

*Integrationsaspekte der Simulation:  
Technik, Organisation und Personal*  
Gert Zülch & Patricia Stock (Hrsg.)  
Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2010

# **Optimierung des Hubwagenhandlings für eine Unterflurschleppkette einer Speditionsanlage mittels Simulation**

## ***Simulation-based Optimization of Pallet Truck Handling for In-floor- chain Conveyor Systems in Forwarding Agencies***

Jan Kaffka, Larissa Mest, Simon Deymann  
Technische Universität Dortmund,  
Lehrstuhl für Verkehrssysteme und -logistik, Dortmund (Germany)  
kaffka@vsl.mb.tu-dortmund.de, mest@vsl.mb.tu-dortmund.de,  
deymann@vsl.mb.tu-dortmund.de,

Wassili Poliwanow  
Streck Transportgesellschaft mbH, Freiburg (Germany)  
wassili.poliwanow@streck.de

**Abstract:** This paper proposes a simulation tool for logistic nodes, e.g. forwarding agencies, which is developed based on Enterprise Dynamics. For the simulation-based optimization of pallet truck handling for in-floor-chain conveyor systems the forwarding terminal of Streck in Freiburg was modelled. Therefore the in-floor-chain conveyor system was specially developed for this project to take the staff, the number of pallet trucks and the processes into consideration. To increase the capacity of the automatic transportation system with two unloading zones three strategies for the return of empty pallet trucks were analyzed.

## **1 Hintergrund und Motivation**

Strategische Planungsentscheidungen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit des Betriebs logistischer Anlagen nachhaltig (BARTHOLDI, GUE 2000, S. 21). Am Lehrstuhl für Verkehrssysteme und -logistik der Technischen Universität Dortmund wird daher die Simulationsumgebung TransSim eingesetzt, um die operative Nutzung logistischer Knoten -insbesondere des Straßengüterverkehrs- zu untersuchen und Handlungsempfehlungen für einen wirtschaftlichen Ressourceneinsatz zu geben. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Abbildung von Speditionsanlagen mit ihren inner- und außerbetrieblichen Funktionsflächen, Material- und Informationsflüssen. Die Simulationsumgebung TransSim basiert auf der Simulationssoftware Enterprise Dynamics und wurde um spezielle Atom-Bausteine erweitert. Dies

ermöglicht die Abbildung einer Speditionsanlage auf mikroskopischer Ebene, d.h. die Modellierung und Simulation jeder einzelnen Sendung und den damit verbundenen inner- und außerbetrieblichen Prozessen (NEUMANN, DEYMANN 2008, S. 285). Dieser Beitrag thematisiert im Speziellen die Optimierung des innerbetrieblichen Transports.

## 2 Die Unterflurschleppkette

In Speditionsanlagen werden für den innerbetrieblichen Transport entweder Gabelstapler oder Unterflurschleppketten in Verbindung mit Handgabelhubwagen eingesetzt (CHMIELEWSKI 2007). Auch eine Kombination beider Techniken, bspw. in Abhängigkeit von der Zeit, ist möglich. Der Einsatz von Gabelstaplern bietet dabei die höchstmögliche Flexibilität, eine Unterflurschleppkette die Möglichkeit einer höheren Leistungsfähigkeit. Beim Neubau oder der Erweiterung einer Anlage steht daher immer wieder die Frage nach der zu wählenden Transporttechnik auf dem Projektplan, da eine Nachrüstung einer Unterflurschleppkette wirtschaftlich nur schwer möglich ist (BRÜSER 1991).

Die Unterflurschleppkette kann zum Transport von palettierten Sendungen mit einem zu definierendem Maximalgewicht (in Abhängigkeit von der Mitnehmerstabilität) eingesetzt werden. Dabei sind hinsichtlich der Auslegung einer Unterflurschleppkette beispielhaft die folgenden Aspekte zu beachten. Neben unterschiedlichen Layoutvarianten, wie bspw. Kreisketten mit oder ohne Stichbahnen, ist insbesondere die Dimensionierung der Unterflurschleppkette relevant. Dabei ist zwischen innen- und außenliegender Kettenführung zu unterscheiden, wodurch sich unterschiedliche Mitnehmerabstände ergeben. Diese wiederum sind – neben der Kettengeschwindigkeit – entscheidend für die maximale Transportkapazität einer Kette und müssen mit der Investition festgelegt werden.

