

# Intelligente und dynamische Stellplatzvergabe für den Umschlag Trailer/Bahn im kombinierten Ladungsverkehr

Intelligent and dynamic pitch allocation for trailer/rail transshipment in combined freight transport

Nina Vojdani  
Axel Zahn

Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik  
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik  
Universität Rostock

**B**edingt durch den voranschreitenden Anstieg des Güterverkehrs stößt das bestehende Straßennetz an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit. Es gilt daher, neben dem unimodalen Transport auf der Straße alternative Verkehrsträger stärker einzubinden. Durch die Nutzung des kombinierten Ladungsverkehrs kann ein Großteil des Gütertransportes von der Straße auf die Schiene verlegt werden. Die Optimierung der Umschlagprozesse stellt dabei einen wesentlichen Faktor zur Gewährleistung eines effizienten Transportes dar. Die Zielsetzung dieses Beitrags besteht in der Entwicklung eines Steuerungssystems zur intelligenten Stellplatzvergabe für den Umschlag Trailer/Bahn im kombinierten Ladungsverkehr zur Minimierung der Kranfahrzeiten bzw. -strecken bei der Verladung von Trailern. Zur effizienten und fehlerfreien Umsetzung des Steuerungssystems wird auf die Verwendung von RFID-Technologie zurückgegriffen. Das Konzept der dynamischen Stellplatzvergabe wird innerhalb eines Simulationsmodells umgesetzt.

[Schlüsselwörter: kombinierter Ladungsverkehr, Umschlagprozesse, Stellplatzvergabe, Simulation]

**D**ue to the progressive increase in freight traffic, the existing road network is reaching the limits of its capacity. Therefore, in addition to unimodal transport by road, alternative modes of transport must be integrated to a greater extent. By using combined freight transport, a large part of the freight transport can be shifted from road to rail. The optimization of the transshipment processes is an essential factor to guarantee an efficient transport. The objective of this paper is to develop a control system for intelligent pitch allocation for trailer/rail transshipment in combined freight transport to minimize crane travel times or distances when loading trailers. RFID technology is used to ensure efficient and error-free implementation of the control system. The concept of dynamic pitch allocation is implemented within a simulation model.

[Keywords: combined freight transport, transshipment processes, pitch allocation, simulation]

## 1 EINLEITUNG

Der stetige Anstieg des Güterverkehrs stellt das Straßennetz vor große Herausforderungen. Im Vergleich zum Jahr 2010 wird bis 2030 eine Zunahme des Güterverkehrs von rund 38% prognostiziert. [BMDV22] Neben dem unimodalen Transport auf der Straße müssen daher andere Verkehrsträger stärker genutzt werden. Ziel muss es sein, einen Großteil der Güter von der Straße auf die Schiene und den Wasserweg zu verlagern. Vor diesem Hintergrund stellt der kombinierte Ladungsverkehr eine geeignete Lösung dar. Ladeeinheiten wie Container, Wechselbrücken oder Trailer (Sattelaufleger), werden dabei über lange Strecken auf der Schiene bzw. der Wasserstraße transportiert. LKW-Fahrten sind nur für den Vor- und Nachlauf erforderlich. [BMDV18] Das Potential des kombinierten Ladungsverkehrs ist daher enorm und dessen Nutzung wird Prognosen zufolge von 2010 bis 2030 um rund 79% steigen. [BMDV22]

Dieses Wachstum wird sich angesichts der knappen Kapazitäten schwer bewältigen lassen. Die Umschlagprozesse von Trailern stellen beteiligte Unternehmen vor besondere Herausforderungen, unter anderem bedingt durch den höheren Platzbedarf bei der Lagerung. Trailer können nicht gestapelt und müssen mit Abstand zu anderen Ladungsträgern gelagert werden. Somit gestaltet sich auch die Bereitstellung der einzelnen Trailer an den Gleisanlagen schwierig.

Vor diesem Hintergrund soll es das Ziel dieses Beitrags sein, ein Konzept zur intelligenten und dynamischen Stellplatzvergabe zu entwickeln. Dabei wird auf RFID-Technologie zurückgegriffen, welche den Handhabungs-

prozess der Trailer digitalisieren und somit effizienter gestalten soll. Zunächst soll der Stand der Forschung in diesem Bereich aufgezeigt werden. Im Anschluss wird der grundlegende Aufbau sowie die Funktionsweise eines Terminals des kombinierten Ladungsverkehrs erläutert. Darauf aufbauend wird das entwickelte Konzept dargestellt und auf die Systemarchitektur sowie die Prozessbeschreibung eingegangen. Der entwickelte Ansatz wird anschließend im Rahmen einer ereignisdiskreten Simulation implementiert und validiert.

## 2 STAND DER FORSCHUNG

In diesem Abschnitt werden bisherige Arbeiten mit Bezug zur Optimierung der Umschlagprozesse im kombinierten Ladungsverkehr aufgeführt. Dabei wird auf Forschungsarbeiten eingegangen, welche die Besonderheiten einer Nutzung von Portalkranen berücksichtigen sowie die damit verbundenen Optimierungspotentiale aufzeigen.

