

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

Prozess-Simulation als Methodenwerkzeug für den Funktionsnachweis komplexer Infra- und Superstrukturplanungen am Beispiel eines Terminals für den intermodalen Ladungsverkehr

***Process Simulation as Methodical Tool for the Functionality Evaluation
of Complex Infra- and Superstructure Planning explained by using the
Example of a Terminal for the Intermodal Freight Handling***

Birger Latki
Baltic Marine Consult GmbH, Rostock (Germany)
latki@bmc-info.de

Holger Pitsch
INCONTROL Simulation Solutions, Wiesbaden (Germany)
holger.pitsch@IncontrolSim.com

Christian Greinert
Baltic Marine Consult GmbH, Rostock (Germany)
greinert@bmc-info.de

Christoph Meyr
INCONTROL Simulation Solutions, Augsburg (Germany)
christoph.meyr@IncontrolSim.com

Abstract: Handling terminals in the intermodal traffic are subjected to a multiplicity of stochastic impacts which are only depending on each other conditionally. With analytical procedures the interactions of these impact factors can only be illustrated limited. For the dimensioning of new terminals respectively the extension of existing facilities towards flexible handling terminals which cover the whole range of intermodal transport multiplicity the utilisation of adequate models by which these interrelations can be detected is recommended. The following planning task describes the utilisation of the simulation tool Enterprise Dynamics as support for solving complex planning tasks.

1 Darstellung der Planungsaufgabe

Im Frühjahr 2008 wurde die Baltic Marine Consult GmbH als Teil eines internationalen Projektteams mit der Umgestaltung eines Terminals für den kombinierten Verkehr in Skandinavien beauftragt. Dieses Terminal soll den Übergang zwischen den Hauptverkehrsträgern Schiene und Straße gewährleisten. Dazu werden die Hauptfunktionsbereiche so ausgelegt, dass alle Arten von intermodalen Einheiten umgeschlagen, gelagert und abgefertigt werden können. Die dafür erforderliche Infrastruktur soll dabei so ausgerichtet werden, dass das Terminal auf sich ändernde Rahmenbedingungen des Marktes flexibel reagieren kann.

Worum geht es konkret?

Der kombinierte Verkehr verbindet die Verkehrsträger Schiene und Straße, wobei er dabei die Kapazitäten der Schiene auf langen Strecken und die Flexibilität der Straße in der Fläche nutzt. Im kombinierten Verkehr werden standardisierte Ladeeinheiten zwischen den Verkehrsmitteln Zug und Lkw umgeschlagen. An der Ladung selbst wird keine Leistung erbracht. Standardisierte Ladeeinheiten sind Container, Wechselbrücken und Trailer in unterschiedlichen Ausführungen, die bis zu 40 t schwer sein können. Der Wechsel zwischen den Verkehrsmitteln und Verkehrsträgern erfolgt in speziellen Terminals, in denen die Ladeeinheiten mit dem entsprechenden Equipment umgeschlagen und zwischengelagert werden. Um die daraus entstehenden Anforderungen abzudecken, bedarf es einer ausreichenden Dimensionierung der wesentlichen Bestandteile eines KV-Terminals, wie z.B. Ladegleise, Umschlaggeräte, Lagerflächen, inneren Verkehrswege u.a.m.

Im aktuellen Planungsfall soll ein Terminal mit einer gegenwärtigen Umschlagmenge von rund 0,5 Mio. Ladeeinheiten pro Jahr für die Aufnahme von 1,5 Mio. Ladeeinheiten pro Jahr ertüchtigt werden. Dabei soll der konventionelle Teil eines klassischen Eisenbahnterminals unter laufendem Betrieb in ein modernes Umschlagterminal mit den entsprechenden Umschlag-, Verkehrs- und Abfertigungsanlagen umgewandelt werden. Im Verlauf der Projektarbeit wurde einem modular aufgebauten Terminal, das aus mehreren baugleichen Umschlagmodulen besteht, die durch schienengebundene Portalkräne (RMG) überspannt werden, der Vorzug gegeben. Zur Veranschaulichung der Projektaufgabe sind in Abbildung 1 der Ist- und Sollzustand des zu überplanenden KV-Hubs dargestellt.

