

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 22127 N1

## Thema

SimTwin – Simulationsbasierte Planungsunterstützung für Stückgutanlagen

## Berichtszeitraum

01.12.2021 – 31.12.2024

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung der Logistik (BVL) e.V.

## Forschungseinrichtung(en)

Technische Universität Dortmund  
Fakultät Maschinenbau  
Institut für Transportlogistik

Dortmund, den 28.04.2025

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing Uwe Clausen

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der Forschungseinrichtung(en)

  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DORTMUND  
Fakultät Maschinenbau  
Institut für Transportlogistik  
44227 Dortmund

  
DLR Projektträger

Gefördert durch:

  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU..	1
1.2 Aufbau des Forschungsberichts.....	2
<b>2 Entwicklung eines fachlichen Anforderungskatalogs für die Planung von Stückgutanlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Transportkette der Stückgutbranche.....	3
2.2 Aufbau einer Stückgutspeditionsanlage .....	5
2.2.1 Hoffläche.....	5
2.2.2 Layout der Umschlaganlage.....	6
2.2.3 Funktionsflächen der Umschlaganlage.....	6
2.2.4 Umschlag.....	7
2.2.5 Ladeeinheiten .....	9
2.2.6 Fördermittel.....	9
2.3 Prozesse in der Stückgutspeditionsanlage .....	10
2.4 Modellierungsanforderungen.....	19
<b>3 Ermittlung relevanter Leistungskennzahlen von Stückgutanlagen.....</b>	<b>20</b>
<b>4 Entwicklung des Simulationswerkzeugs.....</b>	<b>22</b>
4.1 Methodisches Vorgehen zur Entwicklung von Simulationsmodellen.....	22
4.2 Entwicklung des Simulationstools.....	25
4.3 Aufbau und Funktionsumfang des Simulationstools.....	29
<b>5 Verifikation und Validierung des Simulationswerkzeugs.....</b>	<b>49</b>
<b>6 Zusammenfassung &amp; Ausblick.....</b>	<b>52</b>
<b>7 Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten .....</b>	<b>54</b>
<b>8 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse .....</b>	<b>55</b>
<b>9 Dissemination der Forschungsergebnisse.....</b>	<b>56</b>
9.1 Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit.....	56

---

9.2	Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit .....	57
9.3	Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts .....	57
<b>10</b>	<b>Personaleinsatz.....</b>	<b>58</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>V</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Struktureller Aufbau des Forschungsvorhabens.....	2
Abbildung 2-1: Stückguttransportkette (i. A. a. (Chmielewski, 2006; Lohre et al.).....	3
Abbildung 2-2: Verteilung der Fahrzeugankünfte an einer Stückgutspeditionsanlage (Dabidian & Langkau, 2013).....	4
Abbildung 2-3: Flächen einer Stückgutspeditionsanlage (i. A. a. Deymann, 2011).....	5
Abbildung 2-4: Typische Grundformen von Umschlaganlagen (i. A. a. Chmielewski, 2006) .....	6
Abbildung 2-5: Umschlag nach dem Vorstauprinzip (i. A. a. Tripp, 2003).....	8
Abbildung 2-6: Umschlag nach dem Durchflussprinzip (i. A. a. Tripp, 2003).....	9
Abbildung 2-7: Bedeutung der Symbole.....	11
Abbildung 2-8: Entladungsprozess des LKW.....	12
Abbildung 2-9: Entladungsprozess durch die Unstetigförderer.....	13
Abbildung 2-10: Verladungsprozess durch die Unstetigförderer.....	15
Abbildung 2-11: Beladungsprozess durch die Unstetigförderer.....	17
Abbildung 2-12: Beladungsprozess des LKW.....	18
Abbildung 4-1: Vorgehensmodell Simulationsstudie.....	24
Abbildung 4-2: Akteurszuordnung der Bestandteile des Simulationstools (eigene Darstellung i. A. a. Jurgeleit et al., 2024).....	26
Abbildung 4-3: Prozessimplementierung „Ankunft & Abfahrt LKW“.....	27
Abbildung 4-4: Prozessimplementierung „Ent- und Beladung“.....	28
Abbildung 4-5: Prozessimplementierung "Umschlag und Zwischenlagerung".....	29
Abbildung 4-6: Übersicht "Standardblöcke" und Beginn des Planungsszenarios.....	31
Abbildung 4-7: Eingabe der Grundstücksabmessungen.....	32
Abbildung 4-8: Gebäudeplanung.....	33
Abbildung 4-9: Festlegung der Torfunktion.....	34
Abbildung 4-10: Doppeltorbelegung.....	35
Abbildung 4-11: Definition der Sendungsverteilung im SE.....	36
Abbildung 4-12: Definition der Sendungsverteilung im SA.....	37
Abbildung 4-13: Festlegung der Ressourcen.....	38
Abbildung 4-14: Einstellung der Prozessparameter.....	40
Abbildung 4-15: Entladung im Sammelguteingang.....	41
Abbildung 4-16: Beladung im Sammelguteingang.....	42
Abbildung 4-17: Entladung im Sammelgutausgang.....	44
Abbildung 4-18: Beladung im Sammelgutausgang.....	45
Abbildung 4-19: Simulative Rahmenbedingungen & Export.....	46
Abbildung 4-20: Statistikexport.....	47
Abbildung 5-1: Auswertung der Kategorie "Logik".....	50
Abbildung 5-2: Auswertung der Kategorie "Design".....	51
Abbildung 5-3: Auswertung der Kategorie "Anwenderfreundlichkeit".....	51

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Modellierungsanforderungen an das Simulationstool .....	19
Tabelle 3-1: Katalog mit Leistungskennzahlen für das Simulationstool .....	21
Tabelle 4-1: Legende zu Statistikexport .....	48
Tabelle 7-1: Eingesetztes Personal.....	54

# 1 Einleitung

Trotz kontinuierlich wachsender Umsätze des Stückgutmarkts muss sich die Branche mit großen Herausforderungen auseinandersetzen. Infolge zunehmender Serviceanforderungen der Kunden, zu denen bspw. eine Echtzeit-Sendungsverfolgung und ein schnittstellenübergreifender Datentransfer zählen, nehmen die Ausgaben aufgrund stetig steigender Betriebskosten weiter zu (Schwemmer, 2020). Eine Umlage dieser Kosten auf den Kunden ist aufgrund der momentanen Wettbewerbssituation jedoch nicht zielführend, weshalb als Lösungsansatz die Verbesserung der bestehenden logistischen Abläufe und Strukturen innerhalb der Stückgutspeditionsanlagen in Betracht gezogen werden muss. Diesbezüglich liegt der Schwerpunkt auf der effizienteren Nutzung vorhandener Ressourcen sowie der Erschließung neuer Kapazitäten. Darunter sind insbesondere die grundlegende Layoutplanung sowie die Auslegung weiterer relevanter Nutzungsflächen innerhalb der Anlage zu verstehen.

Als Werkzeug zu diesem Vorhaben kann neben den bekannten Methoden der Fabrikplanung ebenfalls ein simulationstechnischer Ansatz herangezogen werden. Dieser erlaubt es zusätzlich, Dynamiken innerhalb des Planungsprozesses wie tagesaktuelle Schwankungen des Sendungsvolumens oder eine Variabilität der Funktionsflächen zu berücksichtigen. Gleichzeitig setzt dies allerdings auch ein detailliertes Expertenwissen auf dem Gebiet der Modellierung voraus, welches in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) aus kostentechnischen Gründen häufig nicht gegeben ist. Vor diesem Hintergrund ist in dem Forschungsvorhaben „Sim Twin“ das Ziel verfolgt worden, ein Simulationstool zur Planung von Stückgutspeditionsanlagen zu entwickeln, welches auch ohne spezifisches Modellierungswissen anwendbar ist und speziell auf die Bedürfnisse von KMU zugeschnitten ist.

## 1.1 Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

Die Stückgutbranche steht maßgeblich unter dem Einfluss globaler Logistiktrends, insbesondere der Digitalisierung. Ein zentrales Merkmal der Branche ist dabei der mittelständisch geprägte Charakter, da ca. 53% der beteiligten Akteure und Unternehmen als KMU eingestuft werden (DSLVB, 2015). Diese kämpfen zur Aufrechterhaltung ihrer Wettbewerbsfähigkeit auf strategischer Ebene insbesondere mit Herausforderungen zur Planung und Gestaltung neuer oder bestehender Stückgutanlagen. Im Vergleich zu marktführenden Unternehmen verfügen die KMU dabei allerdings über begrenzte Ressourcen und können somit nur durch hohen Aufwand die Beantwortung strategischer Fragestellungen realisieren. Insbesondere IT-Lösungen können hier jedoch Abhilfe schaffen und die KMU dabei unterstützen, den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen zu begegnen. Als zielführende Lösung bietet sich dazu die rechnergestützte Simulation an, da Sie in allen Stufen des Planungs- und Realisierungsprozesses eingesetzt werden kann und es ermöglicht, die betrachtete oder neu zu planende Anlage am virtuellen Modell zu untersuchen und Verbesserungspotenziale aufzudecken (VDI 3633-1, 2014). Dazu führt das im

Forschungsvorhaben entwickelte Simulationswerkzeug die KMU über vorgefertigte Dialoge schrittweise durch den Planungsprozess um eine automatische Modellerstellung der Stückgutanlage zu erzeugen. Dadurch lässt sich sowohl die Neuplanung von Anlagen wie auch die Analyse unterschiedlicher Gestaltungsszenarien ohne Simulationswissen und insbesondere ohne Investition in externes Know-How durchführen. Zugleich bietet die Nutzung für den Anwender ein erhebliches Potenzial zu einer wirtschaftlicheren Planung sowie dem effizienteren Betrieb der Umschlaganlagen.

## 1.2 Aufbau des Forschungsberichts

Zu Erreichung des übergeordneten Forschungsziels ist das Projekt insgesamt in vier Arbeitspakete gegliedert, die sich mit der inhaltlichen Ausarbeitung befassen sowie ein fünftes, projektbegleitendes Arbeitspaket (vgl. Abbildung 1-1). Diese Struktur ist auch im Aufbau des nachfolgenden Forschungsberichts wiederzufinden.

Im zweiten Kapitel wird daher zunächst ein fachlicher Anforderungskatalog entwickelt, welcher als Grundlage zur späteren Entwicklung des Simulationstools dient. Darin wird zum einen der Aufbau einer Stückgutspeditionsanlage sowie alle damit verbundenen logistischen Prozesse festgehalten. Außerdem werden in diesem Zuge wesentliche Eingangsgrößen für das Simulationsmodells ermittelt. Das darauffolgende Kapitel 3 befasst sich mit der Thematik des zweiten Arbeitspakets und definiert relevante Leistungskennzahlen zur Bewertung der Produktivität in Stückgutspeditionsanlagen. Diese stellen gleichzeitig den wesentlichen Output des Simulationsmodells dar und dienen dem späteren Nutzer als Indikator zum Vergleich von unterschiedlichen Planungsszenarien. Auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse wird anschließend in Kapitel 4 das Simulationstool entwickelt. Dazu findet zuerst eine Literaturrecherche zum generellen methodischen Vorgehen bei Simulationsstudien statt und darauf aufbauend wird das Planungswerkzeug ausgearbeitet. Im fünften Kapitel erfolgt die abschließende Darlegung des Validierungsprozesses zur Sicherstellung der Glaubwürdigkeit des Simulationstools. Außerdem sollen potenzielle Fehler identifiziert und die Nutzerfreundlichkeit sowie Funktionalität optimal abgestimmt werden.

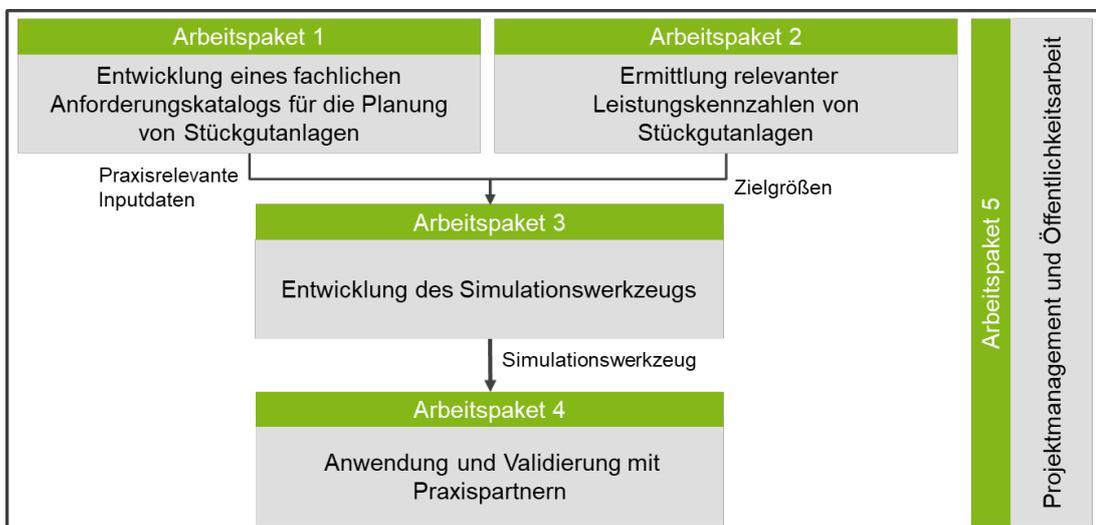


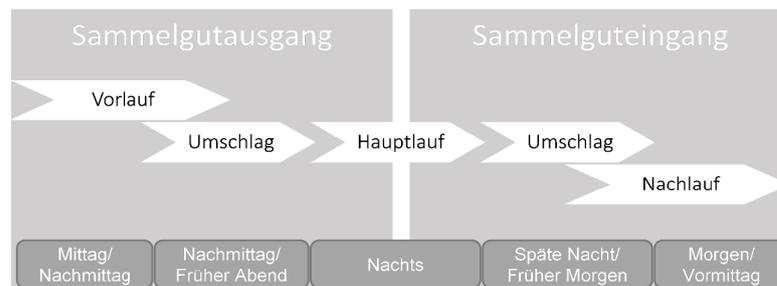
Abbildung 1-1: Struktureller Aufbau des Forschungsvorhabens

## 2 Entwicklung eines fachlichen Anforderungskatalogs für die Planung von Stückgutanlagen

Zu Beginn des Forschungsprojekts wird ein fachlicher Anforderungskatalog als Grundlage zur späteren Entwicklung des Simulationstools erarbeitet. Zur Abgrenzung des Betrachtungsgegenstandes wird dabei zunächst die Transportkette der Stückgutbranche prozesstechnisch und zeitlich dargelegt. Weiterführend thematisiert der Anforderungskatalog den grundlegenden Aufbau sowie relevante Bestandteile von Stückgutspeditionsanlagen. In diesem Zuge findet außerdem eine detaillierte Prozessaufnahme der logistischen Umschlagsprozesse statt. Auf Basis vorheriger Ergebnisse und in Verbindung mit Experteninterviews werden außerdem relevante Eingabeparameter und Planungskriterien für das Simulationstool abgeleitet und definiert.

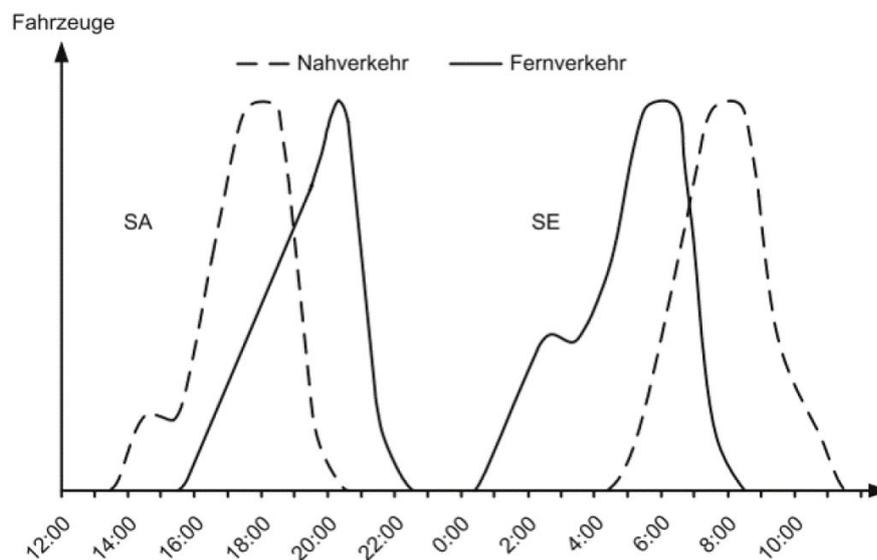
### 2.1 Transportkette der Stückgutbranche

Abhängig von der Menge, der Größe, dem Gewicht, der Art und der Dringlichkeit der zu transportierenden Güter können im Straßengüterverkehr drei unterschiedliche Transportformen zum Einsatz kommen. Neben der Komplettladung sowie der Teilladung kann der Transport außerdem in Form des Sammelgutverkehrs erfolgen. Diese zuletzt genannte Transportform kennzeichnet dabei, dass Sendungen verschiedener Versender in Form eines Güterumschlags gebündelt werden, da diese für einen Direktverkehr nicht ausreichend bzw. deren Mengen zu gering sind. Auch die Transportkette in der Stückgutindustrie basiert auf dem Prinzip des Sammelgutverkehrs, da zumeist nicht die notwendige Sendungsmenge für einen Direktverkehr erreicht wird. Die verschiedenen Sendungen werden dabei in einer zentralen Umschlagsanlage erfasst, anschließend nach Zielregionen sortiert, umgeschlagen und weiter transportiert. Nach der Ankunft in der Zielregion erfolgt ein erneuter Umschlag und mittels Verteilfahrzeuge werden die Sendungen an die Empfänger ausgeliefert (Bichler et al., 2017; Dabidian & Langkau, 2013; P. Klaus & Schwemmer). Die Transportkette des Stückguts setzt sich dazu aus drei Transportphasen (Vorlauf, Hauptlauf, Nachlauf) und zwei Umschlagsphasen zusammen, deren zeitliche Abfolge gleichzeitig die Hauptarbeitszeiten in der Stückgutspeditionsanlage definiert (vgl. Abbildung 2-1).



**Abbildung 2-1:** Stückguttransportkette (i. A. a. (Chmielewski, 2006; Lohre et al.)

Der Vorlauf beginnt gegen 12 Uhr mittags und beinhaltet die Einsammlung der Güter beim Kunden. Dies erfolgt mittels kleiner Verteilfahrzeuge, sogenannten Nahverkehrsfahrzeugen. Mit dem Eintreffen des ersten Sammelgutfahrzeugs an der Stückgutspeditionsanlage gegen 18 Uhr, beginnt die erste Umschlagsphase (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011; Tyssen, 2010). In diesem Zuge werden die Güter entsprechend des Zielgebietes konsolidiert und für die Beladung der Fernverkehrsfahrzeuge auf den zugehörigen Bereitstellflächen verortet. Der Umschlag wird spätestens um 20 Uhr abgeschlossen und daran anknüpfend beginnt der Hauptlauf (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011). In dieser zweiten Transportphase erfolgt der Transport der Güter mit den Fernverkehrsfahrzeugen in Form von Glieder- und Sattelzügen, welche bis ca. 1 Uhr nachts an einem weiteren Umschlagsknoten ankommen (Chmielewski, 2006; Dabidian & Langkau, 2013; Deymann, 2011). Dort findet ein weiterer Umschlagsprozess statt. Die eintreffenden Fahrzeuge aus dem Fernverkehr werden entladen und die Sendungen empfängerbezogen auf die Bereitstellflächen sortiert. Anschließend treffen gegen ca. 6 Uhr die Nahverkehrsfahrzeuge der Zielregion ein und werden beladen (Deymann, 2011). Der Nachlauf wird mit Verlassen der beladenen Fahrzeuge von der Umschlagsanlage gegen 8 Uhr eingeleitet, indem die Sendungen an die entsprechenden Empfänger ausgeliefert werden. Nachfolgend übernehmen die zuvor als Verteiler fungierenden Fahrzeuge die Aufgabe, die Sendungen bei den Versendern abzuholen. Dadurch wird ein neuer Vorlauf eröffnet, wodurch Zielgebiet und Quellgebiet vertauscht werden. In Folge der Umkehrung übernehmen Stückgutspeditionsanlagen innerhalb eines Tages sowohl die Aufgabe des Versands als auch die des Empfangs von Stückgütern (Deymann, 2011; Lohre et al.).