Wang und Zhu konzentrieren sich auf den Umschlag von Containern zwischen Straße und Zug. Dabei teilen sie die Gleisanlage in Zonen ein, für welche je ein Portalkran zuständig ist. Ziel ist es, unter Verwendung eines Ameisen-Kolonie-Algorithmus, die Leerlaufzeiten der Krananlagen während der Umschlagphase zu minimieren. [WZ14]

Guo et al. beschäftigen sich mit dem Zusammenhang zwischen der exakten Position eines Zuges auf dem Gleis und den damit verbundenen Auswirkungen auf den Auslastungsgrad der Portalkrananlagen. Wesentliche Restriktion ist auch hier die feste Zuordnung der Krananlagen zu konkreten Zuständigkeitsbereichen sowie das Einhalten eines Sicherheitsabstandes. [GCZ+13]

Ein weiterer Ansatz zur Optimierung des Auslastungsgrades wurde von Xie et al. entwickelt. Die Leerfahrten der LKW auf dem Terminal sollen minimiert werden, indem der Ent- und Beladeprozess der Züge simultan stattfindet. Die Krananlagen sind dabei an keine festen Zonen gebunden, wodurch die Komplexität dieses Ansatzes deutlich steigt. [XWY19]

Ren et al. lösen sich ebenfalls von fest definierten Zuständigkeitsbereichen der Krananlagen, indem eine Überschneidungszone eingeführt wird. Ergänzt wird dieser Ansatz um den Einsatz von Zugmaschinen am Gleis. Mit Hilfe von Split-Moves und Direct-Moves, werden die Container umgeschlagen und so wird versucht, die Wege für die Portalkrane zu minimieren. [REN21]

Neben den intermodalen Anlagen stehen auch Terminals mit einem Umschlag zwischen mehreren Zügen im Fokus der Untersuchungen. Durch den Einsatz von schienengebundenen Portalkranen lassen sich Konzepte zur Optimierung derartiger Anlagen auf intermodale Terminals übertragen, auf denen ähnliche Systeme Anwen-

dung finden. Fedtke und Boysen konzentrieren sich in ihren Untersuchungen auf die Minimierung der Abarbeitungsdauer eines Umschlagprozesses zwischen mehreren Zügen. Dabei wird die Gleisanlage auch hier in feste Zonen unterteilt. Der Lösungsansatz besteht in der angepassten Positionierung der Züge auf dem Gleis sowie der exakten Terminierung der Ankünfte aller Züge, welche Ladung untereinander austauschen, um die Bewegungsdistanz der einzelnen Portalkrane gering zu halten. [FB17]

Während Fedtke und Boysen auf die Verwendung von Shuttles zurückgreifen, untersuchen Abourraja et al. einen Ansatz unter Ausschluss weiterer über die Portalkrane hinausgehender Ressourcen. Die Auftragszuordnung zu den frei beweglichen Krananlagen erfolgt durch den Einsatz eines Multi-Agenten-Systems sowie eines Ameisen-Kolonie-Algorithmus. [AOS+17]

In bisherigen Untersuchungen wird vorwiegend auf den Umschlag von Containern zwischen Straße-Schiene, Schiene-Wasser und auch Schiene-Schiene eingegangen. Ein Großteil des kombinierten Ladungsverkehrs macht neben den Containern jedoch der Transport von Trailern aus, welcher in der Literatur bisher nicht ausreichend Beachtung findet.

## 3 AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE EINES TERMINALS DES KOMBINIERTEN LADUNGSVERKEHRS

Bei dem hier beschriebenen KV-Terminal handelt es sich um eine Kombination aus einem RoRo-Terminal und einem Terminal des kombinierten Ladungsverkehrs. In einer solchen Anlage lassen sich unterschiedliche Funktionsbereiche definieren (siehe Abbildung 1). Mit Hilfe von Gates am Ein- und Ausgang des Terminals können landseitig ankommende und ausgehende Ladeeinheiten erfasst und überprüft sowie die Einhaltung des zugewiesenen Zeitfensters kontrolliert werden.

Nach der Ankunft eines Ladungsträgers gilt es zwischen den verschiedenen Zielen zu unterscheiden. Begleitete Fahrzeuge für den Transport per Schiff werden in einen dafür vorgesehenen Wartebereich geleitet und warten dort auf die Verladung. Unbegleitete Ladeeinheiten (Trailer) werden mit Hilfe von LKW vom Gate zu einem Export-Bereich transportiert, bevor terminaleigene Tugmaster sie im Anschluss auf das Schiff fahren. Neben der Verfrachtung per Schiff besteht zudem die Möglichkeit die Ladeeinheiten per Zug zu transportieren. In diesem Fall werden die Trailer per LKW zum entsprechenden Export-Bereich des KLV-Terminals transportiert und verbleiben dort nach dem Abstellen bis zur Bereitstellung an der Gleisanlage.