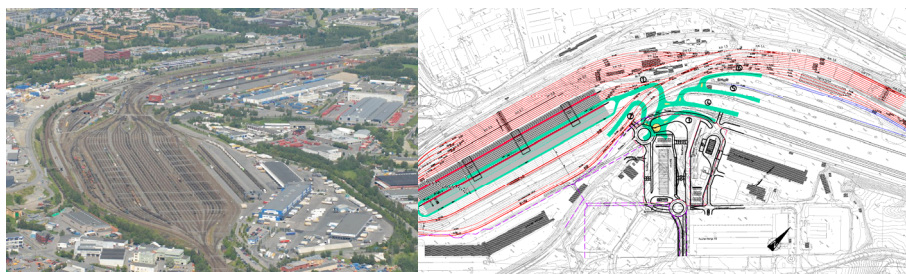


Abbildung 1: Übersicht über die gegenwärtige Nutzung und Ausbau im ersten Bauabschnitt des KV-Terminals

Die grau unterlegte Fläche in dem rechten Lageplan stellt eines der neuen Umschlagmodule dar, das auf dem konventionellen Rangierbahnhof errichtet wird,

der in seinem aktuellen Zustand in der linken Abbildung zu sehen ist. Erschlossen werden die Umschlagmodule zukünftig über ein Tunnelsystem, welches im Lageplan grün dargestellt ist.

2 Aufgaben und Ziele der Terminalsimulation

2.1 Abgrenzung der Modellbildung

Sowohl die Umschlag-, Abfertigungs- als auch die Lagerprozesse werden mit zunehmender Ladungsträger-, Relations- und Kundenvielfalt immer heterogener. Sie lassen sich selbst bei tief strukturierter Datenbasis der Durchlaufprozesse und der Wirkungsweise der wesentlichen Einflussfaktoren mit analytischen Verfahren kaum hinreichend genau darstellen. Hierbei erscheint insbesondere die Abbildung der stochastischen Prozesse mit Hilfe eines Simulationsmodells äußerst hilfreich.

Auf Grund der Komplexität der Zu-, Ablauf-, Umschlag- und Lagerprozesse wurden die Durchlaufprozesse des Terminals in drei Bereiche unterteilt, die vorerst weitestgehend unabhängig voneinander betrachtet werden:

- Für den Zu- und Ablauf der Züge sowie für die erforderlichen Rangierfahrten wurde ein **Bahnbetriebsmodell** mit Hilfe der Simulationssoftware Open Track erstellt.
- Für den Zu- und Ablauf der Straßentransporteinheiten sowie für die innere Verkehrsführung zwischen den Umschlagmodulen wurde auf Basis der Simulationssoftware "ViSSim" ein **Abfertigungsmodell** entwickelt.
- Für die Umschlag- und Lagerprozesse wurde mit Hilfe der Simulationssoftware "Enterprise Dynamics" ein **Umschlagbetriebsmodell** eines Umschlagmoduls erstellt.

Die drei Simulationsmodelle wurden bewusst von unterschiedlichen Teams erstellt. Zwischen den einzelnen Modellen wurden lediglich die Schnittstellen definiert. So wurden zwischen dem Bahnbetriebsmodell und dem Umschlagbetriebsmodell der Fahrplan und seine Störungen aus dem Bahnbetriebsmodell als Eingangsdaten in das Umschlagbetriebsmodell implementiert.

Die Schnittstelle zwischen dem Umschlagbetriebsmodell und dem Abfertigungsmodell wurde als Pufferlager definiert. Die Ankunftsverteilungen beider Modelle werden nicht vom jeweils anderen übernommen, sondern sie bilden die Grundlage für die Dimensionierung eines eigenen Lagerbereichs am Eingangsbereich des KV-Terminals.

Das Umschlagbetriebsmodell bezieht sich auf ein in den vorangegangenen Planungsphasen entwickeltes Umschlagmodul, das aus Ladegleisen sowie Lager- und Übergabeflächen unterschiedlichster Ausführung besteht, die von mehreren schienegebundenen Portalkranen mit beidseitiger Auskrantung überspannt werden. In Abbildung 2 ist der Aufbau eines Umschlagmoduls mit zentraler Anordnung der Ladegleise und beidseitige Anordnung der unterschiedlichen Lagerflächen im Schnitt dargestellt.