Darüber hinaus gibt es im operativen Einsatz weitere Möglichkeiten, die Prozesse flexibel an das Geschäft anzupassen (CLAUSEN, GOERKE 2004). So hat zum Einen die Dimensionierung und Anordnung von Eingangszonen und Ausschleusezonen Auswirkungen auf den Durchsatz, zum Anderen beeinflusst die Personalkapazität und die Gesamtanzahl der im System vorhandenen Hubwagen diesen Kennwert, da hiervon die Aufgabe- und Abgabeleistung abhängt.

Um den Einsatz einer Unterflurschleppkette in Speditionsanlagen mit der Simulationssoftware untersuchen zu können, wurde ein zusätzliches Atom für die Simulationsumgebung entwickelt. Dieses Atom beinhaltet, neben dem Kettenkreislauf, Aufgabe- und Abnahmestationen.

Der Kettenkreislauf ermöglicht die Einstellung des kettenspezifischen Mitnehmerabstands und der Umlaufgeschwindigkeit der Kette.

Die Aufgabe- und Abgabestationen wurden bis auf die mikroskopische Ebene der Einzelprozesse entwickelt. Die Abbildung auf dieser Ebene ermöglicht eine detaillierte Darstellung der Prozesse bei der Aufnahme und Abgabe der Sendungen auf die Kette unter Einbezug von Handgabelhubwagen, Mitarbeitern und Sendungen.

Bei der Aufgabe- und Abgabestationen lassen sich jeweils die Anzahl der Mitarbeiter und die einzelnen Prozesszeiten für

- Hubwagenaushängen,
- Hubwageneinhängen,
- Weg zur Palettenaufnahme/-abgabe,
- Palettenaufnahme/-abgabe und
- Weg zurück zur Kette

einstellen.

Da die Unterflurschleppkette nicht zu allen Sendungsphasen und Lastsituationen wirtschaftlich betrieben werden kann wurde zusätzlich ein Schichtplanmodul entwickelt, welches es ermöglicht die Kette zu bestimmten Zeiten auszuschalten und das Sendungsaufkommen über ein Gabelstaplernetzwerk zu verbringen.

Somit ermöglicht das Atom der Unterflurschleppkette die Modellierung der unterschiedlichen Kettenvarianten mit variierenden Mitnehmerabständen, Schichtplänen und unterschiedlichen Abnahme- und Aufgabekonzepten. Des Weiteren wurde ein Interface zur automatischen Modellierung einer Unterflurschleppkette entwickelt, mit dem Ziel, den Modellierungsaufwand zu minimieren.

### 3 Einsatzmöglichkeiten der Simulation

Die Möglichkeiten der Parametrisierung von Unterflurschleppketten führen dazu, dass eine Unterflurschleppkette i.A. ihre maximal theoretische Leistung nicht erreicht, weil z.B. die Transportleistung aufgrund der ggf. erforderlichen Rückführung von leeren Handgabelhubwagen zu den einzelnen Eingangszonen reduziert wird. Der Einsatz der Simulation ermöglicht es, Prozessvariationen wissenschaftlicher und auch industrieller Aufgabenstellungen und Anforderungen zu prüfen und zu analysieren. Darüber hinaus kann der Simulator zur Validierung und Verifizierung von Planungen zukünftig zu erstellender Anlagen herangezogen werden. Auch neue wissenschaftliche Methoden, Erkenntnisse und Modelle können in der Simulationsumgebung unter Einbezug der Prozesse in einem logistischen Knoten getestet werden. Bezogen auf die Unterflurschleppkette sind folgende Anwendungsgebiete möglich:

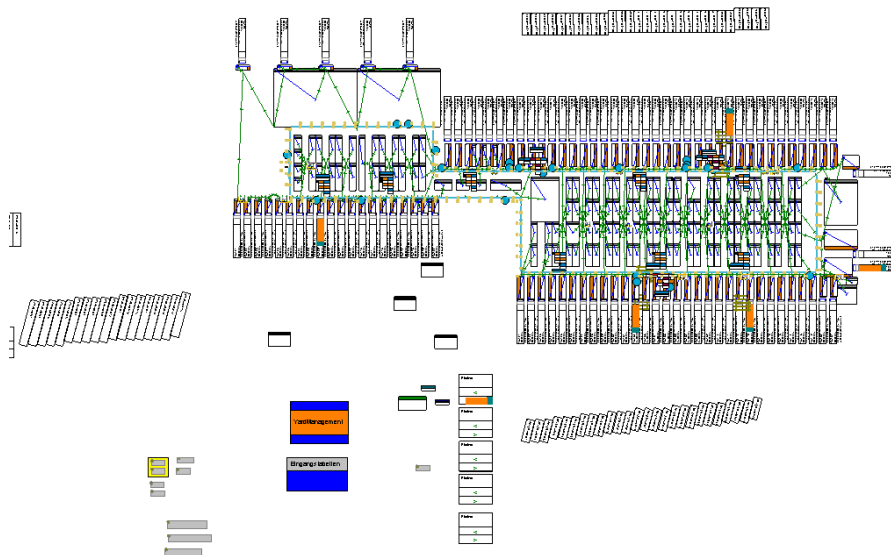
- Bestimmung der Kettendimensionierung (Anzahl Kettenkreisläufe, Kreistyp, Transferstrecken)
- Bestimmung der Anzahl und Anordnung der Ein- und Ausgangszonen
- Bestimmung der Anzahl benötigter Hubwagen
- Bestimmung von Strategien zum Leerwagenhandling

Zudem können mittels der Simulation Prozesszeitanalysen auf Sendungsebene sowie Analysen zur Ketten- und Ressourcenauslastung getroffen werden.

## 4 Modellierung der Speditionsanlage

Die erweiterte Simulationsumgebung wurde eingesetzt, um die Stückgutspeditionsanlage der mittelständischen Spedition Streck Transportgesellschaft mbH in Baden-Württemberg zu modellieren, die eine Unterflurschleppkette ohne Ausschleusstrecken verwendet. Das Simulationsmodell dieser Anlage mit 97 Toren, ca. 350 Fahrzeugen und 2.750 Sendungen pro Tag wurde verwendet, um Erkenntnisse über Engpässe, z.B. bei der Torbelegung oder der Ressourcenauslastung im Tagesverlauf zu erhalten.

Mit Hilfe der Modellatome wurde die Umschlaghalle detailliert modelliert und die Sendungs- sowie Fahrzeugströme auf der Basis von Realdaten abgebildet. Die Strukturdaten der Spedition wurden hierfür in einem ersten Schritt in ein Layout in Microsoft Visio überführt. Mit Hilfe dieses Layouts kann daraufhin über eine entwickelte Schnittstelle die Speditionsanlage in TransSim automatisiert erzeugt werden (Abb. 1).



**Abbildung 1:** Simulationsmodell der Speditionsanlage

Dieses automatisch generierte Simulationsmodell beinhaltet neben den Strukturelementen (z.B. Tore, Entladezonen, Beladezonen, Pufferflächen) der Speditionsanlage und der Unterflurschleppkette ebenfalls die logischen Verknüpfung der Materialflüsselemente und die steuerungs- und strategischen Einstellungen. Auf diese Weise konnte der Modellierungsaufwand zur Erstellung eines komplexen Systems minimiert werden.

## 5 Experimenteplan

In einem ersten Schritt wurde das Ist-Szenario analysiert, um Optimierungsmaßnahmen zu ermitteln und Referenzergebnisse zur Bewertung dieser Maßnahmen zu erhalten.

Das Modell liefert unter anderem Auswertungen zur Auslastung der einzelnen Aufgabe- und Abnahmestationen sowie zu Leistungsparametern der Kette. Die Analyse der Ergebnisse hat gezeigt, dass das Leerwagenhandling und die Dimensionierung der Aufgabe und Abgabe der Handgabelhubwagen auf die Kette (Personalkapazität und Prozessdesign) die Leistungsfähigkeit der Unterflurschleppkette stark beeinflusst und somit ein hohes Optimierungspotenzial bietet. Aus diesem Grund wurden verschiedene Strategien für das Leerwagenhandling und die Auf- und Abgabe von Handgabelhubwagen auf die Kette entwickelt und mittels des Simulationsmodells untersucht.

Die Strategien für das Leerwagenhandling umfassen dabei Ansätze, welche die Leerwagen entweder geordnet an ihren Quellort oder chaotisch an den nächsten Bedarfsort zurückführen. Des Weiteren werden Strategien untersucht, die Leerwagenrückführung entweder teilweise oder komplett unabhängig von der Kette zu organisieren. Im Bereich der Aufgabe von Handgabelhubwagen wurden vor allem Personalkonzepte (Anzahl Mitarbeiter zur Aufgabe und Vorholung) entwickelt und getestet.

Zur Durchführung der Simulationsstudie wurden, neben dem Grundszenario der Ist-Situation, zwei Szenarien entwickelt.