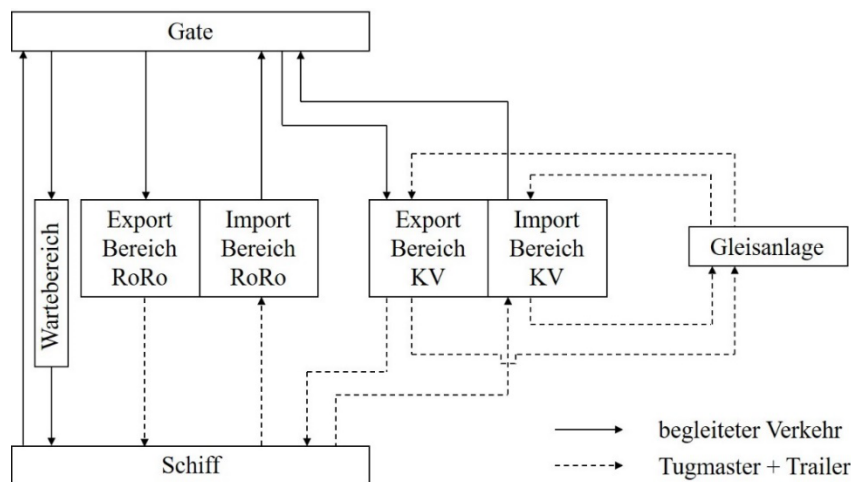


Abbildung 1: Modell der Funktionsbereiche eines KLV-Terminals

Ein Großteil der Ladeeinheiten, welcher das Terminal per Schiene erreicht, wird auf ein Schiff verladen und exportiert. In diesem Fall werden die entladenen Trailer mit Hilfe der Tugmaster in den Export-Bereich des kombinierten Ladungsverkehrs und später auf das Schiff transportiert. Ein kleinerer Teil der Ladeeinheiten wird von der Gleisanlage aus in den Import-Bereich gefahren. Die entsprechenden LKW holen dann die Trailer ab und verlassen das Terminal über eines der Gates.

Per Schiff ankommende Ladeeinheiten haben ebenfalls zwei Möglichkeiten für den weiteren Transport. Begleitete Ladeeinheiten können das Terminal auf direktem Weg über eines der Gates verlassen. Unbegleitete Ladeeinheiten werden von Tugmastern vom Schiff gefahren und warten im Anschluss in dem Import-Bereich auf den Abtransport per LKW oder den Transport an die Gleisanlage.

Für die in diesem Beitrag dargelegten Untersuchungen wurde das Terminal des kombinierten Ladungsverkehrs am Überseehafen Rostock als beispielhaftes Szenario gewählt. Bei diesem Terminal handelt es sich um eine Kombination eines RoRo-Terminals und eines Terminals des kombinierten Ladungsverkehrs. Der grundlegende Aufbau entspricht dabei im Wesentlichen der eingangs geschilderten Funktionsweise.

Ausgehend von der Bereitstellung der Trailer im Export-Bereich sowie im Import-Bereich des kombinierten Ladungsverkehrs, kann der Transport der Ladeeinheiten an die Gleisanlage geplant werden. Nachfolgend wird der aktuelle Prozessablauf unter Verwendung einer statischen Stellplatzvergabe beschrieben.

Ausgangspunkt der Bereitstellung ist eine Ladeliste, welche von den Operatoren selbst erstellt wird. Diese Liste enthält Informationen über die ILU-Nummer der zu verladenen Trailer sowie eine verbindliche Uhrzeit für die Abfahrt des Zuges. Die Aufgabe besteht daher in der korrekten und zeitlich angemessenen Bereitstellung der Trailer entlang der Gleisanlage. Für jedes Gleis sind derzeit 22 Stellplätze reserviert und farblich markiert (siehe Abbildung 2). Die Ladeeinheiten werden dem entsprechend gleichmäßig verteilt. Ein Zug in voller Länge hat jedoch bis zu 32 Stellplätze. Ausgehend davon entstehen teilweise lange Wegstrecken für die Portalkrane, welche die Abfertigungszeit der einzelnen Aufträge negativ beeinflussen.

Der Kranführer erhält per Funk die Informationen welcher Zug als nächstes beladen wird. Die konkrete Position der Trailer auf dem Zug ist dabei der zuvor erstellten Liste zu entnehmen. Jeder Kranführer wird durch einen Mitarbeiter am Boden unterstützt, welcher den Trailer sichert und eine Einweisung am Boden vornimmt. Die Gleisanlage