**Abbildung 2-2:** Verteilung der Fahrzeugankünfte an einer Stückgutspeditionsanlage (Dabidian & Langkau, 2013)

Entsprechend des zeitlichen Verlaufs werden außerdem die beiden Arbeitsphasen „Sammelguteingang“ und „Sammelgutausgang“ unterschieden. Der Sammelgutausgang setzt sich aus dem Einsammeln der Sendungen aus dem Nahverkehrsgebiet im Rahmen des Vorlaufs sowie der ersten Umschlagsphase zusammen und endet mit der Abfahrt der Fernverkehrsfahrzeuge für den Hauptlauf. Der Sammelguteingang beginnt mit dem Eintreffen der Fernverkehrsfahrzeuge und umfasst die zweite Umschlagsphase sowie die Auslieferung der Sendungen an die Empfänger innerhalb des Nachlaufs. Durch die zeitlich konzentrierten

Ankünfte der Fahrzeuge an der Umschlagsanlage ergeben sich pro Arbeitsphase zwei Belastungsspitzen, welche beispielhaft in Abbildung 2-2 dargestellt sind. Die daraus resultierende ungleichmäßige Auslastung der Anlage erfordert umso mehr eine effiziente Prozessgestaltung sowie einen strukturierten Aufbau (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011).

## 2.2 Aufbau einer Stückgutpeditionsanlage

Im nachfolgenden Unterkapitel wird auf Basis einer Literaturrecherche der Aufbau einer Stückgutpeditionsanlage mit den wichtigsten baulichen Komponenten und Funktionsflächen näher beschrieben. Dies dient als essentielle Grundlage zur Auslegung der für die automatische Simulationsmodellgenerierung relevanten Standardbausteine.

### 2.2.1 Hoffläche

Die Hoffläche einer Stückgutpeditionsanlage kann gemäß Chmielewski (2006) in bauliche Einrichtungen, Flächen und Verkehrswege unterteilt werden. Des Weiteren erfolgt eine Differenzierung der baulichen Einrichtungen in logistische und allgemeine Einrichtungen. Dabei wird die Lagerhalle den logistischen Einrichtungen zugeordnet. Unter den allgemeinen Einrichtungen finden sich, sofern vorhanden, das Pförtnerhaus, Tankstellen, Waschstraßen sowie weitere administrative Einrichtungen. In Bezug auf die Flächen ist zwischen Logistikflächen und allgemeinen Flächen zu differenzieren. Zu den Logistikflächen zählen Warteflächen sowie Abstellflächen für Wechselbrücken und Warteflächen an den Toren. Die allgemeinen Flächen umfassen Parkflächen für Mitarbeiter und weitere Fahrzeuge. Die Hoffläche wird schließlich durch die Verkehrswege komplettiert, zu denen die Ein- und Ausfahrt, Fahrtstraßen auf dem Hof sowie Rangierflächen zuzuordnen sind. In diesem Kontext ist zudem der Aspekt der großen Wenderadien von LKW zu berücksichtigen. Im Falle eines Einbahnstraßensystems ist darüber hinaus sicherzustellen, dass die Halle umfahren werden kann.

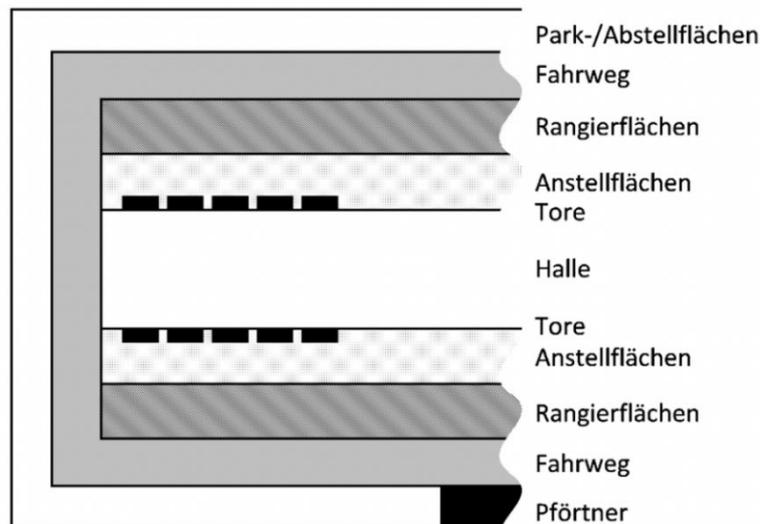
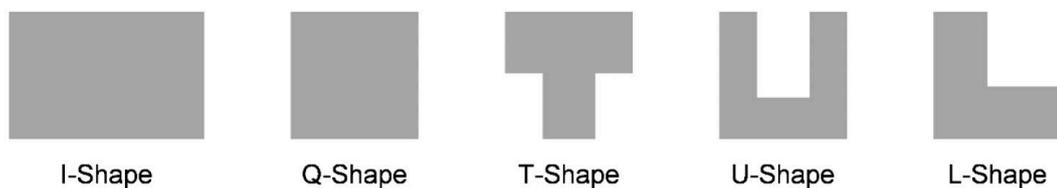


Abbildung 2-3: Flächen einer Stückgutpeditionsanlage (i. A. a. Deymann, 2011)

## 2.2.2 Layout der Umschlaganlage

Bei der Planung einer Umschlaganlage erfolgt die Gestaltung des Layouts in der Regel unter Berücksichtigung geografischer Grundformen, welche der Abbildung 2-4 entnommen werden können (Chmielewski, 2006). In der Praxis findet üblicherweise die rechteckige Form Anwendung (Peter Klaus et al., 2012). Eine Erweiterung dieser Grundform ist zum einen einfach zu realisieren, zum anderen weist sie eine geringe Anzahl an Ecken auf. Eine zu hohe Anzahl an Ecken führt zu einer Einschränkung der Umschlaganlage, da die Ent- und Beladeflächen in diesen Bereichen eine Überschneidung aufweisen, was eine nur eingeschränkte Nutzung zur Folge hat (Bartholdi & Gue, 2004). Das entwickelte Planungstool soll jedoch die Abbildung jeder beliebigen Grundform ermöglichen, um dem Nutzer eine möglichst hohe Flexibilität zu gewähren und jeden beliebigen Anwendungsfall abbilden zu können.



**Abbildung 2-4:** Typische Grundformen von Umschlaganlagen (i. A. a. Chmielewski, 2006)

## 2.2.3 Funktionsflächen der Umschlaganlage

Die Flächen innerhalb der Umschlaganlage werden je nach Funktionsbereich unterteilt in Torfunktionsflächen, Bereitstellflächen, Fahrwege sowie Pufferflächen. Nachfolgend sind diese Komponenten genauer erläutert.

### Torfunktionsfläche

Die Abgrenzung der Hofprozesse, von den innerbetrieblichen Prozessen in der Umschlagshalle, erfolgt durch die Tore, welche mit den angrenzenden Torfunktionsflächen versehen sind. Deymann (2011) definiert die Ladezone, die Bereitstellfläche sowie den Arbeitsgang als wesentliche Bestandteile der Torfunktionsfläche. Der Bereich zwischen Tor und Bereitstellfläche wird als Ladezone bezeichnet, welcher durch die für die Ent- und Beladung erforderlichen Fördermittel genutzt wird. Die Fördermittel fahren dabei bis in den Laderaum des LKW, wodurch ein Höhenausgleich von Hallenboden zur Ladefläche erforderlich ist. Zu diesem Zweck werden Überladebleche verwendet. Der Arbeitsgang ist unmittelbar an die Ladezone angeschlossen, wobei die Dimensionierung dieses Arbeitsgangs von den jeweils eingesetzten Fördermitteln sowie den zu transportierenden Ladeeinheiten abhängig ist.

### Bereitstellflächen

Die Bereitstellflächen sind als Torfunktionsflächen definiert und werden einem spezifischen Tor fest zugeordnet. In Abhängigkeit von der Art des Tores werden diese Flächen als Entlade- bzw. Beladeflächen bezeichnet. Die Abgrenzung der Bereitstellflächen vom übrigen Teil der Umschlagshalle erfolgt lediglich durch eine Markierung auf dem Boden. Dies ermöglicht den Einsatz von Fördermitteln, welche die Bereitstellflächen überfahren können. (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011)

Die Entladeflächen sind an den Entladetoren lokalisiert. Diese Flächen dienen der kurzfristigen Zwischenlagerung der Sendungen nach der Entladung des LKW, bevor sie für die anschließende Beladung zu den entsprechenden Beladeflächen transportiert werden. Die räumliche Nähe der Entladeflächen zu den Entladetoren gewährleistet eine schnelle Entladung des gesamten LKW, sodass eine zügige Freimachung des Tores durch den LKW jederzeit sichergestellt ist. Die Verweildauer der Sendungen auf den Entladeflächen ist mit wenigen Minuten relativ kurz. In dieser Zeitspanne können etwaige Schäden festgestellt und dokumentiert, Daten im System erfasst sowie die Sendung für den weiteren Transport vorbereitet werden, beispielsweise durch Etikettierung. (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011)

Die Beladeflächen sind an den Beladetoren gelegen. Diese dienen der kurzzeitigen Lagerung, um etwaige Wartezeiten zu überbrücken. Die Sendungen derselben Destination werden auf einer Beladefläche gesammelt, bevor sie in das Transportmittel verladen werden. Dieses Vorgehen minimiert das Risiko von Fehlbeladungen. (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011)

### **Puffer und Lagerflächen**

Neben den Bereitstellflächen sind in einer Stückgutspeditionsanlage auch Puffer- und Lagerflächen zu finden. Die Unterscheidung erfolgt in erster Linie anhand der Verweildauer der jeweiligen Sendungen. Während eine Sendung auf einer Pufferfläche für eine Verweildauer von weniger als einem Verkehrstag vorgesehen ist, werden Sendungen, die länger gelagert werden, auf Lagerflächen abgestellt. Pufferflächen dienen insbesondere der Zwischenlagerung von Sendungen aus einem Nahverkehrsgebiet, deren Zustellung in den gleichen Bereich erfolgt und für die die Zeit zur Beladung überbrückt werden muss. Lagerflächen hingegen dienen der Freihaltung der Beladeflächen. Die Bereitstellung von Lagerflächen erfolgt für Sendungen, die nach einer vollen Auslastung des Transportmittels nicht mehr zugeladen werden können. Des Weiteren werden die Lagerflächen zur Lagerung von Avis-Sendungen genutzt, deren Auslieferung zu einem festgelegten Termin erfolgt und für die die Zeitspanne bis zum jeweiligen Liefertermin überbrückt werden muss. (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011)

### **Verkehrswege**

In Bezug auf die Klassifikation von Verkehrswegen erfolgt eine Differenzierung zwischen Arbeitsgängen und Fahrwegen. Die Arbeitsgänge dienen dem Zugriff auf die Ladeeinheiten. Auf diesen Wegen muss das Auf- und Abladen sowie etwaige Rangierbewegungen der Fördermittel möglich sein. Die Fahrwege hingegen sind die Wege zwischen den Ent- und Beladeflächen. Aufgrund der Notwendigkeit des Gegenverkehrs sind sie wesentlich breiter angelegt. Zudem können die Fördermittel hier höhere Geschwindigkeiten fahren, um die wesentlich längeren Strecken schneller zu überbrücken. (Chmielewski, 2006; Deymann, 2011)

## **2.2.4 Umschlag**

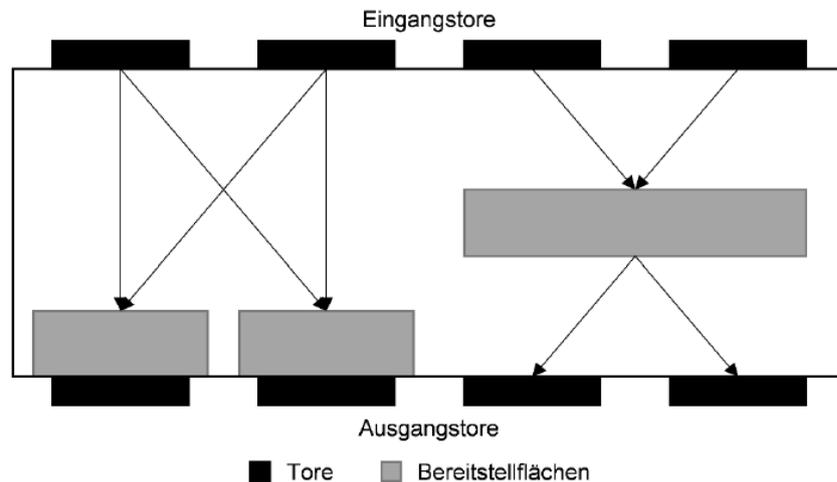
In Stückgutspeditionsanlagen lassen sich zwei grundlegende Ansätze für den innerbetrieblichen Umschlag von Sendungen identifizieren: das Vorstauprinzip und das Durchflussprinzip. Beide verfolgen das Ziel, den Umschlagprozess effizient zu gestalten, unterscheiden sich jedoch in ihrer

Umsetzung und ihren Anforderungen. In Abstimmung mit den Projektpartnern wird bei der Entwicklung des Planungstools das Vorstauprinzip berücksichtigt.

### **Vorstauprinzip**

Das Vorstauprinzip ist ein Verfahren, bei dem Sendungen nach der Entladung zunächst zwischengelagert werden, bevor sie in ein ausgehendes Transportmittel verladen werden. Die Lagerung findet entweder auf Bereitstellflächen vor den Toren oder auf zentralen Logistikflächen statt. Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode liegt in der Möglichkeit, die Sendungen während der Lagerung relationsgerecht zu sortieren. Dadurch lässt sich der Stauraum optimal nutzen oder die Entladereihenfolge bei den Empfängern berücksichtigen.

Die zeitliche Entkopplung der Ent- und Beladevorgänge ermöglicht eine unabhängige Be- und Entladung ankommender und abgehender Transportmittel, was die Anzahl benötigter Tore reduziert. Allerdings resultieren aus der Zwischenlagerung ein erhöhter Flächenbedarf und zusätzliche Handlungsschritte, die die Produktivität verringern. (Deymann, 2011; Peter Klaus et al., 2012)



**Abbildung 2-5:** Umschlag nach dem Vorstauprinzip (i. A. a. Tripp, 2003)

### **Durchflussprinzip**

Demgegenüber zeichnet sich das Durchflussprinzip durch die Abwesenheit einer Zwischenlagerung aus, wobei die Sendungen unmittelbar aus dem ankommenden Transportmittel entladen und in das abgehende Transportmittel umgeschlagen werden. Dieser unmittelbare Umschlag führt zu einer Reduktion der Durchlaufzeit und einer Steigerung der Produktivität. Zudem wird weniger Fläche innerhalb der Umschlaghalle benötigt, da keine Bereitstellflächen erforderlich sind.

Allerdings sind auch Herausforderungen zu verzeichnen, die die praktische Umsetzbarkeit des Durchflussprinzips begrenzen. So ist die zeitliche Abhängigkeit von den Ent- und Beladevorgängen problematisch, da die ankommenden und abgehenden Transportmittel gleichzeitig verfügbar sein müssen, um die zeitlichen Anforderungen des Prozesses zu erfüllen. Zudem erfordert das Durchflussprinzip eine größere Anzahl an Toren, und die Möglichkeiten zur optimalen Nutzung des Stauraums werden durch die fehlende Sortierung eingeschränkt (Deymann, 2011; Peter Klaus et al., 2012).

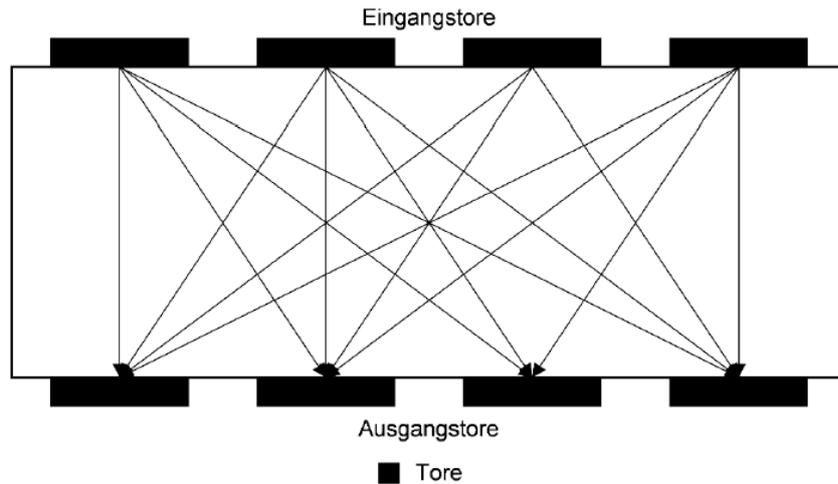


Abbildung 2-6: Umschlag nach dem Durchflussprinzip (i. A. a. Tripp, 2003)

### 2.2.5 Ladeeinheiten

Stückgüter können mit verschiedenen Ladungsträgern zu einer Ladeinheit zusammengefasst werden. Ziel dieses Prozesses, auch als Unifizierung bezeichnet, ist die Bildung aus einer Vielzahl von Stückgütern unterschiedlicher Abmessungen möglichst einheitlicher Ladeeinheiten für den Transport. Der Ladungsträger repräsentiert das tragende Element der Ladeinheit und nimmt eine zentrale Funktion im logistischen Netzwerk ein, das die Quelle und die Entnahmestellen umfasst. Als Ladungsträger können verschiedene Arten von Behältern, Kisten, Containern oder Paletten genutzt werden. (Bichler et al., 2017; Deutsches Institut für Normung e. V., 1989; Peter Klaus et al., 2012; Martin, 2021b)

### 2.2.6 Fördermittel

Zum Transport der Paletten und Sendungen in der Stückgutspeditionsanlage kommen flurgebundene Fördermittel zum Einsatz., welche den Boden als Fahrweg nutzen. Gleichzeitig gelten Sie als die am weitesten verbreitete Fördertechnik für den innerbetrieblichen Transport. Sie eignen sich besonders „bei kleinen und mittleren Entfernungen, großen Trag- oder Schlepplasten und bei geringem bis mittlerem Durchsatz unterschiedlicher Fördergüter auf Ladehilfsmitteln wie Paletten und Behältern“ (Hompel et al., 2018). Im Bereich des Stückguttransports werden die eingesetzten Flurförderzeuge nach ihrem Automatisierungsgrad, der Beweglichkeit, ihrer Antriebsart sowie dem Transportgutstrom unterschieden. Letztgenannte Charakteristik resultiert in einer Unterteilung nach Stetig- und Unstetigförderern (Heiserich, 2011). Im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden im Simulationsmodell Unstetigförderer in Form von Gabelstaplern berücksichtigt.