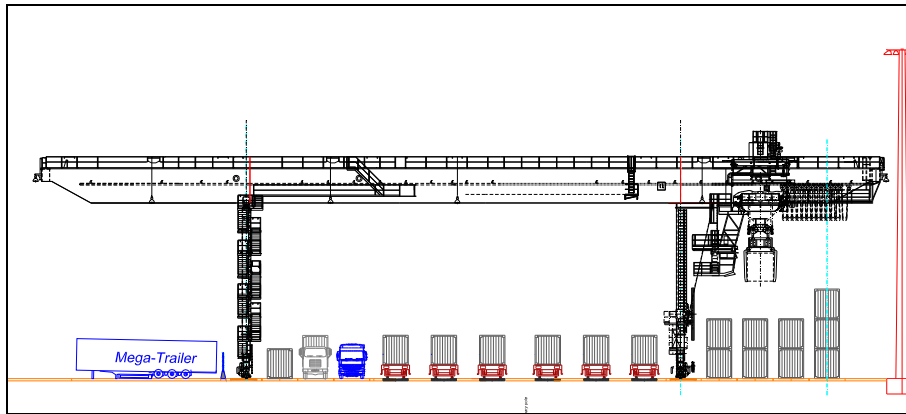


Abbildung 2: Querschnitt des im Simulationsmodell abgebildeten Umschlagmoduls

2.2 Notwendigkeit der Modellbildung

Mit den analytischen Ansätzen zur Dimensionierung der wesentlichen Funktionsbereiche wurden die dynamischen Umschlagprozesse nur bedingt berücksichtigt. Für die Dimensionierung der unterschiedlichen Lagerbereiche waren hier vorerst die allgemeinen Lager- und Umschlageigenschaften der Ladeeinheiten sowie die Anzahl und Auslegung der Umschlaggeräte, die auf die mittleren Zugstandzeiten und Lagerverweildauern angepasst wurden, ausschlaggebend. Die gegenseitigen Beeinflussungen durch die spezifischen Umschlageigenschaften der Ladeeinheiten, die äußeren Einflüsse sowie die nur bedingt aufeinander abgestimmten stochastischen Zulauf-, Lager- und Abholprozesse konnten hierbei jedoch nicht erfasst werden. Hierfür wurde das Umschlagbetriebsmodell in Enterprise Dynamics entwickelt.

Mit der Modellierung der stochastischen Umschlag- und Lagerprozesse soll der Funktionsnachweis der analytisch entwickelten Layouts erbracht werden. Die Modellbildung und Simulation erfolgte mit Hilfe der Simulationssoftware Enterprise Dynamics, die einen modularen und anpassungsfähigen Modellaufbau gewährleistet. In der modularen Grundstruktur der Simulationssoftware liegt eine der wesentlichen Stärken, die es ermöglicht, verschiedene Anordnungen der Funktionsbereiche, operative Strategien sowie unterschiedliche Ladungsstrukturszenarien, welche sich zudem im täglichen Betrieb eines Terminals kurzfristig ändern können, einfach abzubilden.

3 Aufbau des Umschlagbetriebsmodells

Mit der Modellierung werden die bis dahin deterministischen Ansätze für die Ladungsträgerstruktur, die Lagerverweildauern sowie die Umschlag- und Umfuhrzeiten als stochastische Prozesse betrachtet, welche den zu erwartenden realen Betrieb so detailliert wie möglich abbilden. Dabei werden die verschiedenen Einflussgrößen anhand der aus dem Evaluationsprozess abgeleiteten Verteilungsfunktionen als zufällige Ereignisse betrachtet. Die Simulationssoftware Enterprise Dynamics bietet die Möglichkeit, stationäre und bewegliche Modellelemente zu

kreieren bzw. anzupassen, so dass physische und durchlaufbestimmende Eigenschaften mitgeführt, abgestimmt, gegenseitig beeinflusst und geändert werden können.

Als stationäre Modellelemente werden die Infrastrukturelemente Ladegleise, Transportstraßen und Lagerflächen betrachtet. Zusätzlich werden die Krane als stationäre Modellelemente betrachtet. Sie geben den beweglichen Modellelementen entscheidende Impulse während des Durchlaufprozesses.