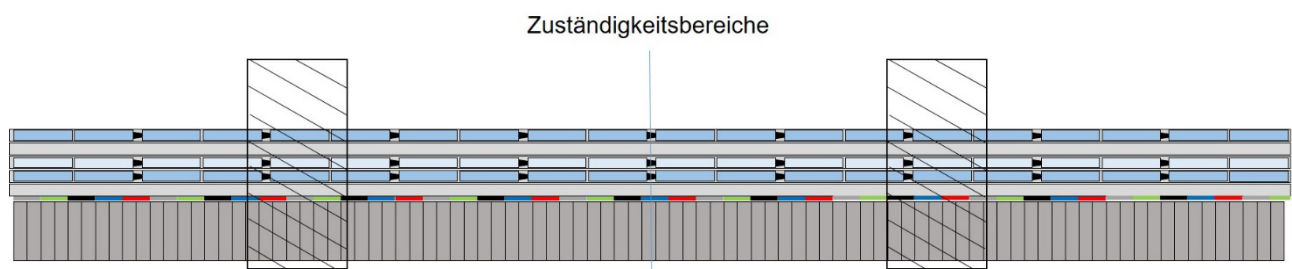


Abbildung 2: Modellhafte Gleisanlage des Terminals für kombinierten Ladungsverkehr

wird dabei in zwei Zuständigkeitsbereiche unterteilt, um Interferenzen zwischen den Portalkran-Anlagen zu vermeiden.

Der Transport der Trailer zur Gleisanlage wird durch die Stauerei durchgeführt. Die Anzahl der dafür verwendeten Tugmaster variiert je nach Bedarf. Entsprechend einer zuvor übermittelten Liste erhält die Stauerei Informationen in Bezug auf die ILU-Nummer der zu transportierenden Trailer und eine konkrete Stellplatznummer sowie eine Zeitvorgabe.

#### 4 KONZEPT ZUR INTELLIGENTEN UND DYNAMISCHEN STELLPLATZVERGABE

An der Abwicklung von Umschlagprozessen auf einem Terminal des kombinierten Ladungsverkehrs sind mehrere Unternehmen beteiligt, wie in Abbildung 3 dargestellt. Den Ausgangspunkt stellt dabei der Operator dar, indem er einen Auftrag an das Verladeunternehmen erteilt. Dieser Auftrag besteht aus einer Liste mit einer Vielzahl an Trailern, welche mit Hilfe der Bahnverbindung an eine Zieldestination transportiert werden sollen. Diese Liste enthält die zugehörigen ILU-Nummern sowie konkrete Uhrzeiten zu welchen die Trailer abfahren sollen. Die Anlieferung der Trailer an das Terminal kann dabei entweder über den Seeweg per Fähre, oder über die Straße per LKW erfolgen.

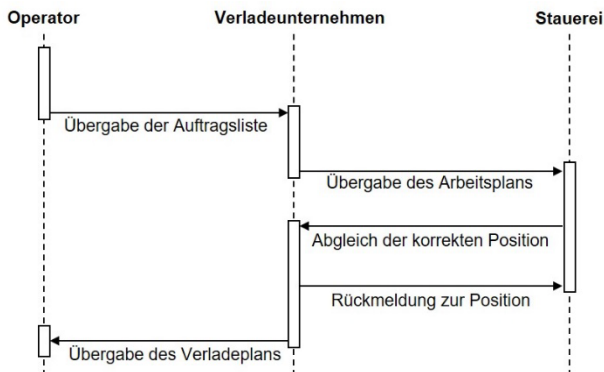


Abbildung 3: Übersicht über den Informationsaustausch zwischen den Unternehmen

Das in diesem Beitrag formulierte System zur intelligenten und dynamischen Stellplatzvergabe basiert auf der Verwendung passender RFID-Technologie. Ankommende Trailer werden daher mit einem entsprechenden RFID-Tag versehen, auf welchem die jeweilige ILU-Nummer sowie der zugehörige Stellplatz auf dem Terminalgelände gespeichert wird. Gemäß der vorgesehenen Stellplatzbezeichnung, parkt die Stauerei die Ladeeinheiten auf dem Gelände.

Das Verladeunternehmen erstellt auf Basis der Auftragsliste des Operators konkrete Arbeitspläne. Ein solcher

Arbeitsplan beinhaltet alle ILU-Nummern, die zugehörigen Stellplatznummern entlang der Gleisanlage sowie die Uhrzeit, zu welcher alle in der Liste enthaltenen Trailer am Gleis verfügbar sein müssen. Abbildung 4 liefert einen Überblick über den Prozess der Stellplatzvergabe. Bei der Verteilung der Trailer wird zunächst der erste Stellplatz überprüft. Ist dieser frei, wird die ILU-Nummer dem Platz zugeordnet. Der nächste zu prüfende Stellplatz befindet sich drei Plätze weiter, um sicherzustellen, dass die Trailer in möglichst gleichmäßigen Abständen geparkt werden. Sollte dieser Stellplatz belegt sein, wird überprüft, ob der dort geparkte Trailer auf den gleichen Zug geladen werden soll. Ist dies der Fall wiederholt sich der Prozess.

```

for Stellplatz := 1 to Stellplatzanzahl loop
  if Stellplatz = frei then
    ILU-Nummer dem Stellplatz zuweisen
  elseif Stellplatz = belegt (zum Zug gehöriger Trailer) then
    Stellplatz = Stellplatznummer + 3
    if Stellplatz = frei then
      ILU-Nummer dem Stellplatz zuweisen
    elseif Stellplatz = belegt (zu einem anderen Zug gehöriger Trailer) then
      Stellplatz = Stellplatznummer - 1
      if Stellplatz = frei then
        ILU-Nummer dem Stellplatz zuweisen
      elseif Stellplatz = belegt (zu einem anderen Zug gehöriger Trailer) then
        Stellplatz = Stellplatznummer + 2
      if Stellplatz = frei then
        ILU-Nummer dem Stellplatz zuweisen
      elseif Stellplatz = belegt (zu einem anderen Zug gehöriger Trailer) then
        Stellplatz = Stellplatznummer + 1
  next;
    
```