#### Stetigförderer

Stetigförderer sind Fördermittel, die einen kontinuierlichen oder nahezu kontinuierlichen Materialfluss erzeugen. Während flurgebundene Stetigförderer viel Bodenfläche benötigen, basieren flurfreie Varianten auf Schienen. Bei beiden Typen ist das Be- und Entladen entlang der gesamten Förderstrecke oder sogar während des Betriebs möglich. Diese Förderer arbeiten ohne

Bedienpersonal und lassen sich leicht automatisieren. Jedoch können Herausforderungen auftreten, wenn es darum geht, die Förderstrecke zu erweitern, die Leistungsfähigkeit zu steigern oder die Förderaufgabe zu ändern (Martin, 2021a).

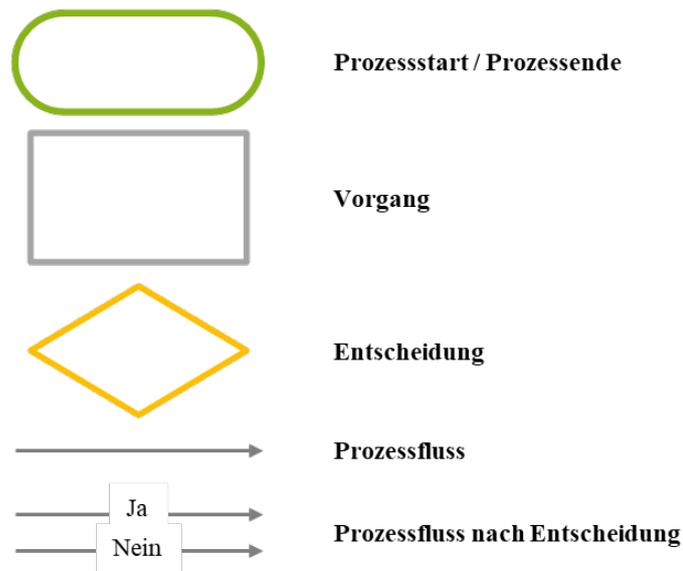
### **Unstetigförderer**

Unstetigförderer sind Fördermitteln mit einem diskontinuierlichen Materialfluss. Dieser Materialfluss besteht aus einzelnen Arbeitsspielen, die sich in Last- und Leerfahrten unterteilen. Die Lastfahrt erfolgt vom Aufnahmepunkt (Quelle) zur Abgabestelle (Senke), während der Rückweg ohne Ladung als Leerfahrt durchgeführt wird. Zusätzlich zu den Fahrten entstehen noch Stillstandzeiten für die Be- und Entladung. Da die Bedienung dieser Förderer oft manuell erfolgt, ist für jedes Gerät ein zusätzlicher Mitarbeiter erforderlich, was zu höheren Betriebskosten führt. Ihre Vielseitigkeit bei unterschiedlichen Transportaufgaben sowie bei Anpassungen des Anlagenlayouts ist jedoch besonders hervorzuheben. Aus diesem Grund sind in den Umschlaghallen vor allem Handgabelhubwagen und Gabelstapler häufig anzutreffen (Heiserich, 2011; Hompel et al., 2018; Martin, 2021a).

## **2.3 Prozesse in der Stückgutpeditionsanlage**

Als Basis zur Entwicklung des Simulationstools sind im Rahmen des Projektes zuerst die logistischen Prozesse in einer Stückgutpeditionsanlage und dem damit verbundenen Sendungsumschlag detailliert aufgenommen worden und in ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) abgebildet. Insgesamt wird dazu eine Einordnung in fünf Teil-Prozessketten vorgenommen, welche in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt sind. Darüber hinaus werden die Prozessschritte im Folgenden ausführlich erläutert.

Die ereignisgesteuerten Prozessketten setzen sich dazu aus drei unterschiedlichen Symbolen zusammen, welche jeweils eine spezifische Funktion im Prozessablauf darstellen und beinhalten. Den Beginn und Schluss jeder Prozesskette kennzeichnen die Grünen ovalen Symbole, welche die Art (Entladung, Verladung, Beladung) des Prozesses sowie das dazugehörige Transportmittel, welches den Prozess durchläuft angeben. Die grauen rechteckigen Symbole symbolisieren Funktionen und beschreiben welche konkreten Aktivitäten oder Aufgaben das Transportmittel durchführt. Die gelb umrandeten Rauten repräsentieren Entscheidungspunkte, welche für den weiteren Ablauf erforderlich sind. Dies wird durch „Entweder“ – „Oder“ - Fragen, welche nur mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden können, vorgegeben. Mithilfe der Pfeile werden die Schritte miteinander verbunden, wodurch die Flussrichtung der Prozesse vorgegeben wird und somit der Ablauf der Prozesskette strukturiert dargestellt ist.



**Abbildung 2-7:** Bedeutung der Symbole

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden insgesamt drei Hauptprozesse einer Stückgutspeditionsanlage berücksichtigt, die in Kombination den Sendungsumschlag abbilden: der Entladungsprozess, der Verladungsprozess sowie der Beladungsprozess. Der Entladungsprozess ist dazu in zwei Prozessketten gegliedert, jeweils aus der Sichtweise der daran beteiligten Akteure. Zuerst wird der Ablauf des an der Stückgutspeditionsanlage ankommenden und beladenen LKW beschrieben und anschließend in einer separaten Prozesskette das Vorgehen aus der Sicht der Unstetigfördermittel zur Entladung der LKW.

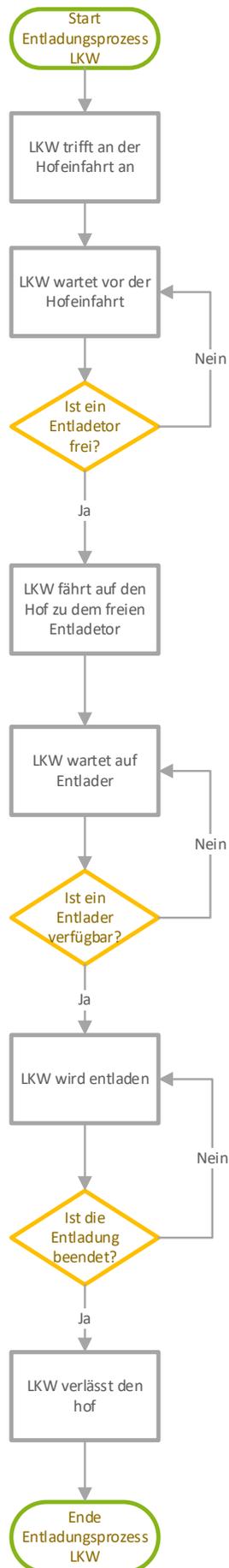


Abbildung 2-8: Entladungsprozess des LKW

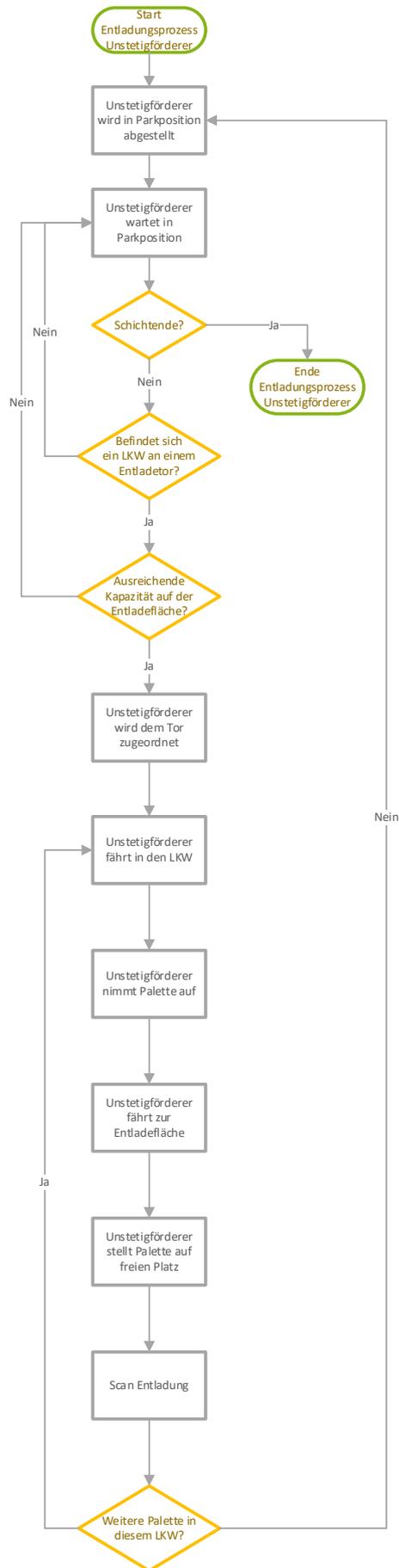


Abbildung 2-9: Entladungsprozess durch die Unstetigförderer

Der Entladungsprozess des LKW beginnt mit der Ankunft des Fahrzeugs an der Hofeinfahrt des Lagers. Dort wird zunächst überprüft, ob ein Entladetor verfügbar ist. Sollte kein Entladetor frei sein, wartet der LKW vor der Hofeinfahrt, bis ein Tor frei wird. Sobald ein Entladetor nutzbar ist, fährt der LKW auf den Hof zum freien Entladetor. Im nächsten Schritt wird geprüft, ob ein Entlader verfügbar ist. Falls kein Entlader bereitsteht, wartet der LKW so lange, bis ein Entlader zur Verfügung steht. Ist ein Entlader verfügbar, wird der LKW entladen. Der Fortschritt der Entladung wird kontinuierlich überprüft, bis die Entladung vollständig abgeschlossen ist. Nach Beendigung des Entladevorgangs verlässt der LKW den Hof, womit der Entladungsprozess des LKW als abgeschlossen gilt.

Der Entladungsprozess der Unstetigförderer beginnt in der Parkposition und dem Warten auf einen neu reinkommenden Auftrag. Zu jeder Abfrage, ob ein Unstetigförderer zur Verfügung steht, wird vorerst ermittelt, ob die Schicht des Entladers beendet ist. Falls dies der Fall sein sollte, so ist die Prozesskette bereits durchlaufen und der Entladungsprozess gilt als beendet. Falls die Schicht des Entladers noch nicht beendet sein sollte, müssen zwei Bedingungen geprüft werden, um eine erfolgreiche Auftragsannahme zu ermöglichen. Es wird überprüft, ob sich ein LKW an einem Entladetor befindet und ob auf der Entladefläche des entsprechenden Entladetores ausreichend Kapazität zur Verfügung steht. Die Entladung des LKW kann nur beginnen, wenn freie Stellplätze zur Verfügung stehen. Sollte während des Vorgangs die Kapazität der Entladefläche erschöpft sein, pausiert der Prozess und der Entlader geht zurück in seine Parkposition. Sollte eine der beiden Bedingungen nicht erfüllt sein, so erfolgt keine Auftragsbeteiligung und der Entlader verbleibt auf seiner Parkposition, bis beide Bedingungen mit „Ja“ beantwortet werden können. Sollten beide Bedingungen erfüllt sein wird der Unstetigförderer dem entsprechenden Tor zugeordnet. Dieser fährt daraufhin auf die Ladefläche des LKW und entnimmt die erste Palette. Diese wird zur Entladefläche direkt vor den Eingangstoren transportiert und dort auf einem freien Platz abgestellt. Der Vorgang wiederholt sich iterativ für jede weitere Palette im LKW, bis dieser vollständig entladen ist.

Der daran anknüpfende Verladungsprozess konzentriert sich ausschließlich auf die Paletten innerhalb der Stückgutspeditionsanlage und besitzt keine Schnittstelle zu den Hofprozessen. Die Kernaufgabe besteht darin, mithilfe der Unstetigförderer die Positionen der Paletten innerhalb der Halle zu verändern. Dabei umfasst der Prozess eine Vielzahl von möglichen Entscheidungen, die zu unterschiedlichen Prozessabläufen führen. Der Verladungsprozess beginnt zunächst mit dem Status des Unstetigförderers in seiner Parkposition oder auf dem Weg dorthin, falls dieser zuvor woanders aktiv war. Der erste Schritt in dem Prozess ist die Überprüfung, ob die aktuelle Schicht beendet ist. Sollte dies der Fall sein, ist der Verladungsprozess beendet und der Unstetigförderer verbleibt in seiner Parkposition. Falls die Schicht jedoch noch aktiv ist, folgt die Abfrage, ob sich Paletten im Zwischenlager befinden, welche für die aktuelle Schicht priorisiert behandelt werden müssen. Wenn dies zutrifft, fährt der Unstetigförderer zum Zwischenlager, nimmt eine Palette auf, transportiert diese zur Bereitstellungsfläche und stellt die Palette auf einem freien Platz ab. Sollten sich im Zwischenlager keine relevanten Sendungen befinden, wird überprüft, ob sich Paletten auf den Entladeflächen der Entladetore befinden. Um dort befindliche Sendungen aufnehmen zu können, müssen diese zuvor gescannt worden sein. Falls dies noch nicht erfolgt ist, muss der Verlader auf den Abschluss des Scanvorgangs warten. Zusätzlich dazu wird abgefragt, ob eine andere Palette umgeschlagen werden kann. Alternativ hat er die Möglichkeit, eine bereits

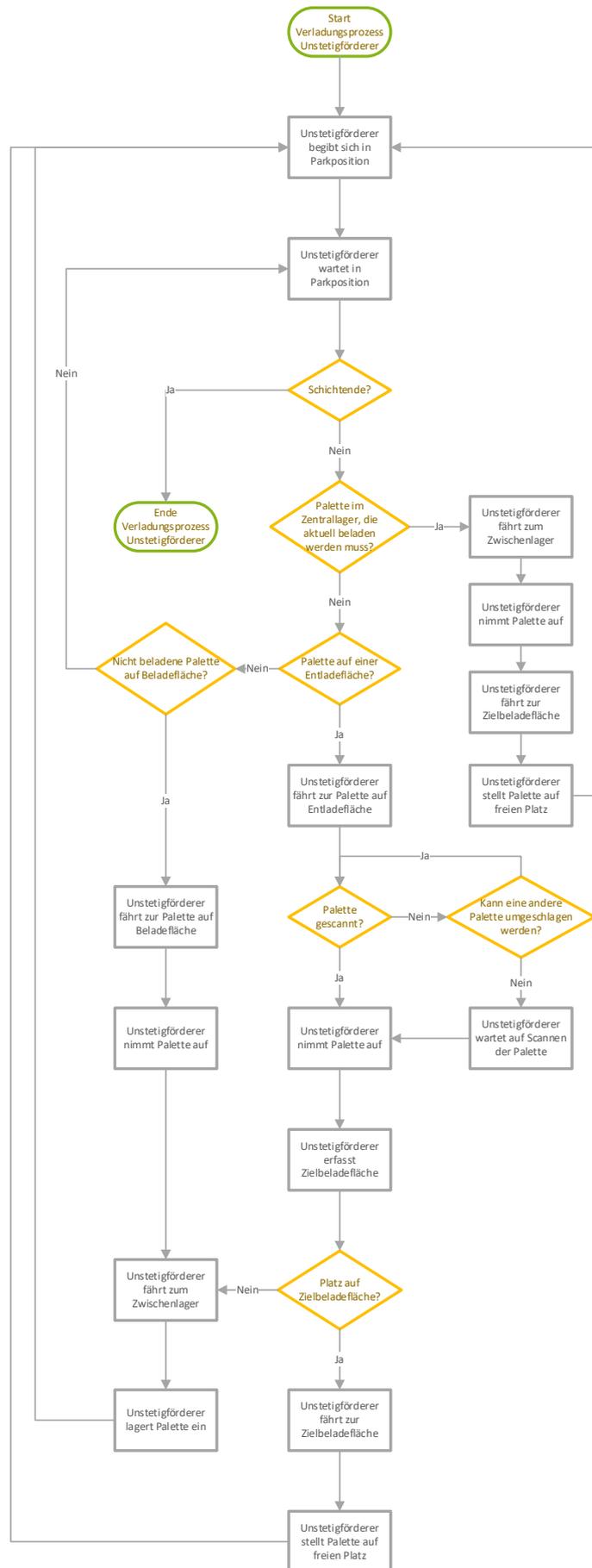


Abbildung 2-10: Verladungsprozess durch die Unstetigförderer

gescannte Palette von der Entladestelle aufzunehmen. Dazu nimmt der Unstetigförderer die Palette auf und erfasst die Zielbereitstellungsfläche. Während des Aufnahmeprozesses wird überprüft, ob ausreichend freie Kapazität auf der Bereitstellungsfläche vorhanden ist. Sollte dies nicht der Fall sein wird die Palette in das Zwischenlager verbracht. Andernfalls wird die Palette zur Bereitstellungsfläche verbracht und dort auf einem freien Platz abgestellt. Nach dem Abstellen der Palette kehrt der Verloader in beiden Fällen zu seiner Parkposition zurück. Sollte die Abfrage nach Paletten auf der Entladefläche verneint worden sein, wird weitergehend überprüft, ob sich aufgrund der Kapazitätsausschöpfung der abfahrenden LKW nicht beladene Paletten auf der Bereitstellungsfläche vor den Ausgangstoren befinden. In diesem Fall fährt der Unstetigförderer zur Palette, nimmt Sie auf und lagert Sie anschließend im Zwischenlager ein. Falls sich keine relevanten Paletten auf der Bereitstellungsfläche befinden, fährt der Unstetigförderer wieder zurück zu seiner Ausgangsposition und durchläuft den Verladungsprozess von neuem.

Der Beladungsprozess ist wie auch der Entladungsprozess in zwei Prozessketten aus Sichtweise des LKW sowie Unstetigförderers aufgeteilt. Der Beladungsprozess des LKW startet mit der Ankunft des Fahrzeugs an der Hofeinfahrt. Nach der Anmeldung fährt der LKW zu dem ihm zugewiesenen Beladator. Dort wird überprüft, ob ein Belader verfügbar ist. Sollte dies nicht der Fall sein, wartet der LKW, bis ein Belader zur Verfügung steht. Sobald ein Belader verfügbar ist, beginnt der Beladevorgang. Während der Beladung wird regelmäßig geprüft, ob der Vorgang der Beladung abgeschlossen ist. Ist die Beladung beendet, verlässt der LKW den Hof und der Beladungsprozess ist beendet.

Der Beladungsprozess aus Sicht der Unstetigförderer beginnt in der Parkposition. Zuerst wird abgefragt, ob der Status der Schicht abgefragt und im Falle eines Schichtendes ist der Beladungsprozess beendet. Falls nicht, so wird überprüft, ob sich ein LKW am Beladator befindet. Ist dies der Fall, wird der Belader einem Tor zugeordnet, fährt zur Beladefläche vor dem Tor, nimmt die Palette auf und lädt diese in den LKW. Nach jeder Beladung werden zwei weitere Bedingungen geprüft, um einen möglichen weiteren Beladungsvorgang durchzuführen. Zum einen ist sicherzustellen, dass die Kapazität des LKW noch nicht ausgeschöpft ist und darüber hinaus, ob sich weitere Paletten auf der Bereitstellungsfläche befinden. Sollte eine der beiden Bedingungen nicht erfüllt sein, fährt der Belader zurück in seine Parkposition. Falls beide Bedingungen erfüllt sind und mit „Ja“ beantwortet werden, so fährt der Unstetigförderer zur Beladefläche vom Tor und setzt von dort den Beladungsvorgang fort.