Als bewegliche Modellelemente werden die umzuschlagenden Ladeeinheiten (Trailer, Wechselbrücken, Container) betrachtet. Zusätzlich werden die Transporteinheiten auf der Schiene und Straße betrachtet. Die Ladeeinheiten, die zwischen Waggonen und LKWs umgeschlagen werden, durchlaufen das komplette Umschlagmodul. Ihr Durchlauf wird durch ihre Durchlaufzeit, ihre Umschlag- und Lager-eigenschaften bestimmt.

In Abbildung 3 ist das Umschlagbetriebsmodell als Momentaufnahme eines Simulationslaufes abgebildet. Hier sind die Anordnung der stationären Modellelemente analog zum Aufbau des Umschlagmoduls (vgl. Abb. 2) sowie die Belegung der Züge in den Ladegleisen und die Belegung der Lagerflächen zu beiden Seiten der Ladegleise mit den beweglichen Modellelementen (Ladeeinheiten) zu erkennen.

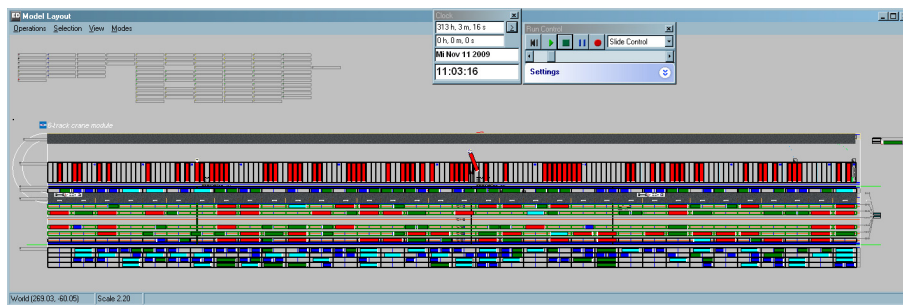


Abbildung 3: Momentaufnahme des Simulationsmodells während eines Simulationslaufes

3.1 Train Creator

Als wesentliche Einflussgröße wird dem Umschlagbetriebsmodell ein realer Fahrplan mit den zu erwartenden Störgrößen (Verspätungen) hinterlegt. In einem, dem eigentlichen Umschlagmodul vorgeschalteten Simulationsbaustein, dem so genannten "**Train Creator**", werden die Züge zufällig mit Ladeeinheiten so belegt, dass sich die im Vorfeld aus den zu erwartende Marktentwicklungen abgeleiteten Ladungsträgerstrukturen und Zugauslastungen im Verlauf einer Simulationsperiode einstellen, einzelne Züge aber deutlich voneinander und von dem unterstellten Mittelwert abweichen. Der straßenseitige Zu- und Ablauf resultiert aus zufallsverteilten Verweildauern der Ladeeinheiten im Umschlagmodul, die letztlich vom Fahrplan und vom "**Train Creator**" definiert werden. Mit dem "**Train Creator**" und dem Fahrplan wird jeder Ladeeinheit, egal ob sie das Terminal mit dem Tug oder auf der Straße erreicht, ihre spezifische Eingangs-, Ausgangs- und Durchlaufzeit durch das

Umschlagmodul mitgegeben. Letztlich ersetzt der "**Train Creator**" den Markt der die eigentlichen Umschlag- und Lagerbedarfe kreiert.

3.2 Ladeeinheiten als bewegliche Modellelemente

Grundsätzlich werden die Terminaldurchläufe der Ladeeinheiten über die Zeit gesteuert. Jede Ladeeinheit, die zwischen Waggon und Lkw verladen wird, hat eine klar definierte Verweildauer im Umschlagbereich. Diese Verweildauer setzt sich

- aus der Verweildauer auf dem Zug,
- der (den) Umschlagzeit(en) bzw. der Verweildauer(n) am Umschlaggerät und
- den Lagerverweildauern zusammen.