Abbildung 4: Pseudocode für den Prozess der Stellplatzvergabe

Sollte es sich bei der Ladeeinheit um einen Trailer für einen anderen Zug handeln, wird zunächst der Stellplatz davor überprüft. Ist auch dieser belegt, wird der Platz nach dem ursprünglich angedachten Stellplatz betrachtet. Dieser Prozess wiederholt sich, sollte auch dieser Platz durch einen Trailer für einen anderen Zug belegt sein.

Die Informationen über die Belegung der Stellplätze werden dabei mit Hilfe der RFID-Technologie bereitgestellt. An jedem Stellplatz wird dafür ein RFID-Tag angebracht, welcher bei der Platzierung der Trailer von den Tugmastern mit den entsprechenden Daten beschrieben wird. Zusätzlich übermittelt der Tugmaster die Informationen an das Verladeunternehmen, um die Korrektheit der Bereitstellung überprüfen zu können.

Für einen möglichst effizienten Prozessablauf, muss es das Ziel sein die Bereitstellung innerhalb der geforderten Zeit abzuschließen und dabei nur auf das Minimum an notwendigen Tugmastern zurückzugreifen. Um dieser Bedingung nachzukommen, wird bei der Stellplatzvergabe auch die Anzahl der Tugmaster berechnet. Für die Berechnung werden folgende Notationen verwendet:

- $n$  die Anzahl an Trailern pro Zug
- $s$  Gesamtstrecke für die Bereitstellung
- $t$  Gesamtdauer für die Bereitstellung

- $v$  Fahrgeschwindigkeit des Tugmasters
- $T$  aktuelle Uhrzeit
- $T'$  Deadline für die Bereitstellung
- $d$  Uhrzeit der Bereitstellung
- $p$  Anzahl der Tugmaster
- $x$  Position des Tugmaster-Parkplatzes
- $y_i$  Pick-Up-Point des Trailers  $i$
- $z_i$  geplanter Stellplatz des Trailers  $i$

Nachfolgend wird die Berechnung der erforderlichen Anzahl an Tugmastern dargelegt.

$$s = \overline{xy_1} + \overline{y_n z_n} + \sum_{i=1}^{n-1} \overline{y_i z_i} + \overline{z_i y_{i+1}}$$

$$t = \frac{s}{v/p}$$

$$d \leq T' \text{ mit } d = T + t$$

Die zuvor erstellte Auftragsliste wird auf die berechnete Anzahl an Tugmastern aufgeteilt. Dabei wird die Entfernung der einzelnen Fahrten berücksichtigt, um eine gleichmäßige Auslastung der Tugmaster zu gewährleisten. Nachdem die Auftragsvergabe erfolgt ist, kann die Stauerei mit der Bereitstellung der Ladeeinheiten beginnen. Gemäß der Liste werden die entsprechenden Trailer auf dem Terminalgelände gesucht. Nähert sich ein Tugmaster einem Sattelaufleger, kann mit Hilfe eines RFID-Readers am Fahrzeug überprüft werden, ob es sich um die korrekte Ladeeinheit handelt. Im Anschluss transportiert der Tugmaster den Trailer zu dem vorgesehenen Stellplatz.

Die Liste der Trailer entlang der Gleisanlage wird auf die beiden vorhandenen Portalkrane aufgeteilt und in eine Ablaufsequenz übersetzt. Diese Sequenz zielt dabei auf möglichst kurze Fahrwege ab und fördert auf diese Weise einen gleichmäßigen Auslastungsgrad. Der Verladeprozess der Trailer auf den Zug erfolgt anschließend durch die Portalkrane. Der Kranführer wird über Lichtsignale an den Stellplätzen darüber informiert, welche Ladeeinheit als nächstes zu verladen ist. Sobald er sich dem Stellplatz nähert, wird automatisch der dort installierte RFID-Tag ausgelesen und abgeglichen, ob es sich um den korrekten Trailer handelt. Nach der Aufnahme des Sattelauflegers löscht der Kran dann die Informationen auf dem RFID-Tag und meldet den Stellplatz im System als aufnahmebereit. Die gleichmäßige Verteilung der Trailer entlang der Gleisanlage garantiert kurze Fahrwege und trägt somit zu einer Reduktion der Prozesszeit bei.