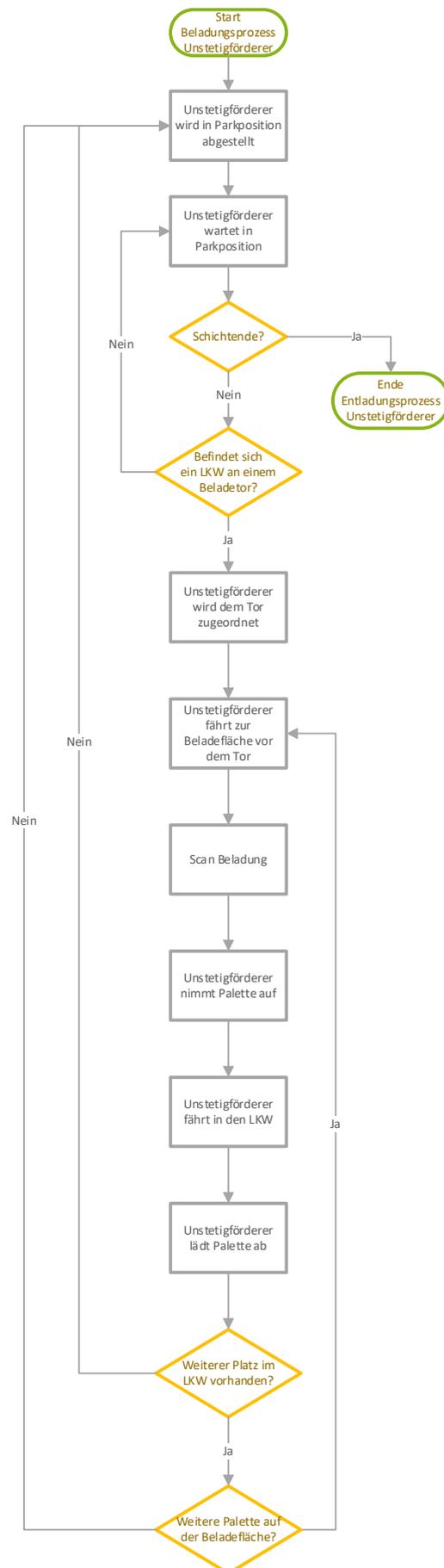


Abbildung 2-11: Beladungsprozess durch die Unstetigförderer



Abbildung 2-12: Beladungsprozess des LKW

## 2.4 Modellierungsanforderungen

Zur Finalisierung des fachlichen Anforderungskatalogs müssen abschließend relevante Modellierungsanforderungen an das Simulationstool definiert werden, welche in Eingangsdaten und Planungskriterien unterschieden werden. Die Eingangsdaten beinhalten alle Kenngrößen, welche im Rahmen der Modellgenerierung vom Anwender individuell angepasst werden können und somit die Grundlage zur Abbildung und Untersuchung verschiedener Planungsszenarien darstellen. Durch die Planungskriterien werden jene Merkmale definiert, welche den grundlegenden Aufbau von Stückgutspeditionsanlagen beschreiben sowie die wesentlichen Bestandteile dessen wiedergeben. Diese müssen bei der Entwicklung der Simulationsumgebung zwingend berücksichtigt werden, um die realitätsnahe Abbildung solcher Anlagen sicherzustellen und dienen gleichzeitig als Möglichkeit zur Validierung. Zur Realisierung dessen werden die Ergebnisse aus den vorherigen Literaturarbeiten sowie der Prozessaufnahme herangezogen und geeignete Kriterien abgeleitet. Darüber hinaus werden die notwendigen Parameter und Kenngrößen in Workshops und Experteninterviews mit den Projektpartnern aus der Industrie erarbeitet und zusammengeführt. Dadurch wird sichergestellt, dass das Simulationstool bestmöglich auf die Interessen und Bedürfnisse der KMU ausgelegt ist.

Der finale Katalog mit den Modellierungsanforderungen ist in der Tabelle 2-1 aufgeführt. Die Eingangsdaten beinhalten zum einen Parameter zu den eingesetzten Fördermitteln sowie prozesstechnische Kenngrößen wie die Be- und Entladezeiten. Ebenso soll die Systemlast über die Kapazität der LKW und das Sendungsaufkommen einstellbar sein.

Die Planungskriterien beinhalten hingegen logistische Funktionsflächen wie die Lagerflächen Bereitstellungsflächen oder Fahrwege der Transportmittel in der Umschlagsanlage. Darüber hinaus fallen hierunter aber auch generelle Kriterien zur Auslegung der Speditionsanlage wie deren generelle Form und Größe. Ebenfalls muss die Richtung des Materialflusses durch Anordnung der Eingangs- und Ausgangstore berücksichtigt werden.

**Tabelle 2-1:** Modellierungsanforderungen an das Simulationstool

<b>Eingangsdaten</b>	<b>Planungskriterien</b>
• Anzahl Fördermittel	• Größe des Hofes
• Leistung Fördermittel	• Layoutformen des Hofes
• Anzahl Tore	• Materialfluss
• Anzahl Mitarbeiter	• Lagerflächen
• Kapazität der LKW	• Bereitstellungsflächen
• Verladestrategien	• Wege der LKW und Fördermittel
• Sendungsaufkommen	
• Zeit Be- & Entladung	

### 3 Ermittlung relevanter Leistungskennzahlen von Stückgutanlagen

Nachdem im ersten Arbeitspaket ein fachlicher Anforderungskatalog entwickelt worden ist, wird im zweiten Arbeitspaket ein Katalog mit relevanten Leistungskennzahlen erarbeitet. Diese bilden die wesentlichen Ausgangsgrößen des Simulationstools ab und dienen gleichzeitig zur Bewertung und Analyse der untersuchten Planungsszenarien. Gemeinsam mit den erarbeiteten Ergebnissen aus dem ersten Arbeitspaket bildet der Katalog der Leistungskennzahlen die Basis zur Entwicklung der Simulationsumgebung. Eine vollumfassende und aussagekräftige Bewertung der Ergebnisse aus den Simulationsszenarien setzt dazu voraus, dass die verwendeten Kennzahlen klar definiert und voneinander abgesteckt sind. Das Vorgehen zur Erreichung dieses Teilziels erfolgt dazu äquivalent zu jenem aus dem ersten Arbeitspaket. Erneut ist zu Beginn eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt worden, um relevante Quellen zu identifizieren. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere bestehende Richtlinien, Leitfäden sowie entsprechende Fachliteratur zum Betrachtungsgegenstand berücksichtigt.

Diese Sichtung der Literatur hat ergeben, dass laut Weigert et al. ein Mangel „an einer allgemein gültigen Definition von Kennzahlen und Begriffen im Umfeld der Simulation in Produktion und Logistik“ (Weigert et al.) besteht. Zudem betonen die Autoren, dass es kaum möglich sei, eine einheitlich universell anerkannte Systematik für diese Begriffe und Kennzahlen festzulegen. Dennoch konnten Weigert et al. zentrale Schlüsselbegriffe identifizieren, welche unter Berücksichtigung der Anpassungen von Gutenschwager et al. als Grundlage zur Definitionen der Leistungskennzahlen in diesem Projekt dienen (Gutenschwager et al., 2017):

- *Durchsatz*: Der Durchsatz wird als Anzahl von Einheiten definiert, welche innerhalb eines bestimmten Zeitraumes einen Messpunkt durchlaufen. Entspricht der Messpunkt zugleich einer Systemgrenze, so wird der Durchsatz als Ausbringungsmenge des betrachteten Systems bezeichnet.
- *Durchlaufzeit*: Die Durchlaufzeit ist die gesamte Zeit, welche zur Erledigung einer Aufgabe benötigt wird. Zur Erfassung der Durchlaufzeit der Aufgabe werden Start- und Endzeitpunkt gemessen.
- *Bestand*: Der Bestand gibt die Menge an Einheiten innerhalb eines Systems an. Diese kann entweder zu bestimmten Zeitpunkt als Momentaufnahme erfasst oder über einen festgelegten Zeitraum hinweg zwischen zwei definierten Zeitpunkten gemessen werden.
- *Auslastung*: Die Auslastung eines Systemelements ergibt sich aus dessen verschiedenen Zuständen. Dabei steht insbesondere der Zustand im Fokus, welcher die Hauptfunktion des Elements repräsentiert, beispielsweise „in Betrieb“ oder „belegt“, bei einer Maschine. Sie gibt den prozentualen Anteil des spezifischen Zustandes innerhalb des definierten Zeitraumes an.
- *Termin*: Ein vereinbarter Zeitpunkt, der beispielsweise die Lieferfrist darstellt, wird als Termin definiert. Dieser kann als Grundlage zur Bestimmung des prozentualen Anteils der Einheiten, welche fristgerecht geliefert wurden dienen.

Zur Konkretisierung der erhaltenen Ergebnisse aus der Literaturrecherche erfolgt anschließend die Durchführung von Experteninterviews. In diesem Rahmen werden die vorherigen Resultate zuerst validiert und anschließend detaillierter ausgearbeitet. Darüber hinaus wurde die eingebrachte Fachexpertise der Unternehmen genutzt, um weitere relevante Kennzahlen zu identifizieren und ebenfalls aufzunehmen. Dadurch wird das Ziel verfolgt, individuelle Interessen der Projektpartner zu ermitteln und diese ebenso in das Simulationswerkzeug einfließen zu lassen um dadurch ein möglichst breites Spektrum an Anwendungsfällen berücksichtigen zu können. Der vollständige Katalog mit allen Leistungskennzahlen ist nachfolgend aufgeführt.

**Tabelle 3-1:** Katalog mit Leistungskennzahlen für das Simulationstool

<b>Leistungskennzahlen</b>	
• Auslastung Fördermittel	• Zurückgelegte Distanzen
• Auslastung Tore	• Durchlaufzeiten der Sendungen
• Auslastung Mitarbeiter	• Umsatz
• Auslastung Logistikflächen	• Umschlagvolumen
• Systemlast	• Energetische Bilanz
• Spielzeit Fördermittel	

Der finale Katalog lässt sich in verschiedene Bereiche unterteilen. Er beinhaltet sowohl auslastungsbezogene Kennzahlen im Hinblick auf die Nutzung und Belegung der Fördermittel, Tore, Mitarbeiter und Logistikflächen. Ebenso sind wirtschaftliche Messgrößen wie der Umsatz enthalten. Darüber hinaus werden zeitbezogene sowie durchsatzbezogene Kennzahlen berücksichtigt, welche zur Bewertung der Produktivität der Speditionsanlage herangezogen werden können. Damit sind alle relevanten Bereiche abgedeckt und durch die definierten Leistungskennzahlen wird eine vollumfängliche Bewertung aller Prozesse innerhalb einer Stückgutspeditionsanlage ermöglicht. Ebenso ist der Anwender anhand der Kennzahlen in der Lage, unterschiedliche Planungsszenarien gegenüberzustellen und detailliert auszuwerten, um daraus Rückschlüsse auf die reale Anlage ziehen zu können.

Gemeinsam mit den Ergebnissen aus dem ersten Arbeitspaket ist damit die Grundlage zur Entwicklung des Simulationswerkzeugs gelegt worden und die Eingangs- sowie Ausgangsgrößen wurden definiert. Die erzielten Resultate können somit zur weiteren Ausarbeitung im dritten und vierten Arbeitspaket genutzt werden.

## **4 Entwicklung des Simulationswerkzeugs**

Auf Basis der Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 1 & 2 erfolgt im nächsten Schritt die Entwicklung des Simulationswerkzeugs. Dazu wird erneut eine Literaturrecherche durchgeführt, welche das gewählte methodische Vorgehen thematisiert. Im Anschluss erfolgt die praktische Entwicklung anhand des zuvor dargelegten Vorgehensmodells. Abschließend werden der Aufbau und Funktionsumfang des finalen Simulationswerkzeugs detailliert beschrieben.

### **4.1 Methodisches Vorgehen zur Entwicklung von Simulationsmodellen**

Einen wesentlichen Bestandteil zur Entwicklung des Simulationstools stellt das zu Grunde gelegte Vorgehensmodell dar. Dieses beinhaltet strukturiert alle Schritte zur Durchführung des Modellierungsprozesses und setzt diese miteinander in Beziehung. In der Literatur werden zur Erstellung von Simulationsmodellen und der Durchführung von Simulationsstudien unterschiedliche Vorgehensmodelle thematisiert. Die Vorgehensmodelle unterscheiden sich laut Rabe et al. (2008) jedoch erheblich in ihrem Umfang und ihrer Komplexität. Dennoch haben alle Vorgehensmodelle gemeinsam, dass sie grundlegende Schritte enthalten, welche für die Durchführung einer Simulationsstudie erforderlich sind. Die fünf Hauptkomponenten, welche sich in nahezu allen Modellen wiederfinden, setzen sich aus Aufgabenanalyse, Modellformulierung, Modellimplementierung, Modellüberprüfung und Modellanwendung zusammen. Das am weitesten verbreitete Vorgehensmodell für Simulationsstudien aus dem Bereich Produktion und Logistik in Deutschland ist definiert in der VDI-Richtlinie 3633 (VDI 3633-1, 2014). Aufgrund dessen bildet das Vorgehensmodell in Abbildung 4-1 die Grundlage der in diesem Projekt durchgeführten Modellierungsprozesse und wird im Folgenden näher beschrieben.

#### **Zielbeschreibung**

Die Zielbeschreibung bildet im Vorgehensmodell die Ausgangsbasis. Bereits vor der Beauftragung durch den Auftraggeber kann die Zielbeschreibung in Form eines Lastenheftes oder in der Ausschreibung eines Projekts festgehalten werden. Die drei Haupterläuterungen der Zielbeschreibung setzen sich aus der Ausgangssituation, dem Projektumfang und den Rahmenbedingungen für das Projekt zusammen (Rabe et al., 2008).

#### **Aufgabendefinition**

Die Phase der Aufgabendefinition besteht aus der Festlegung von Zielen und deren Unterteilung in Teilziele. Zuerst wird ein übergeordnetes Gesamtziel bestimmt, welches anschließend in kleinere Teilziele untergliedert wird. Mögliche Konflikte zwischen den Teilzielen werden identifiziert und in Zusammenarbeit mit Fachexperten gelöst (VDI 3633-1, 2014). Dieser Prozess führt zu einer präziseren Beschreibung der Zielvorgaben des Auftraggebers. Das Ergebnis dieser Präzisierung ist die Aufgabenspezifikation, welche als Phasenergebnis aus der

Aufgabendefinition hervorgeht und die zuvor formulierte Zielbeschreibung konkretisiert. Diese wird von Auftraggebern und Auftragnehmern gemeinsam getragen und dient zur Schaffung eines einheitlichen Grundverständnisses (Rabe et al., 2008).

### **Systemanalyse**

Nach der Aufgabendefinition stellt die Systemanalyse die erste Phase der Entwicklung eines Konzeptmodells dar. Das komplex betrachtete System wird hierbei in kleine Teilsysteme aufgeteilt und analysiert. In dieser Phase wird das betrachtete Gesamtsystem in kleinere Teilelemente zerlegt und einer detaillierten Analyse unterzogen. Für die Zerlegung des gesamten Systems können zwei verschiedene Ansätze angewendet werden: der Top-down-Ansatz und der Bottom-up-Ansatz. Bei dem Top-down-Ansatz wird vorerst das Gesamtsystem als Ganzes betrachtet bevor es schrittweise in kleinere, überschaubare Teilsysteme unterteilt wird. Im Gegensatz dazu beginnt der Bottom-up-Ansatz auf unterster Ebene mit der Analyse einzelner Systemdetails. Die einzelnen Teilsysteme setzen sich schrittweise durch die Hinzunahme weiterer Teilsysteme zusammen, bis schließlich das vollständige Gesamtsystem entsteht (VDI 3633-1, 2014).

### **Formalisierung**

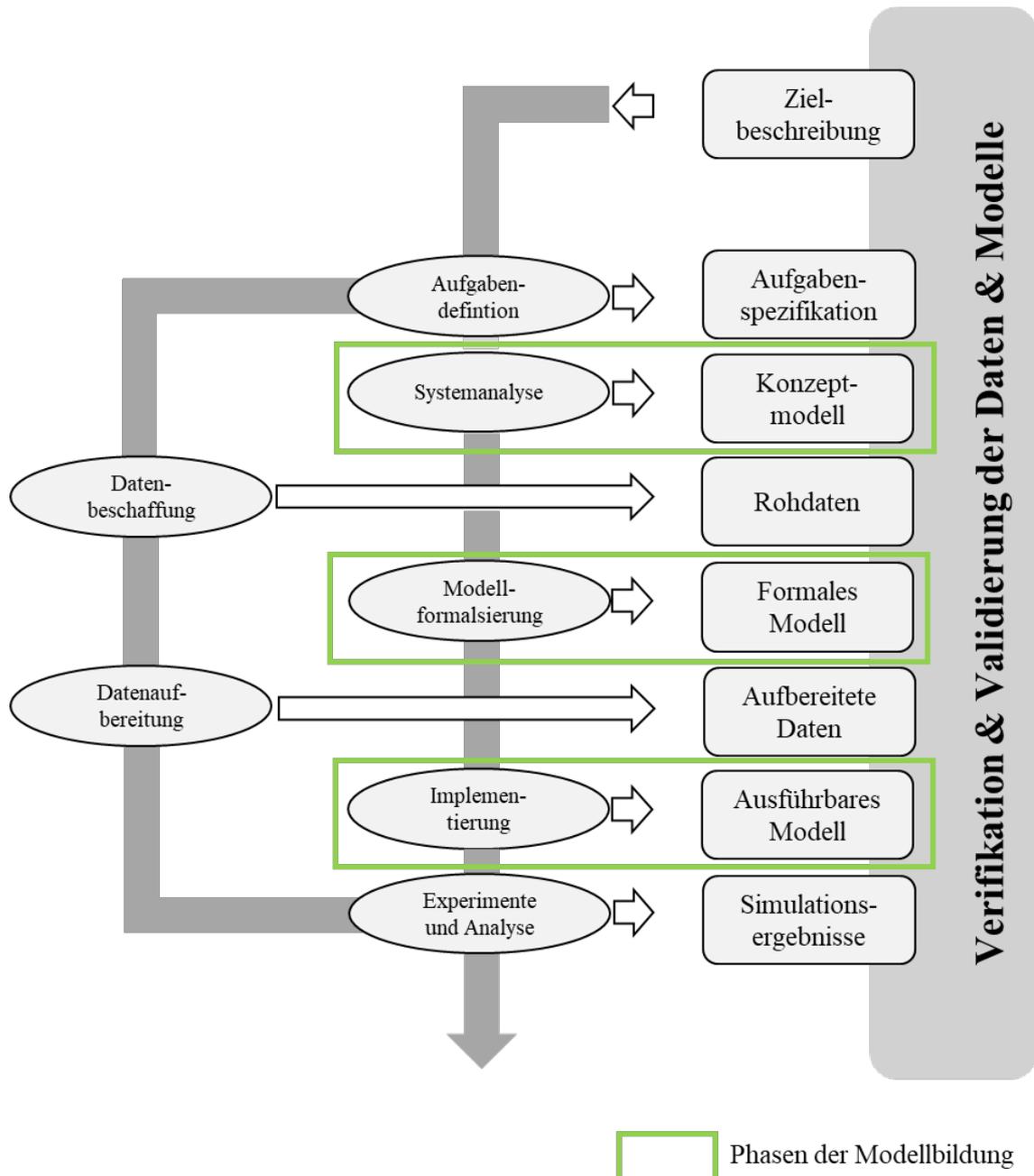
Nachfolgend folgt die Phase der Formalisierung und umfasst die Transformation des Konzeptmodells in ein formales Modell. Das formale Modell dient als essentielle Grundlage für die Implementierung und kann mit unterschiedlichen Simulationswerkzeugen konstruiert werden (Gutenschwager et al., 2017). Das Hauptziel der Formalisierungsphase ist die Validierung des Modells, inwieweit die Voraussetzungen des Konzeptmodells getroffen wurden, um darauffolgend im Simulationsmodell abgebildet werden zu können (Rabe et al., 2008).