In Abhängigkeit der Verweildauer der Züge und der Ankunftsverteilung der Straßenfahrzeuge ergeben sich direkte Umschläge zwischen Zug und Lkw und indirekte Umschläge über die unterschiedlichen Lagerbereiche. Aus dem Anteil der indirekt über die Lagerbereiche umzuschlagenden Ladeeinheiten, deren Lagereigenschaften und deren Restverweildauer im Umschlagterminal ergeben sich letztlich die Lagerbedarfe. Sie unterscheiden sich für die unterschiedlichen Typen von Ladeeinheiten. Neben der Durchlaufzeit bestimmen die Umschlag- und Lagereigenschaften der Ladeeinheiten den Umschlagzeitpunkt und den Lagerort jeder einzelnen Ladeeinheit.

3.3 Krane als durchsatzbestimmende Modellelemente

Den Kranen – als die den Durchsatz bestimmenden Funktionselemente des Umschlagmoduls – kommt die größte Bedeutung im Simulationsmodell zu. Neben dem physischen Umschlag, bei dem die stochastischen Einflussgrößen (Umschlagereigenschaften der Ladeeinheiten, Wetter- und Sichtverhältnisse, Verfassung und Ausbildung des Fahrers, ...) berücksichtigt werden müssen, erfüllt der Simulationsbaustein "Kran" eine Vielzahl weiterer Funktionen, die im realen Betrieb vom Kranfahrer und/oder von der Leitzentrale übernommen werden. So müssen die Krane mit jeder umzuschlagenden Ladeeinheit "Kontakt aufnehmen", um ihre individuellen Eigenschaften zu überprüfen. Im Simulationsmodell werden die Umschlagzeitpunkte vom Modellelement Kran mittels einer "**Jobliste**" erzeugt. Diese **Jobliste** legt letztlich fest, wie sich die Durchlaufzeit einer Ladeeinheit in die Verweildauer auf dem Zug, im Lagerbereich und auf die Umschlagzeit aufteilt.

Die "**Jobliste**" ist ein Resultat aus der Abfertigung der direkten Umschläge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle des Umschlagmoduls gehandelt werden müssen, und der Wegeoptimierung des Kranfahrwerkes. Dabei wird die "**Jobliste**" von

- den technischen Parametern, die die Arbeitsspieldauern der Krane determinieren,
- den Suchalgorithmen der Krane in Abhängigkeit des Ladeeinheitentyps und des Füllgrades der Lagerbereiche und
- den Zu- und Ablauf der Straßentransporteinheiten auf die Übergabeplätze

determiniert und ständig aktualisiert. Die Krane fungieren hier im Zusammenspiel mit den Ladeeinheiten als Steuerzentrale des Terminals. Sie belegen die Lager wegeoptimal für die Umschlaggeräte und fordern zeitgenau die Transporteinheit zu dem festgelegten Umschlagplatz. Im Simulationsmodell wird diese Steuerung über einen Controllerbaustein abgebildet, welcher permanent auf die Jobliste zugreift, um die Dringlichkeit des Umschlages für alle anstehenden Ladeeinheiten zu aktualisieren, bevor der jeweils nächste Umschlagauftrag mit der höchsten Priorität an einen für diesen Terminalbereich zuständigen freien Kran übergeben wird und gegebenenfalls die Freigabe der zugehörigen Straßentransporteinheit zur Anfahrt des Übergabeplatzes erfolgt. Die dabei kontinuierlich durchlaufene Routine zeigt Abbildung 4. Mit dieser werden Prioritäten, Umschlagrichtungen, Umschlageigenschaften und die resultierenden Fahrweglängen ständig aktualisiert.