	Vorteile*	Risiken*
Standardrückführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kein extra Personal</li> <li>Keine Quererteilung der Hubwagen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jeder Hubwagen fährt eine komplette Runde und verhindert damit eine mögliche Einschleusung</li> </ul>
Direkte Rückführung ohne Kette	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximal mögliche Kettenleistung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personalaufwand für die Rückführung ist schlecht berechenbar</li> <li>Möglicher Leerhubwagenmangel</li> </ul>
NextBest-Ausschleusung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leere Hubwagen fahren im Besten Fall nur bis zur nächsten Einschleusstation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mögliche Leerhubwagenquerverteilung</li> </ul>

Annahme: Gleichmäßige Nutzung von 2 Zonen

**Abbildung 2:** Auswahl der Szenarien

Das Grundszenario beinhaltet eine komplett geordnete Rückführung der Hubwagen. Jeder Aufgabebereich bekommt dabei eine feste ID und einen festen Pool an leeren

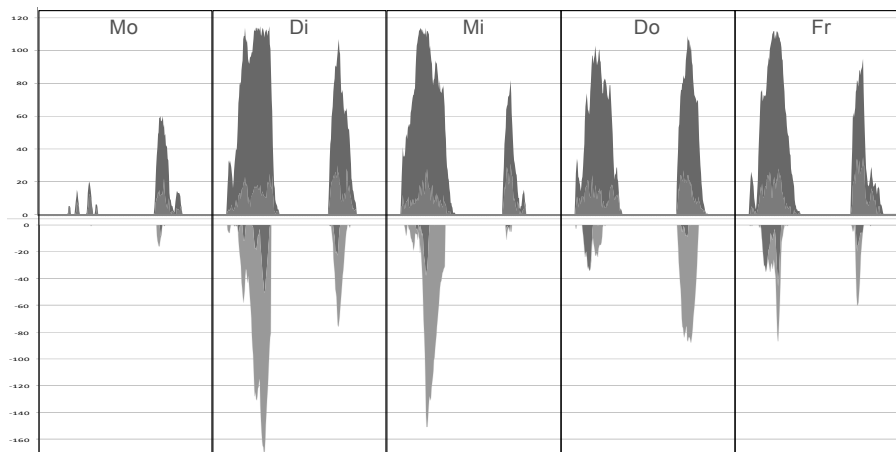
Hubwagen. Die Dimensionierung dieses Pools erfolgt auf Basis der Sendungsmengen, die im Tagesverlauf in diesem Bereich gehandhabt werden. Leere Handgabelhubwagen können nur an Bereichen, die ihrer ID entsprechen entnommen werden.

Szenario 1 beinhaltet eine teilweise bis komplette Rückführung der leeren Handgabelhubwagen außerhalb der Kette. Hierzu wurde die Abgabestation soweit modifiziert, dass der Rückweg nicht mehr bis zur Kette erfolgt, sondern bis zur nächsten Aufgabestation. Der Zeitverbrauch hierfür lässt sich entweder über Verteilfunktionen angeben oder über eine direkte Weg-Zeit-Berechnung. Die direkte Rückführung erfolgt hier entweder nur bei Abgabestationen, welche sich in unmittelbarer Nähe zu einer Aufgabestation befinden oder bei allen Abgabestationen. Bei Stationen ohne direkte Rückführung werden die Hubwagen wie im Grundscenario zurückgeführt. Als Szenario wurde die direkte Rückführung nur bei in der Nähe liegenden Stationen ausgewählt.

In Szenario 2 wird das Konzept der chaotischen Rückführung gewählt. Bei der chaotischen Rückführung wird der leere Hubwagen an der Aufgabestation ausgeschleust, dessen Puffer für Hubwagen einen bestimmten Prozentsatz unterschritten hat, spätestens allerdings an der Aufgabestation mit der ID des Hubwagens. In diesem Szenario wurden Pufferfüllgrade zwischen 50 % und 100 % getestet.

## 6 Ergebnisse

Ziele dieser Optimierung waren die Minimierung von Beständen vor der Kette, die Maximierung der Auslastung der Kette und die Minimierung des Leerwagenanteils auf der Kette bei zwei Einschleusezonen. Wochenweise wurde dafür jeweils das System Unterflurschleppkette wie folgend dargestellt untersucht.