### **Implementierung**

Die Implementierung im Vorgehensmodell erfolgt durch ein realisierbares Modell, welches mittels einer Programmiersprache und einem Simulationswerkzeug erstellt wird (Rabe et al., 2008). Vordefinierte Bausteine des verwendeten Simulationswerkzeugs und dessen Eigenschaften können die Modellgestaltung beeinflussen, wodurch sich dies je nach gewähltem Werkzeug unterscheiden kann (Gutenschwager et al., 2017).

### **Datenbeschaffung und Datenaufbereitung**

Parallel zu den zuvor beschriebenen Phasen der Modellbildung betrachtet das Vorgehensmodell zusätzlich die Daten (VDI 3633-1, 2014). Die Datenbeschaffung, durchgeführt von IT-Verantwortlichen und Fachexperten erfolgt entweder mittels Primärerhebung zur Sammlung neuer Daten oder per Sekundärerhebung zur Nutzung bereits vorhandener Daten (Gutenschwager et al., 2017). Bei beiden Erhebungsarten müssen Art und Umfang zuvor in der Aufgabenspezifikation definiert sein. Anschließend bereiten die Simulationsexperten die Rohdaten in der Datenaufbereitung auf. Dies kann etwa durch Datenfilterung, Umstrukturierung oder durch eine Erstellung statistischer Verteilungen für die Experimente erfolgen (Rabe et al., 2008).



**Abbildung 4-1:** Vorgehensmodell Simulationsstudie

### Experimente und Analyse

In der Experimente- und Analysenphase werden Simulationsexperimente durchgeführt, nachdem das Modell implementiert und die Daten aufbereitet worden sind. Beginnend mit der Aufstellung von Hypothesen und der Erstellung eines Experimentierplans werden die Experimente und Analysen anschließend durchgeführt. Hierbei ist die Festlegung der variierbaren Parameter sowie deren Reihenfolge entscheidend, da dies den Aufwand und die Anzahl der Wiederholungen beeinflusst, die nötig sind, um das Simulationsziel zu erreichen (Gutenschwager et al., 2017). Die Ergebnisanalysen bilden die Grundlage für die daraus abzuleitenden Schlussfolgerungen. Die Phase wird von Simulations- und Fachexperten größtenteils gemeinsam vorgenommen.

Ausschließlich die Durchführung und die Analyse der Experimente kann nur von Simulationsexperten durchgeführt werden (Rabe et al., 2008).

### **Verifikation und Validierung**

Die Verifikation und Validierung (V & V) sind zentrale Prozesse, die in allen Phasen des Vorgehensmodells ablaufen, um die Glaubwürdigkeit von Simulationsmodellen zu sichern. Die Verifikation prüft nach, „ob ein Modell von einer Beschreibungsart in eine andere Beschreibungsart korrekt transformiert wurde“ (Rabe et al., 2008). Dieser Schritt dient dazu, frühzeitig mögliche Fehler im Modell zu erkennen und zu beheben. Hierzu kann die Frage mit „Ist das Modell richtig?“ als Gedankenstütze angewandt werden (Gutenschwager et al., 2017; Rabe et al., 2008). Die anschließende Validierung hingegen beschreibt „[...] die kontinuierliche Überprüfung, ob die Modelle das Verhalten des abgebildeten Systems hinreichend genau wiedergeben“ (Rabe et al., 2008). Dabei steht die Frage: „Ist es das richtige Modell?“ im zentralen Fokus (Gutenschwager et al., 2017; Rabe et al., 2008). Mithilfe verschiedener V&V- Techniken und einer zusätzlichen Trennung von Modell und Daten können die Schwächen identifiziert und behoben werden (Rabe et al., 2008).

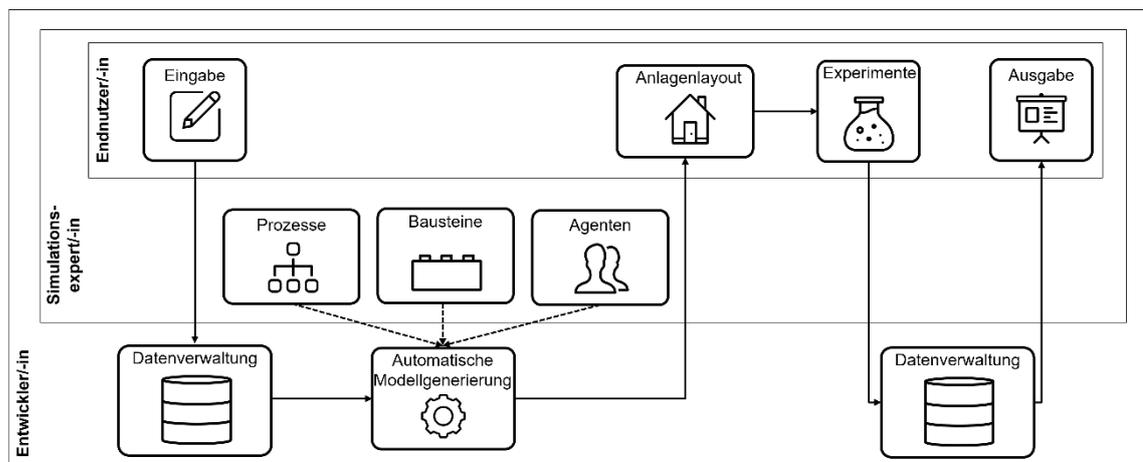
## **4.2 Entwicklung des Simulationstools**

Die Entwicklung des Simulationstools ist der Implementierungsphase des zuvor thematisierten Vorgehensmodells zuzuordnen (vgl. Abbildung 4-1). Das aus der Implementierung resultierende ausführbare Modell basiert auf den vorangegangenen Schritten der Systemanalyse und Modellformalisierung, welche in Kapitel 2 ausführlich dargelegt sind. Bei der Implementierung ist die zentrale Anforderung zu berücksichtigen, dass das Simulationstool von einem breiten Nutzerkreis mit unterschiedlichen Anwendungsfällen verwendet werden kann und für die Nutzung keine tiefgreifenden Simulationskenntnisse notwendig sind. Diese Anforderung unterscheidet sich grundlegend von klassischen Simulationsstudien. Zur Sicherstellung der Nutzung durch verschiedene Unternehmen ohne gezielte Simulationskenntnisse wird der Lösungsansatz der automatischen Simulationsmodellgenerierung (ASMG) verwendet.

Unter der ASMG werden Modellierungsansätze verstanden, welche einen sogenannten Modellgenerator für die automatische Erstellung von ausführbaren Simulationsmodellen verwenden (Mathewson, 1984). Ein Modellgenerator erstellt eigenständig Programmcode und wird für mehrere Simulationsstudien genutzt. Es gibt verschiedene Ansätze für eine Umsetzung einer ASMG, welche geeignete Algorithmen und Schnittstellen für die Modellgenerierung umfassen (Bergmann & Straßburger, 2010; Wenzel et al., 2019). Eine Klassifizierung der Ansätze erfolgt unter anderem anhand der Techniken für die Modellgenerierung, Typ des Dateninputs und Grad der Automatisierung (Bergmann & Straßburger, 2010; Vieira et al., 2018). Anhand dieser Merkmale wird der folgende Ansatz für die automatische Generierung von Simulationsmodellen für Stückgutspeditionsanlagen eingeordnet und beschrieben.

Die Bestandteile des Simulationstools und die Zuordnung zu den Akteuren Entwickler/-in, Simulationsexpert/-in und Endnutzer/-in ist in Abbildung 4-2 dargestellt. Diese Unterteilung auf Basis von Akteuren erfolgt im Hinblick auf die notwendigen Simulations- und Programmierkenntnisse, um mit den Systembestandteilen zu interagieren. Die Dateneingabe

erfolgt über eine graphische Oberfläche. Die Anforderung an die Eingabe ist, dass keine tiefgreifenden Simulationskenntnisse notwendig sind und ausreichend Daten für die Modellgenerierung erhoben werden. Die implementierte Eingabe ist dem Kapitel 4.3 zu entnehmen. Die Eingangsdaten werden nach erfolgreicher Eingabe in einer Datenschnittstelle gespeichert und für die automatische Modellgenerierung aufbereitet. Neben den Eingangsdaten greift die Modellgenerierung auf vordefinierte Prozesse, Bausteine und Agenten zurück, welche einmalig von einem Simulationsexperten definiert werden müssen. Aus dem Modellierungsprozess resultiert ein Anlagenlayout, welches anschließend für die Durchführung von Experimenten genutzt werden kann. Die Ergebnisse von Experimenten werden schlussendlich in einer graphischen Ausgabe dem Endnutzer zur Verfügung gestellt.

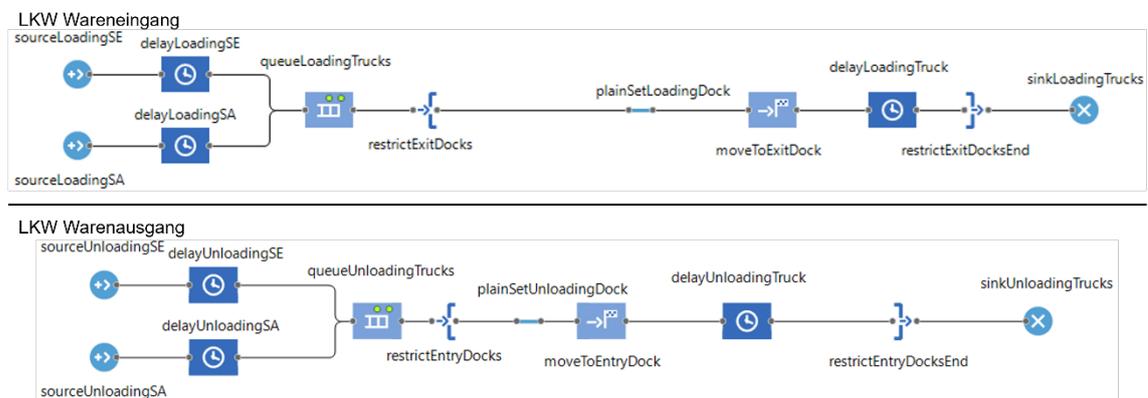


**Abbildung 4-2:** Akteurszuordnung der Bestandteile des Simulationstools (eigene Darstellung i. A. a. Jurgeleit et al., 2024)

Die Implementierung des Konzepts als nachnutzbares Tool für mittelständische Unternehmen in der Stückgutbranche erfolgt in der Simulationsumgebung AnyLogic in der Version 8. Die Bausteine werden zur Abbildung von Stückgutspeditionsanlagen ausgelegt und sind in Kapitel 4.3 beschrieben und in Abbildung 4-6 dargestellt. Die Implementierung der Prozesse erfolgt auf Basis von Kapitel 2.3 und ist in den Entladeprozess, Umschlagprozess und Beladeprozess unterteilt. Zusätzlich werden Prozesse für die Ankunft und Abfahrt der LKW berücksichtigt. Diese stellen gleichzeitig die Systemgrenzen des Modells dar. Die implementierten Agenten umfassen Unstetigförderer, Paletten und LKW. Unstetigförderer werden als Gabelstapler implementiert und einem der Prozesse Entladeprozess, Umschlagprozess oder Beladeprozess zugeordnet. Die zurückgelegten Distanzen und Auslastungen werden in Variablen gespeichert und werden für die Auswertung verwendet. Darüber hinaus werden Funktionen genutzt, welche u. a. die Zuordnung einer Aufgabe erlauben, Stapler einplanen oder Paletten zuordnen. Von einer Palette werden für die statistische Auswertung Daten, wie der Entlade- und Beladezeitpunkt in geeigneten Variablen gespeichert. Die agentenspezifischen Funktionen umfassen die Zuweisung von Ein- und Ausgangstor und der Zuweisung der LKW. Der LKW-Agent kann für den Wareneingang oder den Warenausgang genutzt werden und diese Information in einem Parameter gespeichert. Darüber hinaus werden in Variablen und Listen Informationen zu dem Tor für die Be- oder Entladung sowie den beladenen Paletten gehalten. Die Interaktion innerhalb des Modells

wird wie bereits bei den vorangegangenen Agenten über Funktionen ermöglicht. Bei LKW-Agenten umfassen diese u. a. die Zuweisung von Paletten oder Toren.

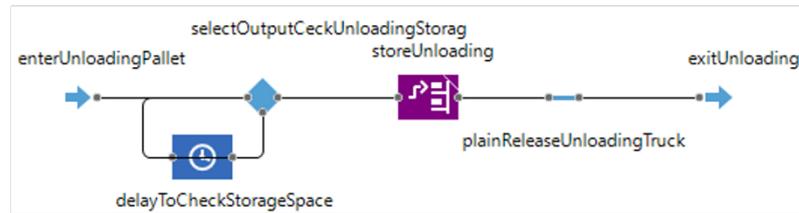
Die Prozessimplementierung der LKW umfasst den Wareneingang und Warenausgang. Die in Abbildung 4-3 dargestellten Prozesse beinhalten die An- und Abfahrt und werden von den LKW-Agenten durchlaufen. Beide Prozesse werden für den Sammelguteingang und -ausgang genutzt. LKW warten zunächst darauf, dass ihnen ein Tor zugewiesen werden kann. Anschließend fährt der LKW zu dem Tor. Innerhalb des Wareneingangs wird im Anschluss der Entladeprozess für die zu beladenden Paletten gestartet. Innerhalb des Warenausgangs wird der Beladeprozess gestartet. Sobald der Ent- oder Beladeprozess abgeschlossen ist fährt der LKW vom Tor ab verlässt das Modell über die Senke.



**Abbildung 4-3:** Prozessimplementierung „Ankunft & Abfahrt LKW“

Die Implementierung des Ent- und Beladeprozesses ist in Abbildung 4-4 dargestellt. Diese Prozesse werden durch die Paletten-Agenten durchlaufen. Bei der Entladung wird zunächst überprüft, ob auf der Bereitstellfläche vor dem Entladetor ein freier Stellplatz vorhanden ist. Ist ein Stellplatz vorhanden, wird die Palette auf die Bereitstellfläche verbracht. Ist kein Stellplatz vorhanden, wird solange gewartet bis ein Stellplatz frei ist. Zusätzlich wird die Beladung des LKW überprüft. Sobald jede beladene Palette entladen wurde, kann der LKW das System verlassen. Die Grundlage für den Beladeprozess ist, dass die für den LKW bestimmten Paletten auf die Bereitstellfläche vor dem Ausgangstor verbracht wurden. Dort warten die Paletten zunächst auf das Eintreffen des LKW. Anschließend werden die Paletten gescannt und von der Bereitstellfläche auf den LKW geladen. Dabei wird die Kapazität des LKW überprüft. Sobald alle Paletten, die für den LKW bestimmt sind beladen wurden oder der LKW voll beladen ist, verlässt der LKW das System. Übrige Paletten werden zwischengelagert und für den Umschlag des Folgetages bereitgehalten.

## Entladung



## Beladung



**Abbildung 4-4:** Prozessimplementierung „Ent- und Beladung“

Die Zwischenlagerung und der Umschlag sind die zentralen Prozesse für die internen Abläufe der Paletten und sind in Abbildung 4-5 in implementierter Form abgebildet. Der Umschlagprozess ist für die Verbringung von Paletten zwischen zwei Bereitstellflächen zuständig und wird von den hierfür vorgesehenen Staplern durchgeführt. Zunächst warten Paletten auf einen freien Stapler. Anschließend werden sie von der Bereitstellfläche vor dem Eingangstor aufgenommen. An diesem Punkt erfolgt die Unterscheidung zwischen Paletten, die direkt umgeschlagen werden und Paletten, die zunächst zwischengelagert werden (AVIS-Sendungen). Für den direkten Umschlag werden die Paletten einem Ausgangstor zugewiesen und werden zu der zugehörigen Bereitstellfläche verbracht. Dort verbleiben die Paletten bis der Beladeprozess beginnt. Für Paletten, die zwischengelagert werden, wird zunächst die Kapazität des Lagers überprüft. Anschließend wird die Paletten auf einem freien Stellplatz im Zwischenlager platziert. Dort verbringen Sie die laufende Schicht und werden in der folgenden Schicht aus dem Zwischenlager geholt und zu einem Tor verbracht. Dafür durchlaufen die Paletten erneut den Umschlagprozess. Ein zusätzlicher Hilfsprozess ist für die Paletten notwendig, die bereits auf einer Bereitstellfläche platziert wurden, jedoch aufgrund der Kapazität nicht auf den LKW beladen werden konnten. Diese Paletten werden von der Bereitstellfläche aufgenommen und anschließend in das Zwischenlager verbracht.

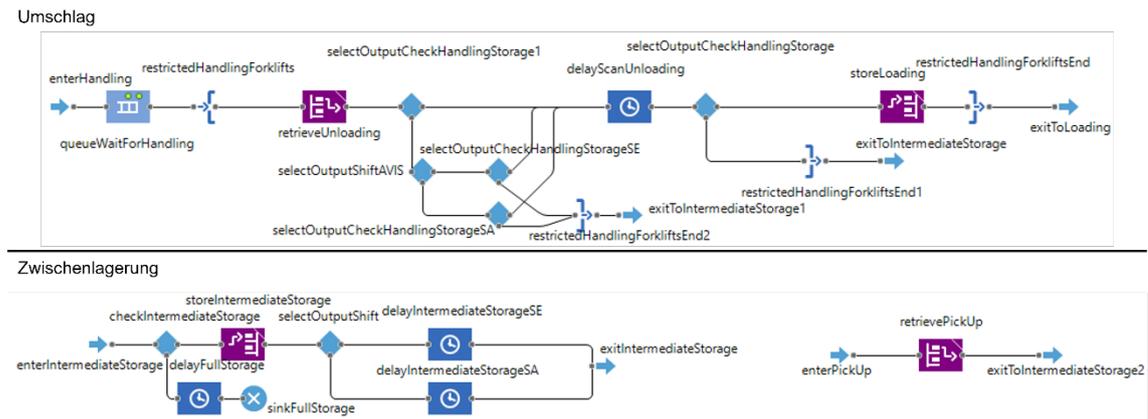


Abbildung 4-5: Prozessimplementierung "Umschlag und Zwischenlagerung"

### 4.3 Aufbau und Funktionsumfang des Simulationstools

#### Aufbau und Bedienung

Anhand einer Eingabemaske mit verschiedenen Reitern führt das Simulationswerkzeug den Nutzer schrittweise durch den Planungsprozess. Auf Basis der Nutzereingaben wird abschließend ein ausführbares und experimentierfähiges Simulationsmodell generiert. Die Eingabemaske des Simulationstools ist dazu in 14 verschiedene Registerkarten unterteilt, welche eine möglichst detaillierte Modellierung des betrachteten Planungsszenarios ermöglichen. Dazu können zunächst grundlegende Einstellungen an der Layoutplanung sowie der Sendungsverteilung vorgenommen werden. Darauf aufbauend werden die Prozessparameter und eingesetzten Ressourcen festgelegt. Im nächsten Abschnitt erfolgt die Definition der Ankunftszeiten der LKW sowohl für den Sammelguteingang als auch für den Sammelgutausgang und damit verbundene Parameter. Zuletzt können grundlegende Einstellungen an der Simulation vorgenommen werden.

