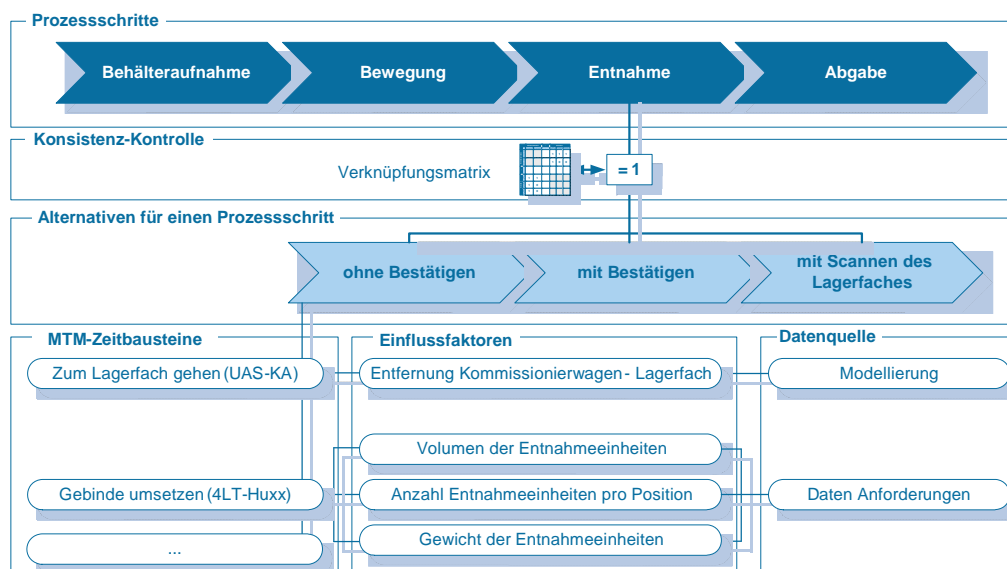


Abbildung 6: Aufbau der Prozessmodellierung und Verknüpfung mit MTM-Zeitbausteinen

Das Vorgehen bei der Ermittlung der Zeitstandards sollen zwei Beispiele erklärt werden. Die Beispiele beziehen sich auf Zeitbausteine aus dem Bausteinsystem „Standardvorgänge Logistik“.

Die Entnahme der Artikel aus dem Lagerfach ist von dem Gewicht und dem Volumen der Artikel abhängig. Es wird unterschieden, ob ein Artikel sperrig ist (zwei Kanten länger als 30 cm) und ob ein Artikel mehr als 1 kg wiegt. Es gibt demnach vier verschiedene Zeitstandards für die Entnahme von Artikeln. Diese vier Zeitstandards müssen aufgrund der vorliegenden Eigenschaften des Sortiments und der Aufträge gewichtet werden. Dazu wird das Sortiment analysiert. Um die Ergebnisse zu verfeinern, wird dazu das Sortiment eingeschränkt. So werden nur Artikel einbezogen die im entsprechenden Bereich gelagert werden. Die Abbildung 7 soll das Vorgehen veranschaulichen.

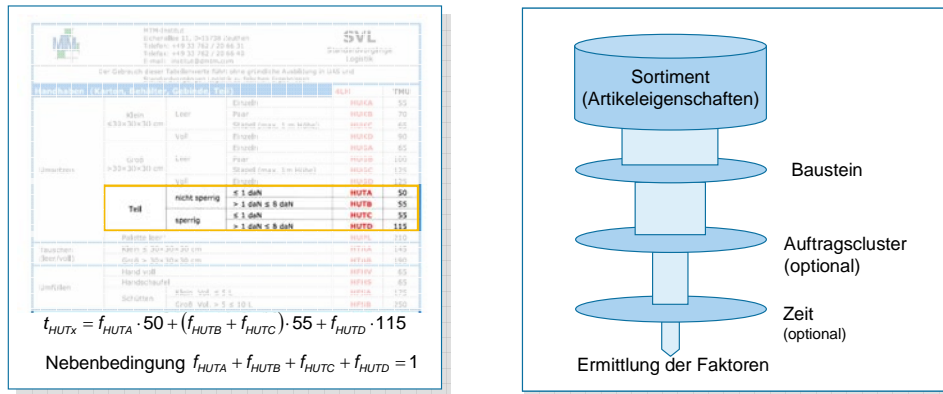


Abbildung 7: Bestimmung von Zeitstandards für Zeitbausteine

Für die Berechnung der zurückzulegenden Entfernungen im Kommissioniersystem werden bereits publizierte Methoden von Gudehus, Kunder, Schulte und Sadowsky verwendet, die sowohl die Einlager- als auch die Bewegungsstrategie einbeziehen. In Abbildung 8 ist die Berechnung des Erwartungswertes für den Wege in einer Gasse bei der Bearbeitung eines Auftrages nach Sadowsky veranschaulicht.