## 5 IMPLEMENTIERUNG UND VALIDIERUNG

Das entwickelte Simulationsmodell wurde mit der ereignisdiskreten Simulationssoftware Plant Simulation erstellt. Das 3D-Modell orientiert sich im Aufbau an der Struktur des KLV-Terminals am Überseehafen Rostock. Dieses umfasst fünf Gleise mit Vollzuglänge sowie 111 Stellplätze entlang der Gleisanlage für die zu transportierenden Trailer. Für die Simulation der Umschlagprozesse wurde auf die Zusatzbibliothek „Cranes and More“ zurückgegriffen, welche die Möglichkeit zur Implementierung von Portalkranen bietet. Die in Abschnitt 3 erwähnten Bereiche Export-Bereich KV und Import-Bereich KV wurden durch ein Areal von Stellplätzen in der Nähe der Gleisanlage abgebildet. Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt des Simulationsmodells des KLV-Terminals.

Gemäß Abschnitt 4 beginnt der Prozess mit der Übergabe eines Auftrages in Form einer Ladeliste durch den Operator an das Verladeunternehmen. Für die Durchführung der Simulationsläufe wurden verschiedene Ladelisten in Anlehnung an die realen Transportaufträge erstellt. Jeden Tag werden auf der Anlage fünf Züge abgearbeitet. Die Auftragslisten unterscheiden sich dabei in Abhängigkeit von den Wochentagen. Sie enthalten Informationen über die zu verladenden Trailer und deren ILU-Nummer sowie die Zugnummer und eine Angabe zur geplanten Abfahrt. Auf Basis dieser Liste wird anschließend mit der dynamischen Stellplatzvergabe begonnen. Das Vorgehen entspricht dabei dem Pseudocode in Abbildung 4.

Nachdem die Trailer den entsprechenden Stellplätzen zugeordnet sind, gilt es deren Transport zu planen. Unter Berücksichtigung der geplanten Abfahrzeit sowie der Distanzen zwischen den Trailern im Export-Bereich KV bzw. Import-Bereich KV und den anzufahrenden Stellplätzen, wird die Anzahl erforderlicher Tugmaster gemäß den Ausführungen in Abschnitt 4 bestimmt. Entsprechend der erhaltenen Ladeliste werden die ILU-Nummern der Trailer sowie die zugeordneten Stellplatznummern in einen Verladeplan überführt. Dieser Verladeplan wird anschließend gleichmäßig auf die gewählten Tugmaster aufgeteilt, welche die Trailer daraufhin an das Gleis transportieren. Bei der Ankunft an einem Stellplatz wird noch einmal geprüft, ob es sich um den richtigen Stellplatz handelt, bevor der Trailer abgestellt wird.

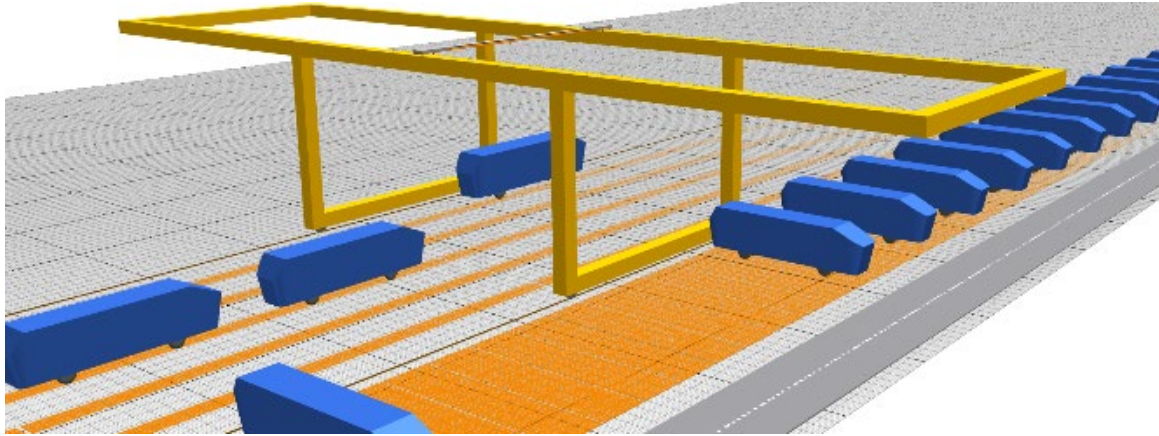


Abbildung 5: Simulationsmodell KLV-Terminal

Sobald alle Trailer eines Zuges am Gleis bereitgestellt sind, beginnen die Portalkrane mit dem Beladeprozess. Die Zuständigkeitsbereiche der Krananlagen sind dabei in einem Übergangsbereich flexibel definiert, um zu gewährleisten, dass jeder Portalkran die gleiche Anzahl an Trailern verlädt und die Auslastung somit angeglichen wird. Erreicht ein Portalkran den Stellplatz zur Abholung des Trailers wird noch einmal geprüft, ob es sich um den richtigen Trailer handelt. Im Rahmen dieses Beitrags wird angenommen, dass die Trailer in beliebiger Reihenfolge auf den Zug verladen werden können. Nach Beendigung des Beladeprozesses verweilt der Zug für eine Stunde auf dem Gleis, um den Prozess der Ladungssicherung und -kontrolle abzubilden. Die Krananlagen sind zu diesem Zeitpunkt bereit für den nächsten Auftrag.