Im oberen Bereich der Eingabemaske ist anhand der Reiter zu jeder Zeit ersichtlich, an welcher Stelle im Planungsprozess man sich aktuell befindet. Über diese Registerkarten kann zwischen den Eingabemasken vor und zurück gewechselt werden. In bestimmten Fällen ist diese Funktion aufgrund der Sinnhaftigkeit deaktiviert. Außerdem bietet der Play-Button oben rechts die Möglichkeit, das Simulationsmodell von jedem beliebigen Planungsschritt aus direkt zu starten. Darüber hinaus befindet sich auf jedem Eingabereiter ein „Zurück-“ bzw. „Weiter-“ Button, welcher die Navigation durch die Eingabemaske ermöglicht. Zusätzlich enthält jeder Reiter oben links einen Info-Button. Dieser fasst nochmals kurz die wesentlichen Einstellmöglichkeiten zu dem entsprechenden Reiter zusammen.

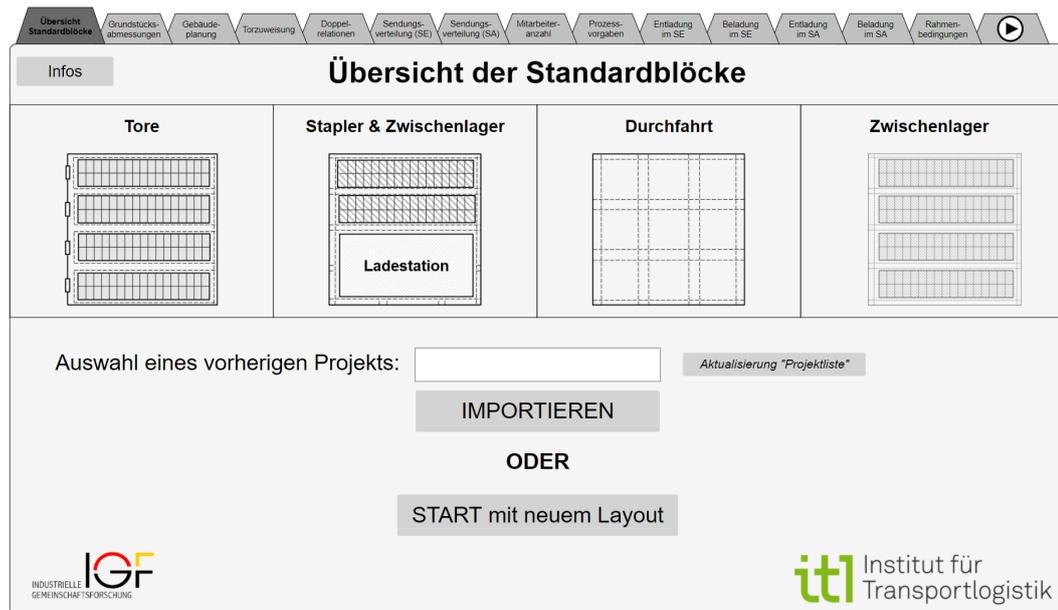
#### Standardblöcke

Auf der ersten Registerkarte wird im oberen Abschnitt eine Übersicht über die nutzbaren Standardbausteine gegeben. Zur Layouterstellung der Stückgutspeditionsanlage kann zwischen verschiedenen Standardbausteinen gewählt werden, welche entsprechend ihrer späteren Platzierung miteinander kombiniert und zu einer vollständigen Umschlaganlage verbunden werden. Dazu kann zwischen vier unterschiedlichen Baustein-Typen gewählt werden (vgl. Abbildung 4-6). Die Standardgröße für jeden Baustein beträgt 16,0 m x 16,0 m.

- Tore: Dieser Baustein stellt die Eingangs- und Ausgangstore dar und umfasst dazu pro Baustein vier Tore inkl. jeweils eine dazugehörige Bereitstell- oder Entladungsfläche für die Paletten. Außerdem sind die Fahrwege der Gabelstapler für die Zugänglichkeit zum Tor sowie der entsprechenden Funktionsfläche enthalten.
- Stapler & Zwischenlager: Dieser Baustein ist zweigeteilt und bildet zum einen die Home-Location der Gabelstapler ab. Darunter ist jene Position zu verstehen, an der die Gabelstapler beheimatet sind und sich bei Inaktivität positionieren bzw. warten. Außerdem ist in diesem Bereich die Ladestation verortet.  
Darüber hinaus beinhaltet der Baustein zwei Zwischenlager mit jeweils 34 Palettenstellplätzen. Diese können für die Zwischenlagerung von planmäßigen AVIS-Sendungen oder unplanmäßig zwischenzulagernden Sendungen genutzt werden. Die Fahrwege zur Zugänglichkeit aller Bereiche des Bausteins sind ebenfalls enthalten
- Freifläche: Dieser Baustein beinhaltet ausschließlich Fahrwege der Gabelstapler, allerdings keine weiteren Funktionsflächen. Er kann beispielsweise auch zur Modellierung von Leerflächen wie beispielsweise einer Wiegeeinheit etc. genutzt werden.
- Zwischenlager: Dieser Baustein beinhaltet vier Zwischenlager mit einer Kapazität von jeweils 34 Palettenstellplätzen. Auch diese können für die Zwischenlagerung von planmäßigen AVIS-Sendungen oder unplanmäßig zwischengelagerten Paletten genutzt werden. Bei dem Baustein sind die Fahrwege der Gabelstapler zur Zugänglichkeit aller Lager im Baustein enthalten.

Da mit dem Simulationswerkzeug lediglich die innerbetrieblichen Umschlagsprozesse modelliert werden und keine Hofbewegungen, besteht keine Möglichkeit der Verladung auf Wechselbrücken. Alternativ hierzu können im Randbereich der Umschlaganlage Zwischenlager-Bausteine platziert werden, um den Effekt einer Wechselbrücke vergleichsweise zu berücksichtigen.

Im unteren Abschnitt dieser Registerkarte besteht die Möglichkeit, ein bereits simuliertes Planungsszenario aus dem Projektverlauf zu importieren und erneut aufzurufen oder vereinzelte Änderungen an den Einstellungen vorzunehmen. Dazu wird das gewünschte Szenario aus der Drop-Down Liste ausgewählt und anschließend auf „IMPORTIEREN“ geklickt. Alternativ kann über den Button „START mit neuem Layout“ ein von Grund auf neues Planungsszenario begonnen werden.



**Abbildung 4-6:** Übersicht "Standardblöcke" und Beginn des Planungsszenarios

### Eingabe Grundstücksabmessungen

In diesem Eingabereiter wird die benötigte Planungsfläche für die Stückgutspeditionsanlage festgelegt und die Grenzen der Anlage definiert. Dabei kann zwischen zwei unterschiedlichen Eingabemethoden ausgewählt werden. Diese werden entweder durch Anklicken des Buttons „Eingabe in Meter“ oder durch Anklicken des Buttons „Eingabe in Blöcken“ aktiviert (vgl. Abbildung 4-20).

Eingabe in Metern: Im oberen Bereich der Eingabe kann die Grundstücksfläche in Metern angegeben werden. Dazu wird die gewünschte Länge und Breite in die Felder eingetragen. Die Eingabe erfolgt in Metern (z.B., 20.0 x 30.0 m). Aufgrund der fest definierten Bausteingröße von 16.0 m x 16.0 m, wird bei dieser Art der Eingabe automatisch auf die nächstmögliche Bausteingröße abgerundet (z. B. bei der Eingabe von 40.0 m x 35.0 m wird auf 32.0 m x 32.0 m abgerundet)

Eingabe in Blöcken: Alternativ kann die Größe der Planungsfläche über die Anzahl der Standardbausteine definiert werden. Ein Baustein besitzt Abmaße von 16.0 m x 16.0 m. Dazu wird die Anzahl der Bausteine eingegeben, die für die Länge und die Breite der Planungsfläche benötigt wird.

Die Planungsfläche sollte in diesem Schritt etwas größer dimensioniert werden, als eigentlich notwendig. Nicht benötigter bzw. nicht belegter Platz wird im darauffolgenden Planungsschritt automatisch entfernt.

**Abbildung 4-7:** Eingabe der Grundstücksabmessungen

### Gebäudeplanung

In der Eingabe dieses Planungsschritts wird das Groblayout der Stückgutspeditionsanlage erstellt. Auf Basis der zuvor getroffenen Eingabe zur Definition der Grundstücksabmessungen ist mittig entsprechend die dafür zu nutzende Planungsfläche als Schachbrettmuster vorgesehen (vgl. Abbildung 4-21). Im linken Abschnitt befinden sich die für die Planung zur Auswahl stehenden und eingangs erläuterten Standardbausteine:

- Freifläche (olivgrün): Baustein mit Fahrwegen der Gabelstapler (ohne Funktionsflächen).
- Tore (blau): Baustein mit 4 Toren (Ob diese als Eingangs- oder Ausgangstor belegt werden, ist in diesem Schritt noch nicht relevant).
- Stapler (orange): Baustein mit Home Location der Stapler und 2 Zwischenlagern.
- Zwischenlager (türkis): Baustein mit 4 Zwischenlagern.
- Löschen (weiß): Funktion zum Entfernen eines bereits platzierten Bausteins.

Zur Platzierung eines Bausteins ist wie folgt vorzugehen:

1. Auswahl eines Standardbausteins durch Anklicken im linken Abschnitt (Der aktuell ausgewählte Baustein wird zusätzlich oben rechts angezeigt).
2. Platzieren des Standardbausteins durch Anklicken eines Quadrats auf der Rasterfläche (Mehrfache Platzierung eines einmal ausgewählten Bausteins ist möglich).
3. Nicht belegte Quadrate werden für die nachfolgenden Planungsschritte entfernt und nicht weiter berücksichtigt.

Dabei gilt es, folgende Restriktionen zu beachten:

- Die Umschlaganlage muss ein zusammenhängendes Gebäude darstellen.
- Die Umschlaganlage muss mindestens zwei Tore-Bausteine sowie einen Stapler-Baustein enthalten.

- Jeder verwendete Tore-Baustein muss über wenigstens eine freie Kante verfügen, d.h. er muss von mindestens einer Seite durch einen LKW angefahren werden können.

Im Hintergrund wird durch das Werkzeug geprüft, ob alle Bedingungen erfüllt sind. Sollte dies nicht der Fall sein, leuchtet ein Hinweisfeld über die fehlerhafte Eingabe auf und es besteht die Möglichkeit entsprechende Änderungen vorzunehmen.

Der rechte Abschnitt beinhaltet außerdem verschiedene Button zur Navigation und Bedienung. Dort gelangt man entweder zum vorherigen („Zurück“) oder nachfolgenden („Weiter“) Planungsschritt. Außerdem besteht die Möglichkeit über den Button „Löschen“ die vollständige Eingabe aller bereits platzierten Bausteine zurückzusetzen.



**Abbildung 4-8:** Gebäudeplanung

### Torzuweisung

Dieser Eingabebereiter ermöglicht den im Schritt zuvor positionierten Tor-Bausteinen eine Funktion zuzuweisen. Dabei wird unterschieden zwischen den beiden Funktionsarten „Eingangstore“ (blau) zur Entladung der LKW und „Ausgangstore“ (grün) zur Beladung der LKW (vgl. Abbildung 4-22). Es können lediglich die gelben Dreiecke belegt werden, da dies die außenliegenden Kanten der Tor-Bausteine sind. Grau schraffierten Flächen kann keine Tor-Funktionsart zugewiesen werden. Es ist zu beachten, dass sich die Zuweisung einer Funktionsart auf alle vier Tore des Bausteins bezieht. Eine separate Belegung einzelner Tore innerhalb des Bausteins ist nicht möglich.

Für die Zuweisung einer Funktionsart ist analog zum vorherigen Schritt wie folgt vorzugehen:

1. Auswahl einer Funktionsart durch Anklicken im linken Abschnitt (Die aktuell ausgewählte Funktionsart wird zusätzlich oben rechts angezeigt).
2. Zuweisen der Funktionsart durch Anklicken eines Gelb-farbenen Dreiecks auf der Rasterfläche (Mehrfache Zuweisung einer einmal ausgewählten Funktionsart ist möglich).

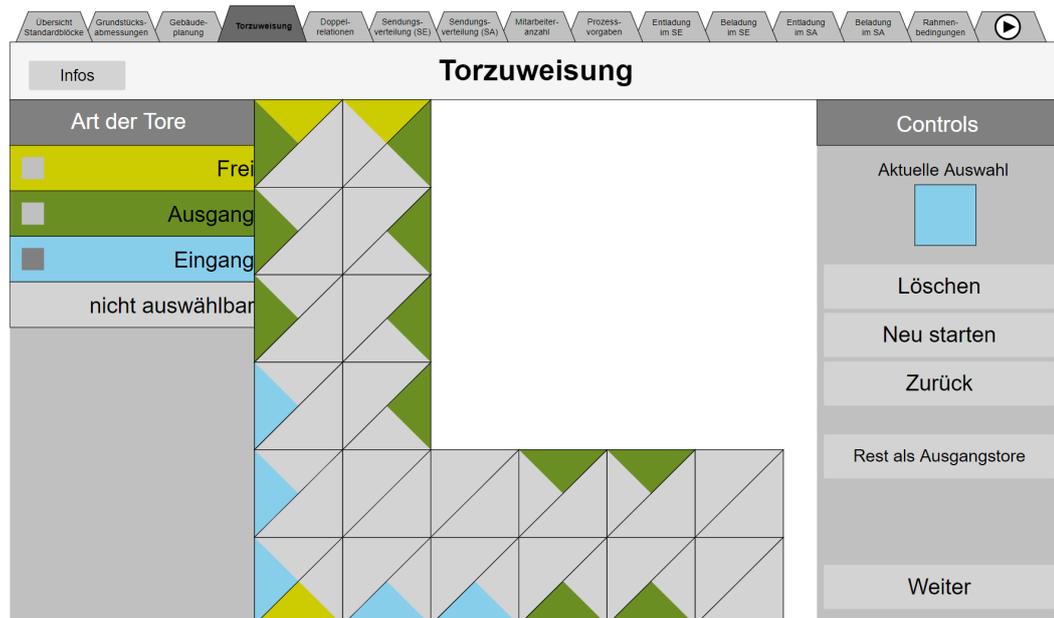
- Ein in der Ecke liegender Tor-Baustein mit zwei freien Kanten kann lediglich für eine Seite eine Funktionsart zugewiesen bekommen.

Bei der Zuteilung gilt es, bestimmte Restriktionen zu beachten:

- Jedem Tor-Baustein muss genau eine Funktionsart zugewiesen werden.
- Die Speditionsanlage muss mindestens einen Tor-Baustein mit der Funktion „Eingangstor“ und einen Tor-Baustein mit der Funktion „Ausgangstor“ besitzen.

Der rechte Abschnitt beinhaltet außerdem verschiedene Button zur Navigation und Bedienung. Dort gelangt man entweder zum vorherigen („Zurück“) oder nachfolgenden („Weiter“) Planungsschritt. Außerdem besteht die Möglichkeit über den Button „Löschen“ die vollständige Eingabe aller zugewiesenen Funktionsarten zurückzusetzen.

Um die Eingabe zu erleichtern sollten zuerst alle Eingangstore belegt werden. Anschließend werden durch Anklicken auf den Button „Rest als Ausgangstore“ unten rechts alle noch nicht belegten Bausteine automatisch als Ausgangstor definiert. Abschließend sollte die Belegung der Ecktore kontrolliert werden.



**Abbildung 4-9:** Festlegung der Torfunktion

### Doppeltorbelegung

Dieser Eingabebereiter ermöglicht es, für alle im vorherigen Schritt als Ausgangstor definierten Tore eine Unterscheidung zwischen „Einzeltorrelation“ und „Doppeltorrelation“ vorzunehmen (vgl. Abbildung 4-23). Diese Einstellmöglichkeit gilt ausschließlich für die Beladung des Nahverkehrs. Im Fernverkehr wird jedes Ausgangstor standardmäßig als „Einzeltorrelation“ definiert. Unter einer Einzeltorrelation (grün) ist zu verstehen, dass an diesem Tor in der täglichen Nahverkehrswelle lediglich ein LKW beladen wird. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Funktion der „Doppeltorrelation (orange) die Beladung von zwei LKW pro täglicher Nahverkehrswelle an

diesem Tor. Im Vergleich zum vorherigen Schritt kann diese Zuweisung für jedes Tor eines Bausteins individuell vorgenommen werden. Alle Tore sind standardmäßig als Einzeltorrelation definiert.

Die Zuweisung kann wie folgt vorgenommen werden:

1. Auswahl einer Kategorie durch Anklicken im linken Bildrand (Die aktuell ausgewählte Kategorie wird zusätzlich oben rechts angezeigt).
2. Zuweisen der Kategorie durch Anklicken eines Tors auf der Rasterfläche

Zusätzlich befinden sich im rechten Abschnitt der Registerkarte verschiedene Button zur Navigation und Bedienung. Dort gelangt man entweder zum vorherigen („Zurück“) oder nachfolgenden („Weiter“) Planungsschritt. Außerdem besteht die Möglichkeit über den Button „Löschen“ die vorgenommene Zuteilung aller Doppeltorrelationen zurückzusetzen.

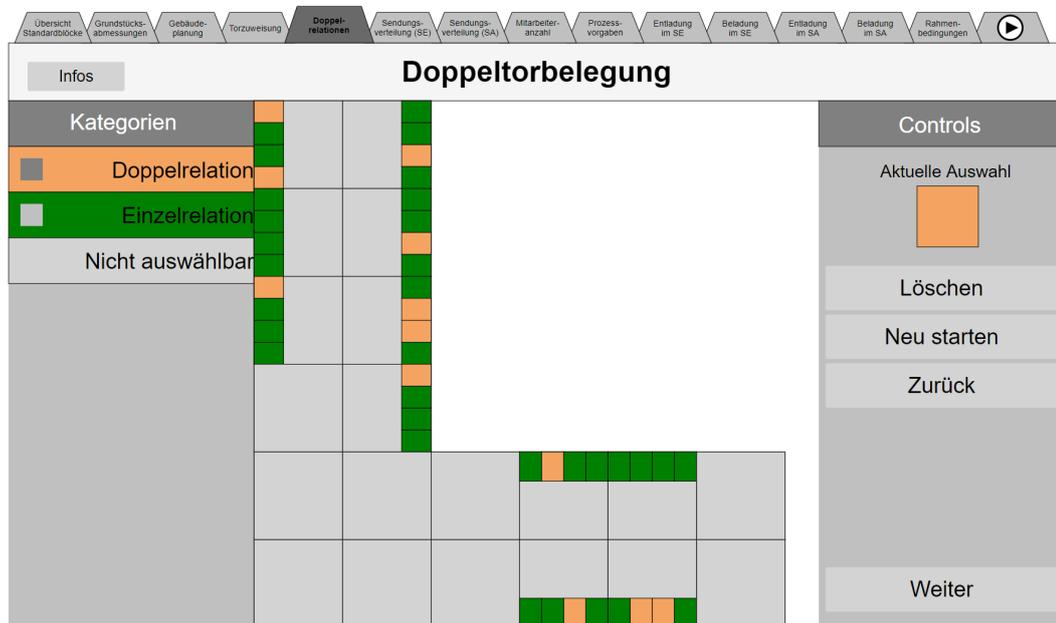


Abbildung 4-10: Doppeltorbelegung

### Sendungsverteilung im Sammelguteingang

In diesem Eingabereiter kann die Sendungsverteilung im Sammelguteingang vorgenommen werden. Dabei wird die prozentuale Verteilung der eingehenden Sendungen aus dem Fernverkehr auf die Ausgangstore des Nahverkehrs festgelegt (vgl. Abbildung 4-24). Alle Tore besitzen standardmäßig den Wert „0,0 %“. Falls keine Eingabe vorgenommen wird, werden die Sendungen über alle Tore hinweg gleichverteilt. Eine Sendung entspricht dabei dem, was sich auf einer Palette befindet und innerhalb eines Transportprozesses von einem Stapler bewegt werden kann.