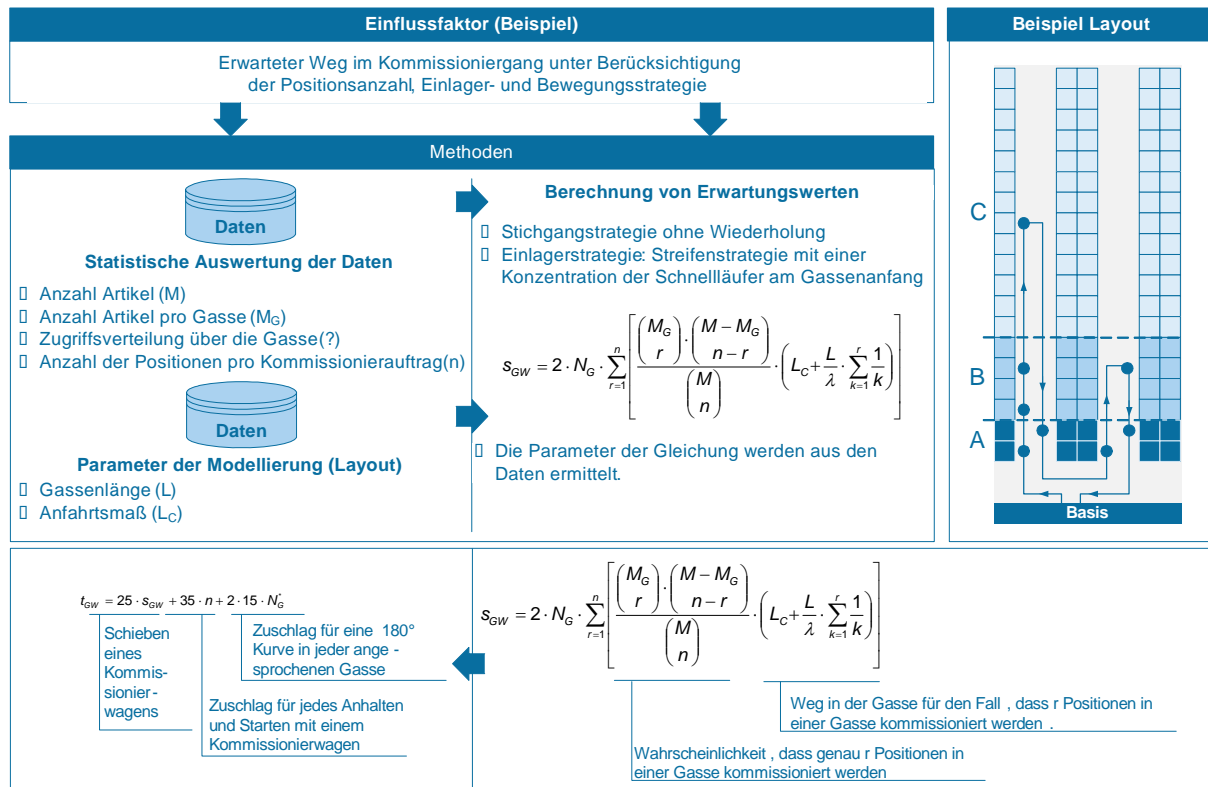


Abbildung 8: Ermittlung des erwarteten Weges in einer Gasse für einen Auftrag



Der erwartete Weg ergibt sich aus der dargestellten Formel in der Abbildung 8. Die notwendigen Eingangsgrößen werden auf Basis der Anforderungen und der Modellbeschreibung ermittelt. Das Ergebnis wird für die Bestimmung der Bewegungszeit des Kommissionierers genutzt. Die Anwendung der Standardvorgänge Logistik erfordert, dass neben der Entfernung ( $s_{gw}$ ) und der sich daraus ergebenden Wegzeit, die Anzahl der Anhaltevorgänge und mögliche Kurven beachtet werden.

Mit Hilfe der Prozessbeschreibung und der Einflussgrößen kann die Sollzeit für die Bearbeitung eines Auftrages in einem Baustein ermittelt werden. Durch Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Kapazität kann daraus die theoretische Leistung des Bausteins abgeleitet werden. Es handelt sich hierbei um eine theoretische Leistung, da diese nur erbracht wird, wenn für jede Ressource immer genügend Aufträge vorliegen. Für die Ermittlung der tatsächlichen Leistung muss das gesamte System betrachtet werden. Dies erfolgt über die bereits erläuterte Flussebene. Die theoretische Leistung ist eine Eingangsgröße des mesoskopischen Modells ( $\mu(t)$ ).