## 6 ERGEBNISAUSWERTUNG

Für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des entwickelten Konzepts zur intelligenten und dynamischen Stellplatzvergabe werden nachfolgend die Kenngrößen zweier Simulationsmodelle verglichen. Zum einen wird auf die zurückgelegte Wegstrecke der Portalkrane eingegangen. Zum anderen werden die Auslastungsgrade der Krananlagen näher betrachtet.

Das erste Modell bildet den aktuellen Prozess der Stellplatzvergabe ab. Die Trailer werden auf die 22 fest definierten Stellplätze des entsprechenden Gleises verteilt, (Siehe Abschnitt 3). Die Kapazität eines Zuges (32 Trailer) übersteigt jedoch diese Menge. Das zweite Modell entspricht dem in Abschnitt 5 beschriebenen Aufbau. Beiden Simulationen liegen die gleichen Auftragslisten zugrunde. Die Simulationszeit beträgt sieben Tage und bildet somit die Umschlagprozesse einer Woche ab.

In Abbildung 6 erfolgt der Vergleich der zurückgelegten Wegstrecke. Durch die unregelmäßige Anordnung der Stellplätze entlang der Gleisanlage ergeben sich unterschiedliche Strecken für die zwei eingesetzten Portalkrane.

Der Darstellung ist zu entnehmen, dass durch die Einführung der dynamischen Stellplatzvergabe die erforderliche Wegstrecke zur Ausführung der Aufträge reduziert werden kann. Für Portalkran 1 ergibt sich eine Ersparnis von 37,26% und für Portalkran 2 von 51,04%. Ausgehend von einer Reduktion der Wegstrecke, ergeben sich kürzere Durchlaufzeiten pro Zug. Der Beladeprozess erfolgt schneller und der Zug kann das Terminal eher verlassen. Vor dem Hintergrund einer gleichbleibenden Auftragslage, führt das zu einer Reduktion des Auslastungsgrades der Krananlagen.

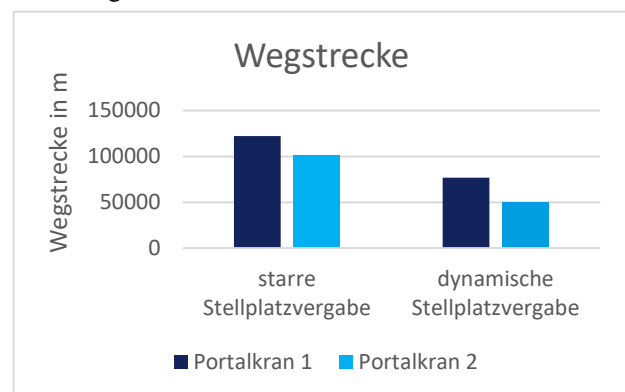


Abbildung 6: Wegstrecke der Portalkrane

Abbildung 7 zeigt den Vergleich der Auslastungsgrade zwischen den beiden Bereitstellungskonzepten unter der Annahme, dass lediglich die Beladeprozesse berücksichtigt werden. Die Auslastung sinkt proportional zu der zurückgelegten Wegstrecke.

Für die Betrachtung des ganzheitlichen Auslastungsgrades werden an dieser Stelle durchschnittliche Werte für die Dauer der gleichzeitig stattfindenden Entladeprozesse angenommen. Diese Werte orientieren sich an den realen Entladeprozessen des Terminals für Kombinierten Ladungsverkehr am Überseehafen Rostock. Mögliche Zeitaufwände für den Wechsel zwischen einem Entladevorgang und einem Beladevorgang werden an dieser Stelle

nicht berücksichtigt. Die Einführung der dynamischen Stellplatzvergabe hat keinen Einfluss auf den Zeitverbrauch für die Entladung ankommender Züge. Die Reduktion des Auslastungsgrades beschränkt sich daher auf die Optimierung der Beladeprozesse.