Die prozentuale Verteilung der Sendungen wird wie folgt vorgenommen:

1. Auswahl des Tores auf der Rasterfläche durch Anklicken. (Hinweis: Falls mehreren Toren der gleiche Prozentsatz zugewiesen werden soll, können diese Tore gleichzeitig ausgewählt werden).
2. Eingabe des Prozentsatzes im Eingabefeld des linken Bereichs (Einheit: %).
3. Bestätigung der Eingabe durch Anklicken des „Enter“-Buttons.
4. Prozentsatz wird für alle ausgewählten Tore auf der Rasterfläche übernommen.
5. Es ist zu beachten, dass die Eingabe einen Gesamtwert von 100% nicht überschreitet. Der Gesamtwert wird zur Kontrolle im linken Abschnitt angezeigt.

Im rechten Bereich der Registerkarte ermöglichen verschiedene Button die Navigation und Bedienung. Dort gelangt man entweder zum vorherigen („Zurück“) oder nachfolgenden („Weiter“) Planungsschritt. Außerdem besteht die Möglichkeit über den Button „Löschen“ die vorgenommenen Eingaben aller Prozentsätze auf den Ausgangswert 0,0 % zurückzusetzen.



Abbildung 4-11: Definition der Sendungsverteilung im SE

### Sendungsverteilung im Sammelgutausgang

In diesem Eingabereiter kann die Sendungsverteilung im Sammelgutausgang vorgenommen werden. Dabei wird die prozentuale Verteilung der eingehenden Sendungen aus dem Nahverkehr auf die Ausgangstore des Fernverkehrs festgelegt. Alle Tore besitzen standardmäßig den Wert „0,0 %“. Falls keine Eingabe vorgenommen wird, werden die Sendungen über alle Tore hinweg gleichverteilt (vgl. Abbildung 4-25).

Die Definition der prozentualen Sendungsverteilung ist analog zum vorherigen Schritt wie folgt vorzunehmen:

1. Auswahl des Tores auf der Rasterfläche durch Anklicken (Hinweis: Falls mehreren Toren der gleiche Prozentsatz zugewiesen wird, können diese Tore gleichzeitig ausgewählt werden).
2. Eingabe des Prozentsatzes im Eingabefeld des linken Bereichs (Einheit: %).

3. Bestätigung der Eingabe durch Anklicken des „Enter“-Buttons.
4. Prozentsatz wird für alle ausgewählten Tore auf der Rasterfläche übernommen.
5. Es ist zu beachten, dass die Eingaben einen Gesamtwert von 100% nicht überschreiten.  
Der Gesamtwert wird zur Kontrolle im linken Abschnitt angezeigt.

Im rechten Abschnitt der Registerkarte ermöglichen verschiedene Button die Navigation und Bedienung. Dort gelangt man entweder zum vorherigen („Zurück“) oder nachfolgenden („Weiter“) Planungsschritt. Außerdem besteht die Möglichkeit über den Button „Löschen“ die vorgenommenen Eingaben aller Prozentsätze auf den Ausgangswert 0.0 % zurückzusetzen.

Abbildung 4-12: Definition der Sendungsverteilung im SA

### Festlegung der Mitarbeiterzahl

Dieser Eingabereiter ermöglicht es, die Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter in der Stückgutpeditionsanlage festzulegen (vgl. Abbildung 4-26). Dabei wird die Annahme getroffen, dass jeder Mitarbeiter zur Bedienung eines Gabelstaplers eingesetzt wird. Daher entspricht die eingestellte Anzahl der Mitarbeiter der Menge der im Simulationsmodell generierten Gabelstapler. Bei der Einstellung wird unterschieden zwischen dem „Sammelguteingang“ und „Sammelgutausgang“ sowie den drei Teilprozessen „Entladung“, „Beladung“ und „Verladung“. Diese Verkehrswellen und Prozesse definieren sich wie folgt:

- Sammelguteingang: Ankommende Fernverkehrs-LKW aus dem Hauptlauf, Umschlag und abfahrende Nahverkehrs LKW für den Nachlauf.
- Sammelgutausgang: Ankommende Nahverkehrs-LKW aus dem Vorlauf, Umschlag und abfahrende Fernverkehrs-LKW für den Hauptlauf.
- Entladung: Teilprozess, bei dem die Paletten aus dem ankommenden LKW auf die Entladefläche transportiert werden.
- Beladung: Teilprozess, bei dem die Paletten von der Bereitstellungsfläche auf den abfahrenden LKW transportiert werden.

- **Verladung:** Transports einer Palette von der Entladefläche des Eingangstors auf die Bereitstellungsfläche des Ausgangstors.

Im linken Bereich des Reiters wird die Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter / Gabelstapler für jeden der drei Teilprozesse im Sammelguteingang definiert:

- Alle Schieberegler erlauben die Einstellung im Wertebereich von 1 bis 100 Mitarbeiter.
- In der Mitte des Reglers wird der aktuell eingestellte Wert angezeigt.
- Die Bedienung des Schiebereglers erfolgt durch Anklicken und Bewegen mit der Maus.

Analog dazu wird im rechten Bereich des Reiters die Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter / Gabelstapler für jeden der drei Teilprozesse im Sammelgutausgang festgelegt. Zur Unterstützung während dieses Planungsschritts wird außerdem in der oberen rechten Ecke die Anzahl der Eingangs- und Ausgangstore der geplanten Umschlaganlage angezeigt.

The screenshot shows a software interface for resource allocation. The title is 'Festlegung der Mitarbeiteranzahl'. It features two columns of sliders. The left column is for 'SAMMELGUTEINGANG' and the right for 'SAMMELGUTAUSGANG'. Each column has three sliders: 'Mitarbeiter für die Entladung' (set to 20), 'Mitarbeiter für die Beladung' (set to 27), and 'Mitarbeiter für die Verladung' (set to 6). A top navigation bar contains various menu items, with 'Mitarbeiteranzahl' currently selected. A red box in the top right corner shows 'Aktuelle Anlage' with 'Eingangstore: 20' and 'Ausgangstore: 44'. At the bottom, there are 'Zurück' and 'Weiter' buttons.

**Abbildung 4-13:** Festlegung der Ressourcen

### **Prozessparameter**

Im nächsten Schritt des Eingabevorgangs werden die unterschiedliche Prozessparameter festgelegt (vgl. Abbildung 4-27). Die Eingabe erfolgt dabei für diese Registerkarte durch Eintragen eines absoluten Zahlenwerts in dem vorgesehenen Eingabefeld. Die Bedeutung der Parameter wird nachfolgend erläutert:

#### Dauer Beladung pro Palette:

- Entspricht der benötigten Zeit für den Beladeprozess und ist definiert durch die Aufnahme einer Palette von der Bereitstellungsfläche bis zum Absetzen auf dem LKW.
- Die Angabe erfolgt in Sekunden und umfasst einen Wertebereich von 0 bis 240 Sekunden.

Dauer Entladung pro Palette:

- Entspricht der benötigten Zeit für den Entladeprozess und ist definiert von der Aufnahme einer Palette vom LKW bis zum Absetzen auf die Entladefläche.
- Die Angabe erfolgt in Sekunden und umfasst einen Wertebereich von 0 bis 240 Sekunden.

Dauer Scan beim Entladen des Trucks:

- Entspricht der benötigten Zeit für den Scanvorgang einer Palette nach dem Entladen vom LKW auf die Entladefläche.
- Die Angabe erfolgt in Sekunden und umfasst einen Wertebereich von 0 bis 120 Sekunden.

Dauer Scan beim Beladen des Trucks:

- Entspricht der benötigten Zeit für den Scanvorgang einer Palette vor dem Beladen von der Bereitstellfläche auf den LKW.
- Die Angabe erfolgt in Sekunden und umfasst einen Wertebereich von 0 bis 120 Sekunden

Anteil AVIS Sendungen SE:

- Entspricht dem prozentualen Anteil der Sendungen, die aus dem Fernverkehr kommen und für den Nachlauf planmäßig zwischengelagert werden sollen.
- Die Eingabe erfolgt in Prozent und kann bis zu vier Nachkommastellen sowie einen Wertebereich von 0 bis 1 berücksichtigen. (Es ist zu beachten, dass die amerikanische Schreibweise mit einem Punkt statt Komma verwendet wird) → Beispiel: 0.0841 = 8,41 %

Anteil AVIS Sendungen SA:

- Entspricht dem prozentualen Anteil der Sendungen, die aus dem Nahverkehr kommend und für den Hauptlauf planmäßig zwischengelagert werden sollen.
- Die Eingabe erfolgt in Prozent und kann bis zu vier Nachkommastellen sowie einen Wertebereich von 0 bis 1 berücksichtigen. → Beispiel: 0.0841 = 8,41 %

Übersicht Standardblöcke Grundstücksabmessungen Gebäudeplanung Torzuweisung Doppelrelationen Sendungsverteilung (SE) Sendungsverteilung (SA) Mitarbeiteranzahl **Prozessvorgaben** Entladung im SE Beladung im SE Entladung im SA Beladung im SA Rahmenbedingungen ▶

Infos **Prozessvorgaben**

Dauer Beladung pro Sendung / Palette  Sekunden [0 - 240]

Dauer Entladung pro Sendung / Palette  Sekunden [0 - 240]

Dauer Scan beim Entladen des Trucks  Sekunden [0 - 120]

Dauer Scan beim Beladen des Trucks  Sekunden [0 - 120]

Anteil AVIS-Sendungen SE  [0 - 1] 0 %

Anteil AVIS-Sendungen SA  [0 - 1] 0 %

Zurück Weiter

**Abbildung 4-14:** Einstellung der Prozessparameter

### Entladung im Sammelguteingang

In dieser Registerkarte werden die wesentlichen Angaben zu den Fernverkehrs-LKW im Sammelguteingang definiert. Zur Unterstützung während dieses Planungsschritts wird in der oberen rechten Ecke die Anzahl der Eingangs- und Ausgangstore der geplanten Umschlaganlage angezeigt (vgl. Abbildung 4-28).

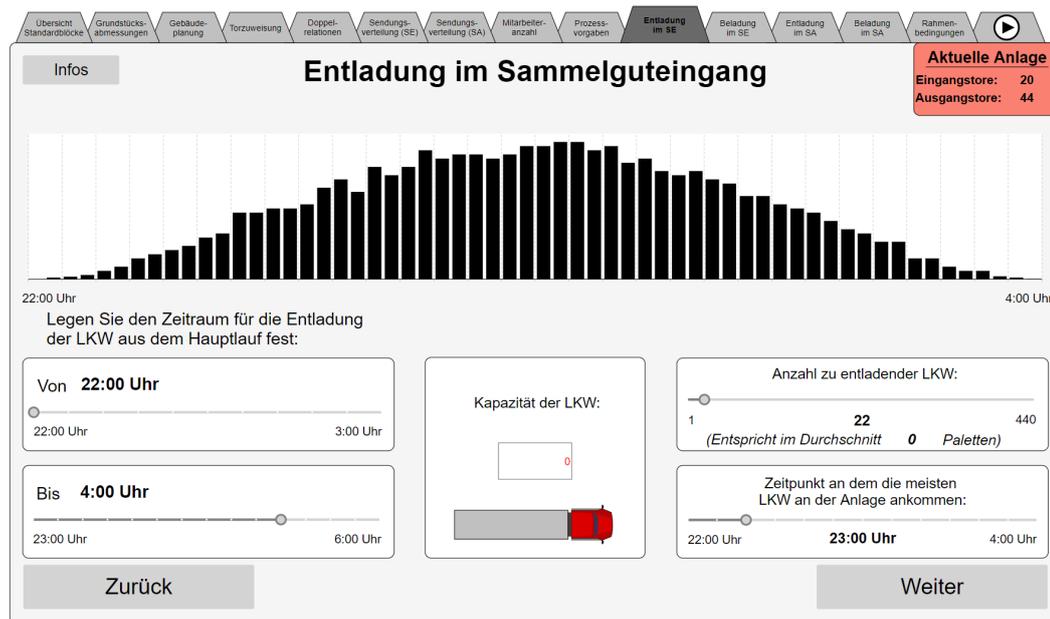
Zunächst ist im linken Bereich der Registerkarte anhand von zwei Schieberegler der Zeitraum der LKW-Ankünfte einzustellen. Mit Hilfe des oberen Reglers wird der früheste Zeitpunkt eingestellt, an dem ein Fernverkehrs-LKW aus dem Hauptlauf an der Umschlaganlage zur Entladung ankommt. Der maximal mögliche Einstellbereich erstreckt sich von 22:00 Uhr bis 05:00 Uhr. Der untere Regler kann zur Einstellung des spätesten Zeitpunkts, an dem noch ein LKW aus dem Fernverkehr zur Entladung andockt, genutzt werden. Der maximale Einstellbereich umfasst dabei den Zeitraum von 23:00 Uhr bis 06:00. Die Einstellbereiche beider Regler hängen allerdings voneinander ab und verändern sich entsprechend der vorgenommenen Einstellungen. Die Bedienung erfolgt für beide Schieberegler durch Anklicken und Bewegen der Maus.

In der Mitte der Registerkarte wird die durchschnittliche Kapazität an Palettenstellplätzen der Fernverkehrs-LKW festgelegt. Dazu ist ein ganzzahliger Wert zwischen 0 und 34 Paletten im Eingabefeld einzutragen.

Der obere Schieberegler im rechten Abschnitt ermöglicht es, die zu entladenden LKW innerhalb des zuvor festgelegten Ankunftszeitraums festzulegen. Auf Basis dieser Eingabe sowie der durchschnittlichen LKW-Kapazität wird das eingehende Gesamtsendungsvolumen des Sammelguteingangs pro Tag in Paletten ausgegeben.

Zuletzt wird mit Hilfe des unten rechts angeordneten Schiebereglers der Zeitpunkt eingestellt, an dem die meisten Fernverkehrs-LKW aus dem Hauptlauf an der Stückgutpeditionsanlage eintreffen. Der dafür nutzbare Einstellbereich ergibt sich aus den Daten des zuvor festgelegten Ankunftszeitraums und erstreckt sich maximal von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr.

Auf Basis der vorgenommenen Einstellungen wird der Ankunftszeitraum der LKW in dem obigen Balkendiagramm zur Unterstützung visuell dargestellt. Die Ausprägung der schwarzen Balken gibt die verhältnismäßige Häufigkeit der LKW-Ankünfte für einen konkreten Zeitpunkt an und wird maßgeblich durch den zuvor eingestellten Peak beeinflusst.



**Abbildung 4-15:** Entladung im Sammelguteingang

### **Beladung im Sammelguteingang**

Die nächste Registerkarte ermöglicht die Definition wesentlicher Angaben zu den Nahverkehrs-LKW im Sammelguteingang. Zur Unterstützung während dieses Planungsschritts wird auch hier in der oberen rechten Ecke die Anzahl der Eingangs- und Ausgangstore der geplanten Umschlaganlage angezeigt (vgl. Abbildung 4-29).

Zunächst wird im linken Bereich der Registerkarte anhand von zwei Schieberegler der Zeitraum der LKW-Ankünfte eingestellt. Mit Hilfe des oberen Reglers wird der früheste Zeitpunkt festgelegt, an dem ein Nahverkehrs-LKW zur Beladung für den Nachlauf an der Umschlaganlage ankommt. Der maximal mögliche Einstellbereich erstreckt sich von 04:00 Uhr bis 10:00 Uhr. Der untere Regler kann zur Einstellung des spätesten Zeitpunkts, an dem noch ein LKW für den Nachlauf zur Beladung andockt, genutzt werden. Der maximale Einstellbereich umfasst dabei den Zeitraum von 05:00 Uhr bis 11:00 Uhr. Die Einstellbereiche beider Regler hängen allerdings voneinander ab und verändern sich entsprechend der vorgenommenen Einstellungen. Die Bedienung erfolgt für beide Schieberegler durch Anklicken und Bewegen der Maus.

In der Mitte des Eingabereiters wird die durchschnittliche Kapazität an Palettenstellplätzen der Nahverkehrs-LKW festgelegt. Dazu wird einen ganzzahliger Wert zwischen 0 und 17 Paletten im Eingabefeld eingetragen.

Im oberen Feld des rechten Abschnitts wird die Anzahl der zu beladenden Nahverkehrs-LKW im Sammelguteingang ausgegeben. Diese errechnet sich automatisch aus der zuvor bei der Layoutplanung festgelegten Anzahl an Ausgangstoren der Umschlaganlage sowie den eingestellten Doppeltorrelationen. Daran können in diesem Schritt keine Änderungen vorgenommen werden.

Zuletzt wird mit Hilfe des unten rechts angeordneten Schiebereglers der Zeitpunkt eingestellt, an dem die meisten Nahverkehrs-LKW für den Nachlauf an ihrer Stückgutspeditionsanlage eintreffen und beladen werden. Der dafür nutzbare Einstellbereich ergibt sich aus den Daten des zuvor festgelegten Ankunftszeitraums und erstreckt sich maximal von 04:00 Uhr bis 11:00 Uhr.

Auf Basis der vorgenommenen Einstellungen wird der Ankunftszeitraum der LKW in dem obigen Balkendiagramm zur Unterstützung visuell dargestellt. Die Ausprägung der schwarzen Balken gibt die verhältnismäßige Häufigkeit der LKW-Ankünfte für einen konkreten Zeitpunkt an und wird maßgeblich durch den zuvor eingestellten Peak beeinflusst.

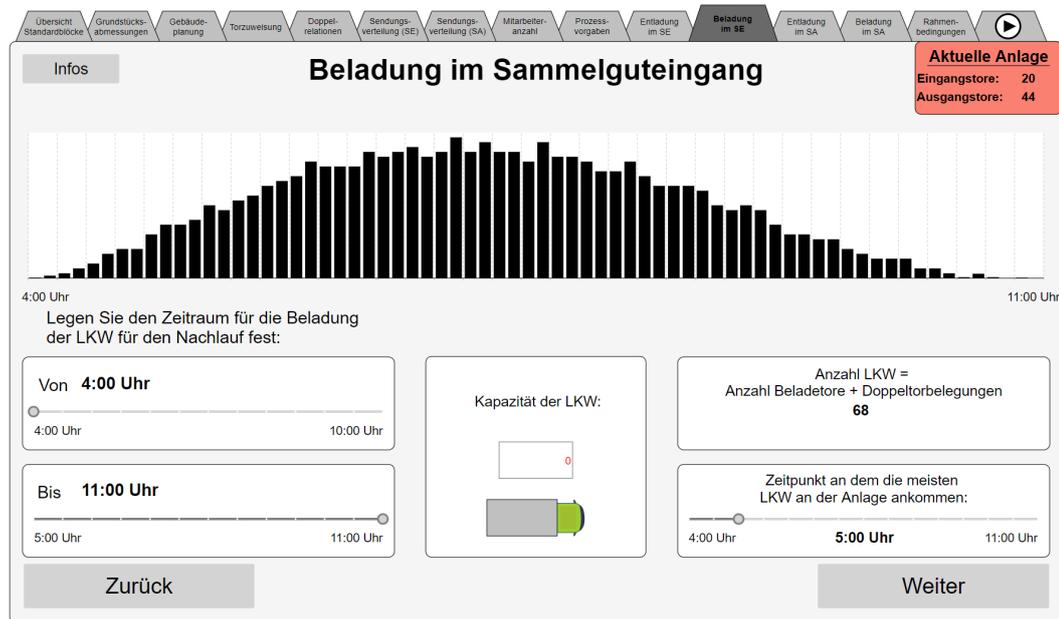


Abbildung 4-16: Beladung im Sammelguteingang

### Entladung im Sammelgutausgang

In dieser Registerkarte werden die wesentlichen Angaben zu den Nahverkehrs-LKW im Sammelgutausgang definiert. Auch hier wird zur Unterstützung während dieses Planungsschritts in der oberen rechten Ecke die Anzahl der Eingangs- und Ausgangstore der geplanten Umschlaganlage angezeigt (vgl. Abbildung 4-30).