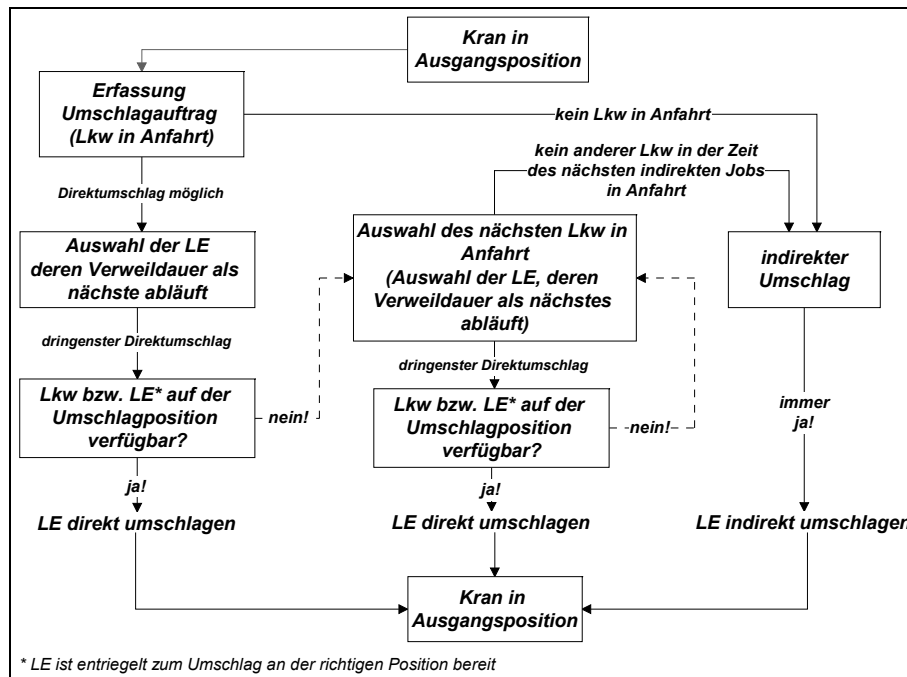


Abbildung 4: Routine für das Erstellen der "Jobliste"

3.4 Fazit

Mit Hilfe des Simulationsmodells können die Diskontinuitäten im Zu- und Ablauf der unterschiedlichen Ladungsträger und die daraus resultierenden Wechselwirkungen der Umschlagprozesse beim Ladungsträgerwechsel, sowie die Ein- und Auslagerungsprozesse bei der Lagerbedienung detailliert ausgewertet werden. Die Nutzung bzw. die Sperrung einzelner Modulbereiche werden dabei im Simulationsmodell berücksichtigt und können jederzeit ausgewertet werden. Dazu werden definierte, flexibel implementierte Messpunkten ausgelesen. Mit diesen Daten kann der Auslastungsgrad jedes beliebigen Funktionselements über dem gesamten Terminaldurchlauf verfolgt werden.

Des Weiteren können die Wechselwirkungen der einzelnen Funktionsbereiche und auch ihrer Einzelemente bei unterschiedlichen Durchlauf Routinen im Gesamtsystem aufgezeichnet und dargestellt werden. So liefert ein letztlich geeichtes Simulationsmodell erste Ansätze für ein Terminal-Steuerungs-System und somit den Einsatz im operativen Geschäft.

Gegenüber den analytischen Planungsschritten wird mit dem Simulationsmodell ein deutlich höherer Detaillierungsgrad erreicht. Es werden Spitzenbedarfe ermittelt, die in Abhängigkeit des Fahrplans, der Auslastung der Züge und der Ladeeinheiten auf den Zügen deutlich voneinander abweichende Bedarfe erzeugen. Diese Aufkommensdiskontinuitäten sowie die mit der Simulation aufgezeigten gegenseitigen Beeinflussungen unterschiedlicher Bedienprozesse und extremer Forderungen nach speziellen Funktionselementen zeigten deutlich, dass selbst bei relativ geringen Kapazitätsauslastungen spezielle Bedarfe schwer zu decken sind und sich daraus Störungen des Gesamtsystems ergeben können. Diese Szenarien können mit Hilfe der Simulation durchgespielt werden, und es lassen sich geeignete Strategien für das Tagesgeschäft ableiten.

Die operativen Abläufe in den Umschlagterminals des intermodalen Verkehrs eignen sich letztlich sehr gut für den Einsatz von Simulationsmodellen, da die Zu- und Abläufe in der Regel länger als 24 Stunden vorgebucht werden und somit die Chance besteht, die geeigneten Umschlagstrategien bzw. die erforderliche Zahl an Arbeitskräften für den kommenden Tag mit Hilfe der Simulation vorzubestimmen. Erforderlich hierfür sind allerdings ein angepasstes, geeichtes Simulationsmodell auf Basis einer geeigneten Softwareplattform, wie sie Enterprise Dynamics darstellt und eine möglichst detaillierte Datengrundlage der realen Umschlag- und Lagerprozesse.