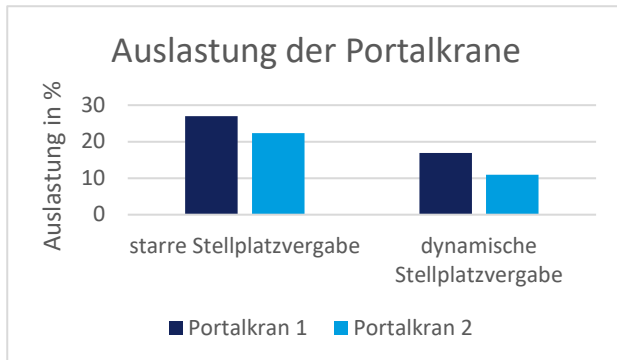


Abbildung 7: Auslastung der Portalkrane bei einer ausschließlichen Betrachtung der Beladeprozesse

Abbildung 8 ist zu entnehmen, dass der ganzheitliche Auslastungsgrad von Portalkran 1 um 10,03% und von Portalkran 2 um 11,39% reduziert werden kann. Beide betrachteten Ansätze können die Aufträge ausführen, ohne einen kritischen Auslastungsgrad zu erreichen. Durch die intelligente Stellplatzvergabe kann jedoch das Leistungspotential gesteigert werden. Im Rahmen einer Absenkung der Auslastung können potentiell mehr Aufträge innerhalb des betrachteten Zeitraumes bearbeitet werden, ohne an die Systemgrenzen zu stoßen.

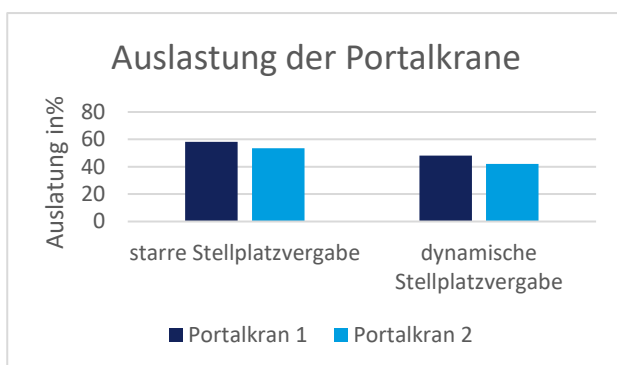


Abbildung 8: Auslastung der Portalkrane unter Berücksichtigung der Beladeprozesse sowie durchschnittlicher Entladezeiten

## 7 FAZIT

In diesem Beitrag wurde ein neues Konzept für eine intelligente und dynamische Stellplatzvergabe erarbeitet. Mit Hilfe ereignisdiskreter Simulationen konnten die Kennzahlen der zurückgelegten Wegstrecke und der Auslastungsgrade mit denen des bestehenden Bereitstellungsverfahrens verglichen werden. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Reduktion der erforderlichen Wegstrecke zur

Fertigstellung eines Auftrages. Es konnte zudem festgestellt werden, dass die Auslastungsgrade der eingesetzten Portalkrane gesenkt werden können und sich somit ein gesteigertes Leistungspotential in Hinblick auf eine umfangreichere Auftragsituation ergibt. Zukünftige Untersuchungen in diesem Bereich können um die simulationsbasierte Berücksichtigung gleichzeitig stattfindender Entladeprozesse erweitert werden.

## LITERATUR

- [AOS+17] Abhourraja, Mohamed N.; Oudani, Mustapha; Samiri, Mohamed Y.; Boudebous, Dalila; El Fazziki, Abdelaziz; Najib, Mehdi; Bouain, Abdelhadi; Rouky, Naoufal: A Multi-Agent Based Simulation Model for Rail-Rail Transshipment: An Engineering Approach for Gantry Crane Scheduling, IEEE Access 5, 13142-13156, 2017
- [BMDV18] Bundesministerium für Digitales und Verkehr: *Kombinierter Verkehr – Die Zukunft ist intermodal*. Berlin: 2018
- [BMDV22] Bundesministerium für Digitales und Verkehr: Multimodaler Güterverkehr. <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Artikel/G/multimodaler-gueterverkehr.html>. Abrufdatum 26.04.2022
- [FB17] Fedtke, Stefan; Boysen, Nils: *Gantry Crane and shuttle car scheduling in modern rail-rail transshipment yards*, OR Spectrum 39, 473-503, 2017
- [GCZ+13] Guo, Peng; Cheng, Wenming; Zhang, Zeqiang; Zhang, Min; Liang, Jian: *Gantry Crane Scheduling with Interference Constraints in Railway Container Terminals*, International Journal of Computational Intelligence Systems, Vol. 6, No. 2, 244-260, 2013
- [REN21] Ren, Gang; et al.: *Allocation and Scheduling of Handling Resources in the Railway Container Terminal Based on Crossing Crane Area*, Sustainability 13, No. 3, 1190, 2021
- [WZ14] Wang, Li; Zhu, Xiaoning: *Rail Mounted Gantry Crane Scheduling Optimization in Railway Container Terminal Based on Hybrid Handling Mode*, Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2014. Peking 2014

[XWY19] Xie, Mei; Wang, Li; Yang, Wanqi: *A Flexible Scheduling Mode of Gantry Cranes for Railway Container Terminal*, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1176, Issue 5, 2019

---

**Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani** ist Lehrstuhlinhaberin des Lehrstuhls für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

**Axel Zahn, B. SC.** ist studentischer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Adresse: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Deutschland, E-Mail: [vojdani@uni-rostock.de](mailto:vojdani@uni-rostock.de)