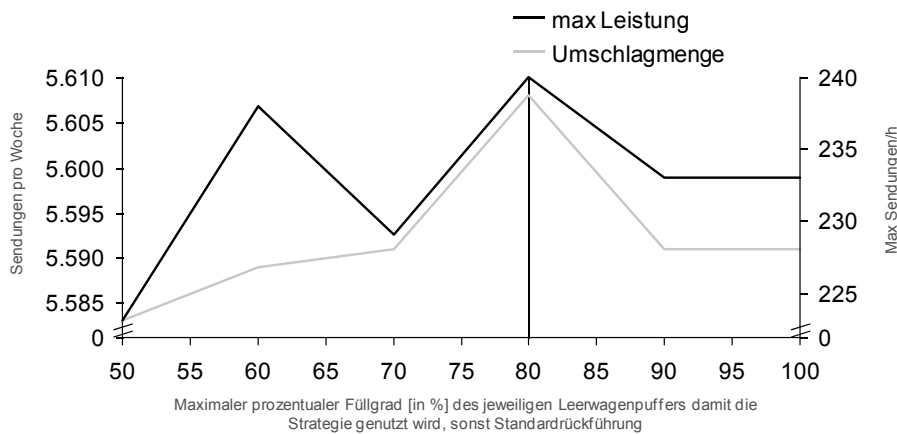
**Abbildung 3:** Analyseparameter zum Betrieb einer Unterflurschleppkette

Dunkelgrau ist die Anzahl beladener Hubwagen, hellgrau die Anzahl leerer Hubwagen im System dargestellt. Der Anteil der leeren Hubwagen beträgt dabei durchschnittlich 15 %. Negativ abgetragen sind die Pufferbestände in den beiden Einschleusezonen dargestellt.

Bei der Grundstrategie schafft das Fördersystem maximal eine Transportleistung von 231 Hubwagen pro Stunde. In der zu Grunde gelegten Beispielwoche werden so 5.588 Hubwagen transportiert.

Bei der direkten Rückführung werden alle Hubwagen von den Ausschleusepositionen manuell durch die Mitarbeiter mit 1m/s zu den Einschleusezonen zurück gefahren. Dabei sank die Leistung auf nur maximal 200 Hubwagen pro Stunde anstatt um 15 % zu steigen. Die Simulation zeigt, dass dies auf Hubwagen- und Personalmangel bei der Einschleusung zurück zu führen ist. Die Wochenleistung sinkt damit auf 5.495 Hubwagen.

Die beste Strategie zum Betrieb dieser Speditionsanlage ist NextBest. Dabei birgt diese jedoch zugleich die Gefahr, dass durch eine Querverteilung in der Halle nicht ausreichend leere Hubwagen in einer Zone zur Verfügung stehen. Daher wurden die Auswirkungen unterschiedlicher maximale Füllgrade der Puffer, bei denen diese Strategie greift, simuliert. Die folgende Abbildung zeigt die maximale Leistung in Abhängigkeit des maximalen Füllgrads.



**Abbildung 4:** Analyseparameter zum Betrieb einer Unterflurschleppkette

Die höchste Leistung ist demnach bei einem maximalen Füllgrad von 80 % möglich. Damit lässt sich die Leistung auf 240 Hubwagen pro Stunde steigern. Die Analyse zeigt jedoch ebenfalls, dass die operative Umsetzung dieser Strategie nicht so konsequent umzusetzen ist und damit Leistungsschwankungen von ca. 4-5 % allein durch die Leerwagenrückführung erwartet werden müssen.

## Literatur

BARTHOLDI, J. J.; GUE, K. R.: The Best shape for a crossdock. Technical Report. Monterey, CA: Naval Postgraduate School, 2000.

BRÜSER, D.: APULS – Arbeitsplätze in Umschlag- und Lageranlagen von Speditionsunternehmen. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1991.

CHMIELEWSKI, Annette: Entwicklung optimaler Torbelegungspläne in Stückgutspeditionsanlagen. Dortmund: Dissertation, TU Dortmund, 2007.

CLAUSEN, Uwe; GOERKE, Manuel. Nur gemeinsam überzeugend – Anforderungen an eine speditionelle Umschlaganlage. In: DHF - Deutsche Hebe- und Fördertechnik, Ludwigsburg, (2004)6, S.158-160.

NEUMANN, Larissa; DEYMANN, Simon: TRANSSIM-NODE - a simulation tool for logistics nodes. Industrial Simulation Conference. Lyon: The European Simulation Society, 2008, S. 283-287.