Das analytische Modell liefert verschiedene Ergebnisse, die in die Bewertung der Flexibilität einfließen. Neben der Leistung und der Anzahl der notwendigen Ressourcen können auch Aussagen zur Produktivität bzw. der Auslastung der einzelnen Ressourcen getroffen werden. Dem Anwender obliegt es auf Basis der Ergebnisse Schlussfolgerungen über die Grenzen der Flexibilität des Kommissioniersystems zu treffen. So können Aussagen getroffen werden, ab wann eine Erweiterung der Lagerfläche notwendig ist.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Flexibilität von Logistiksystemen ist ein wesentlicher Einflussfaktor für den Unternehmenserfolg. Demnach ist es wichtig bereits bei der Planung die Flexibilität zu beachten und das Planungsergebnis hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungen abzusichern.

Für die Bewertung der Flexibilität muss zuerst die notwendige Kapazität für die geforderte Leistung ermittelt werden. Ein praxistauglicher Ansatz für die schnelle Bestimmung der notwendigen Kapazität sind die vorgestellten Methoden und Werkzeuge des analytischen Modells. Das analytische Modell umfasst drei Ebenen. Die oberste Ebene ist die Flussebene, die das gesamte Kommissioniersystem mit seinen einzelnen Bestandteilen und dem Materialfluss abbildet. In der darunter liegenden Bausteinebene wird für jeden Baustein das Layout und der Prozess festgelegt. Zusammen mit den Anforderungen sind dies die Eingangsgrößen für die dritte Ebene. In der Prozessebene wird die theoretische Leistung für jeden Baustein ermittelt. Zentrales Element ist dabei die Methods-Time-Measurement (MTM).

Der vorgestellte Ansatz kann für andere Logistiksysteme adaptiert werden. Für eine noch ausführlichere Untersuchung von Logistiksystemen ist eine Kopplung mit Simulationsmodellen denkbar. So kann durch die Flussebene auch durch ein Simulationsmodell ersetzt werden. Dies verbessert die Aussagekraft hinsichtlich der Bearbeitungsreihenfolge, da Teilaufträge gezielt wieder zusammengeführt werden können.

#### 5 Literatur

- [Ans-65] Ansoff, H.: Corporate Strategy. New York, 1965
- [Beh-85] Behrbohm, P.: Flexibilität in der Produktion. In: Kern, W.; Schröder, H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart, 1985, S. 604-618
- [Dul-05] Dullinger, Karl-Heinz: Das richtige Kommissionier-Konzept – eine klare Notwendigkeit. Jahrbuch Logistik 2005, Korschbroich.
- [Gal-08] Galka, Stefan; Ulbrich, Alexander; Günthner, Willibald: Performance Calculation for Order Picking Systems by Analytical Methods and Simulation. Logistics and Supply Chain Management: Trends in Germany and Russia DR-LOG 08, Publishing House of the St. Petersburg State Polytechnical University, Moskau, 2008.
- [Gei-08] Geissbauer, R.; D'heur, M.: Nicht flexibel genug. Zeitschrift Logistik Heute 6/2008 S. 45-47

- [Gud-04] Gudehus, Timm: Logistik – Grundlagen, Strategien, Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2004.
- [Kal-93] Kaluza, B.: Flexibilität, betrieblich. In: Wittmann, W.; Kern, W. et. Al. (Hrsg): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. Stuttgart, 1993 Sp. 1173-1184
- [Pie-82] Pieper-Musiol, R: Entscheidungshilfe zur Auswahl und Bewertung von Kommissioniersystemen. Fördern und Heben – Marktbild Lager 1982.
- [Sad-07] Sadowsky, Volker: Beitrag zur analytischen Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen, Dissertation, Universität Dortmund 2007.
- [Sch-08] Schenk, Michael; Tolujew, Juri; Reggelin, Tobias: Mesoskopische Modellierung und Simulation für die schnelle aufwandsarme Planung und Steuerung robuster und sicherer Logistiksysteme. Robuste und sichere Logistiksysteme, Deutscher Verkehrs-Verlag, Bremen, 2008.
- [Str-05] Straube, F; Pfohl, H.; Günthner, W; Dangelmaier, W.:Trends und Strategien in der Logistik – Ein Blick auf die Agenda des Logistik-Managements 2010. Hamburg, 2005.
- [tHo-08] Hompel, M.; Heidenbult, V.: Taschenlexikon Logistik. Heidelberg 2008
- [VDI2689] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2689 "Leitfaden für die Materialflussuntersuchung". Beuth-Verlag, Berlin, 1974.
- [Voi-07] Voigt, K; Schorr, S.: Die Evolution des Flexibilitätsbegriffs hin zur Vision der Supra-Adaptivität. In: Günther, W. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik. Heidelberg, 2007, S.41-52.
-