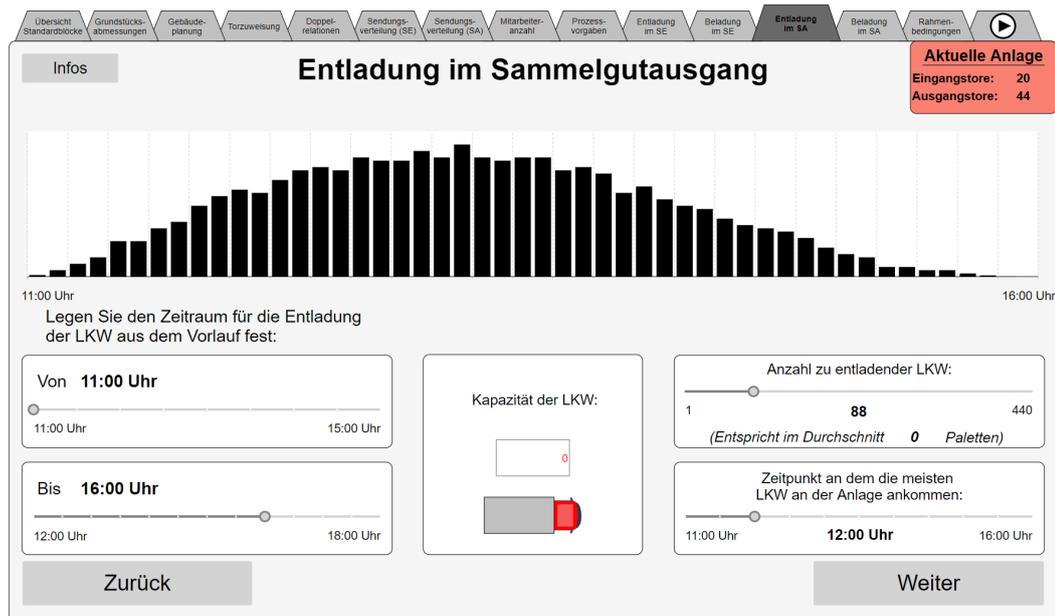
Zunächst wird im linken Bereich der Registerkarte anhand von zwei Schieberegler der Zeitraum der LKW-Ankünfte festgelegt. Mit Hilfe des oberen Reglers wird der früheste Zeitpunkt eingestellt, an dem ein Nahverkehrs-LKW aus dem Vorlauf an der Umschlaganlage zur Entladung ankommt. Der maximal mögliche Einstellbereich erstreckt sich von 11:00 Uhr bis 17:00 Uhr. Der untere Regler kann zur Einstellung des spätesten Zeitpunkts, an dem noch ein LKW aus dem Vorlauf zur Entladung andockt, genutzt werden. Der maximale Einstellbereich umfasst dort den Zeitraum von 12:00 Uhr bis 18:00 Uhr. Die Einstellbereiche beider Regler hängen allerdings voneinander ab und verändern sich entsprechend der vorgenommenen Einstellungen. Die Bedienung erfolgt für beide Schieberegler durch Anklicken und Bewegen der Maus.

In der Mitte des Eingabereiters wird die durchschnittliche Kapazität an Palettenstellplätzen der Nahverkehrs-LKW festgelegt. Dazu wird ein ganzzahliger Wert zwischen 0 und 17 Paletten im Eingabefeld eingetragen.

Der obere Schieberegler im rechten Abschnitt ermöglicht die Angabe der innerhalb des zuvor festgelegten Ankunftszeitraums zu entladenden LKW. Auf Basis dieser Eingabe sowie der durchschnittlichen LKW-Kapazität wird das eingehende Gesamtendungsvolumen des Sammelgutausgangs pro Tag in Paletten ausgegeben.

Zuletzt wird mit Hilfe des unten rechts angeordneten Schiebereglers der Zeitpunkt eingestellt, an dem die meisten Nahverkehrs-LKW aus dem Vorlauf an der Stückgutspeditionsanlage eintreffen. Der dafür nutzbare Einstellbereich ergibt sich aus den Daten des zuvor festgelegten Ankunftszeitraums und erstreckt sich maximal von 11:00 Uhr bis 18:00 Uhr.

Auf Basis der vorgenommenen Einstellungen wird der Ankunftszeitraum der LKW in dem obigen Balkendiagramm zur Unterstützung visuell dargestellt. Die Ausprägung der schwarzen Balken gibt die verhältnismäßige Häufigkeit der LKW-Ankünfte für einen konkreten Zeitpunkt an und wird maßgeblich durch den zuvor eingestellten Peak beeinflusst.



**Abbildung 4-17:** Entladung im Sammelgutausgang

### Beladung im Sammelgutausgang

In dieser Registerkarte werden die wesentlichen Angaben zu den Fernverkehrs-LKW im Sammelgutausgang definiert. Zur Unterstützung während dieses Planungsschritts wird erneut in der oberen rechten Ecke die Anzahl der Eingangs- und Ausgangstore der geplanten Umschlaganlage angezeigt (vgl. Abbildung 4-31).

Zuerst wird im linken Bereich der Registerkarte anhand von zwei Schiebereglern der Zeitraum der LKW-Ankünfte festgelegt. Mit Hilfe des oberen Reglers wird der früheste Zeitpunkt eingestellt, an dem ein Fernverkehrs-LKW zur Beladung für den Hauptlauf an der Umschlaganlage ankommt. Der maximal mögliche Einstellbereich erstreckt sich von 16:00 Uhr bis 21:00 Uhr. Der untere Regler kann zur Einstellung des spätesten Zeitpunkts, an dem noch ein LKW des Hauptlaufs zur Beladung andockt genutzt werden. Der maximale Einstellbereich umfasst dort den Zeitraum von 17:00 Uhr bis 22:00 Uhr. Die Einstellbereiche beider Regler hängen voneinander ab und verändern sich entsprechend der vorgenommenen Einstellungen. Die Bedienung erfolgt für beide Schieberegler durch Anklicken und Bewegen der Maus.

In der Mitte der Registerkarte wird die durchschnittliche Kapazität an Palettenstellplätzen der zu beladenden Fernverkehrs-LKW festgelegt. Dazu wird ein ganzzahliger Wert zwischen 0 und 34 Paletten im Eingabefeld eingetragen.

Im oberen Feld des rechten Abschnitts wird die Anzahl der zu beladenden Fernverkehrs-LKW im Sammelgutausgang angegeben. Dies entspricht der zuvor bei der Layoutplanung festgelegten Anzahl an Ausgangstoren der Umschlaganlage. Daran können in diesem Schritt keine Änderungen vorgenommen werden.

Zuletzt wird mit Hilfe des unten rechts angeordneten Schiebereglers der Zeitpunkt eingestellt, an dem die meisten Fernverkehrs-LKW für den Hauptlauf an der Stückgutspeditionsanlage eintreffen und beladen werden. Der dafür nutzbare Einstellbereich ergibt sich aus den Daten des zuvor festgelegten Ankunftszeitraums und erstreckt sich maximal von 16:00 Uhr bis 22:00 Uhr.

Auf Basis der vorgenommenen Einstellungen wird der Ankunftszeitraum der LKW in dem obigen Balkendiagramm zur Unterstützung visuell dargestellt. Die Ausprägung der schwarzen Balken gibt die verhältnismäßige Häufigkeit der LKW-Ankünfte für einen konkreten Zeitpunkt an und wird maßgeblich durch den zuvor eingestellten Peak beeinflusst.

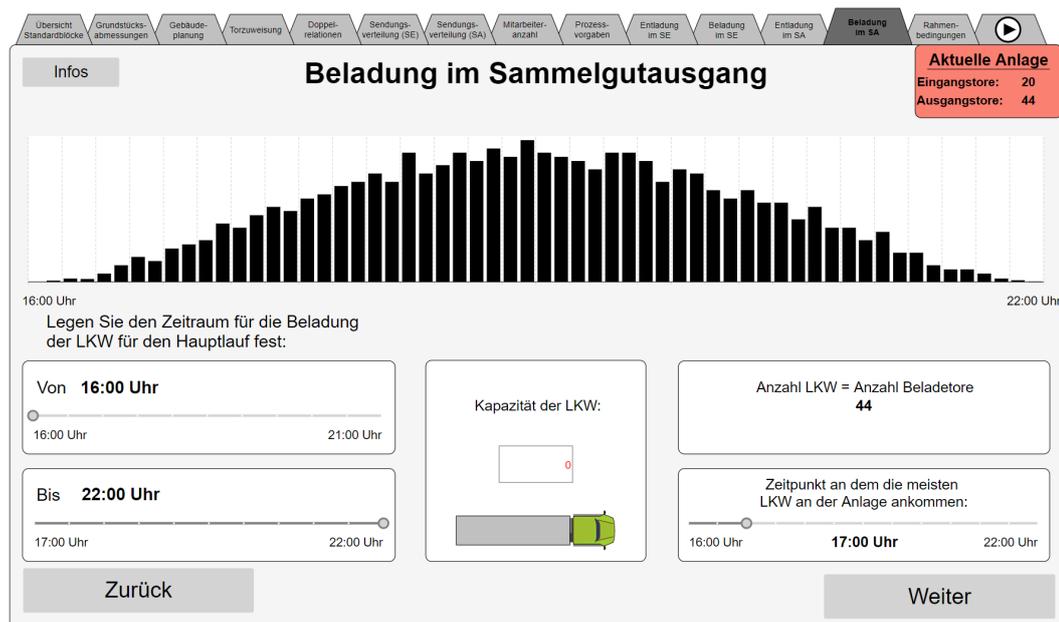


Abbildung 4-18: Beladung im Sammelgutausgang

### Start der Simulation

Auf der letzten Registerkarte der Eingabemaske werden im oberen Bereich zunächst die simulativen Rahmenbedingungen des Simulationslaufs festgelegt (vgl. Abbildung 4-32). Dazu wird durch die Eingabe eines ganzzahligen Wertes im Eingabefeld die Dauer der Simulation in Tagen definiert. Auf Basis dieser Eingabe passt sich das Enddatum an. Das Startdatum ist fest auf den 01.01.2025, 22:00 Uhr terminiert. Der generelle Zeitpunkt hat keinen Einfluss auf die Ergebnisse ihrer Simulation.

Es ist zu beachten, dass das Simulationsmodell „leer“ bzw. ohne Paletten und LKW im System startet. Dadurch muss eine Einschwingphase berücksichtigt werden, bis sich ein stabiles System mit realistischen Ergebnisse ergibt. Bei der Einstellung der Simulationsdauer wird empfohlen, zusätzlich eine Einschwingphase von zwei Tagen zu berücksichtigen.

Im unteren Bereich dieser Registerkarte können die vorgenommenen Einstellungen des Planungsszenarios für einen erneuten Aufruf zu einem späteren Zeitpunkt gespeichert und exportiert werden. Dafür muss zuerst ein Projektname im vorgesehenen Eingabefeld vergeben

werden und anschließend der Exportvorgang über den Button „EXPORTIEREN“ abgeschlossen werden. Nach erfolgreicher Eingabe kann die Simulation über den „Start“-Button in der unteren rechten Ecke gestartet werden. Es dauert einen Moment, bis das Simulationsmodell generiert wird.

Das Simulationsmodell startet automatisch in der 2D-Ansicht. Anhand der oberen Toolbar kann durch die verschiedenen Ansichten im Modell navigiert werden und somit ebenfalls zur 3D-Ansicht oder der Ausgabe der Statistiken gewechselt werden. Zur besseren Verständlichkeit der visualisierten Prozesse gibt die Legende außerdem einen Überblick über die Bedeutung der Elemente und Prozesse im Simulationsmodell.

**Abbildung 4-19:** Simulative Rahmenbedingungen & Export

### Statistiken

Nach dem abgeschlossenen Simulationslauf erfolgt die Weiterleitung auf einen Reiter, welcher den Export der Statistiken des Simulationsszenarios in CSV-Dateien ermöglicht (vgl. Abbildung 4-33). In Abhängigkeit vorheriger Einstellungen ergeben sich dazu zwei verschiedene Varianten und damit zusammenhängend ist lediglich ein Bereich des Reiters sichtbar.

1. Rechter Bereich sichtbar:
  - Im letzten Schritt des Eingabeprozesses hat bereits der Export der vorgenommenen Einstellungen zum Planungsszenario stattgefunden. In diesem Fall wird der dort vergebene Projektname für den Export der Statistiken übernommen und dem Szenario beim Abspeichern direkt zugeordnet.
2. Linker Bereich sichtbar:
  - Der Export des Planungsszenarios im letzten Schritt des Eingabeprozesses ist übersprungen worden. In diesem Fall kann zuerst ein Projektnamen im dafür vor-

gesehenen Eingabefeld vergeben werden. Anschließend werden sowohl die Einstellungen wie auch die dazugehörigen Statistiken zusammen abgespeichert/exportiert.

Der abgeschlossene Export wird in beiden Fällen durch das Hinweisfeld „Export erfolgreich“ bestätigt. Falls das Simulationsszenario vollständig verworfen und der Export übersprungen werden soll, navigiert der Button „Zurück zur Eingabe“ wieder auf den Startreiter des Eingabeprozesses.

**Export des Simulationsszenarios  
und der Ergebnisse**

Projektname:

Ergebnisse für:

Exportieren

Exportieren

Zurück zur Eingabe

INDUSTRIELLE  
GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG IGF

iti Institut für  
Transportlogistik

**Abbildung 4-20:** Statistikexport

Die exportierten Statistiken können im Anschluss jederzeit im Ordner der Stand Alone Variante unter folgendem Pfad aufgerufen werden:

*„Planungsszenarien“ → „Projektname des Planungsszenarios“ → „Ergebnisse“*

Dort sind sechs Dateien mit den entsprechenden Ergebnissen des Simulationsszenarios zu finden. Die genauen Bedeutungen der Spaltenbezeichnungen der Tabellen sind nachfolgend aufgeführt. Zur Darstellung der Zahlen wird eine amerikanische Schreibweise genutzt. Punkte stellen Dezimaltrennzeichen und Komma stellen Tausendertrennzeichen dar.

**Tabelle 4-1:** Legende zu Statistikexport

<b>Tabellenname</b>	<b>Spaltenname</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Db_dock</b>	id	Identifikationsnummer
	type	Typbeschreibung
<b>Db_forklift</b>	id	Identifikationsnummer
	task	Aufgabenbeschreibung
<b>Db_forklift_stats</b>	forklift	Fremdschlüssel db_forklift
	shift	Fremdschlüssel db_shift
	distance	Distanz in km
	loaded_run_time	Dauer in beladenem Zustand in Minuten
	unloaded_run_time	Dauer in unbeladenem Zustand in Minuten
<b>Db_pallet</b>	utilization	Auslastung als Dezimalzahl
	id	Identifikationsnummer
	unloading_time	Entladezeitpunkt in Modelzeit in Minuten
	loading_time	Beladezeitpunkt in Modelzeit in Minuten
<b>Db_shift</b>	id	Identifikationsnummer
	start_time	Startzeitpunkt in Modelzeit in Minuten
	end_time	Endzeitpunkt in Modelzeit in Minuten
	type	Beschreibung Schicht
<b>Db_truck</b>	id	Identifikationsnummer
	loadtype	Aufgabenbeschreibung
	shift	Fremdschlüssel
	arrival	Zeitpunkt Ankunft in Modelzeit in Minuten
	docking_time	Zeitpunkt Ankunft am Tor in Modelzeit in Minuten
	departure	Zeitpunkt Abfahrt in Modelzeit in Minuten
	dock	Fremdschlüssel

## 5 Verifikation und Validierung des Simulationswerkzeugs

Über die gesamte Entwicklungsphase des Simulationsmodells hinweg hat eine fortlaufende Verifikation & Validierung des Planungstools stattgefunden. Dabei wurde das Ziel verfolgt, zum einen die Richtigkeit und Glaubwürdigkeit des Simulationsmodells sicherzustellen, gleichzeitig aber auch die Nutzerfreundlichkeit und Funktionalität optimal auf die Bedürfnisse der KMU abzustimmen. Zur Erreichung dessen sind sowohl individuelle Austauschtermine mit den Projektpartnern vor Ort durchgeführt worden, wie auch gruppenübergreifende Abstimmungen bei allen drei Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses.

Daher wurde den Projektpartnern im Rahmen des abschließenden 3. Projektausschusses erneut die Möglichkeit eingeräumt, das entwickelte Simulationstool zu testen und konstruktives Feedback für mögliche Verbesserungen und Anpassungen zu liefern. Die Teilnehmer setzen sich dabei aus Unternehmensvertretern unterschiedlicher Bereiche der Logistikbranche zusammen, darunter Speditionen, Simulationsdienstleister, Verkehrsverbände und Logistikberatungen. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass das entwickelte Planungstool auch einen breiten Anwenderkreis bedienen kann. Primäres Ziel der finalen Testphase des Simulationstools ist es gewesen, mithilfe eines Bewertungsbogens eine fundierte und umfassende Einschätzung aus den unterschiedlichen Perspektiven einzuholen.

Um die Auswertung und Vergleichbarkeit der Beurteilungen der Unternehmen einheitlich zu dokumentieren wurde der Bewertungsbogen mittels ordinalskalierten Fragen, mit 5 Antwortmöglichkeiten von „Stimme überhaupt nicht zu“, („Stimme nicht zu“, „Neutral“, „Stimme größtenteils zu“) bis „Stimme voll zu“ erstellt. Zusätzlich wurde den Unternehmensvertretern bei jeder Frage die Möglichkeit gegeben, eine Verbesserungsmöglichkeit ergänzend zur vorgegebenen Antwortmöglichkeit in Form einer Freitext-Antwort hinzuzufügen.

Der Bewertungsbogen wurde in drei Hauptkategorien unterteilt. Die Kategorisierungen dienen dazu, die Rückmeldungen strukturiert zu erfassen und gezielt auf die wichtigsten Aspekte einzugehen. Die erste Bewertungskategorie „Logik“ setzt sich mit Fragen zur Genauigkeit und realistischen Darstellung der Eingabewerte, der Prozesse und der Abläufe, des Simulationsmodells auseinander. Hierbei konnten die Unternehmensvertreter bewerten, inwiefern das Simulationstool logisch und übereinstimmend den Prozessen und Abläufen eines realen Systems entspricht. Bei der zweiten Kategorie „Design“ bezieht sich der Bewertungsbogen auf die Zufriedenheit der Probanden mit der Gestaltung des Layouts. Ebenso wird abgefragt, ob die Unterscheidung jeweils unter den Fördermitteln sowie unter den Transportern deutlich erkennbar dargestellt wird.

In der dritten Kategorie „Anwenderfreundlichkeit“ wurden Fragen zur Benutzerfreundlichkeit des Simulationstools gestellt. Hierbei wurde mittels des Bewertungsbogen die Einschätzung eingeholt, wie verständlich und intuitiv das Simulationstool zu bedienen ist.

Zuletzt wurde den Unternehmensvertretern in der 4. Kategorie „Sonstiges“ die Möglichkeit gegeben, allgemein weitere Verbesserungsansätze, Änderungswünsche oder Kritikpunkte stichpunktartig zu ergänzen.

Um die Kategorien sowie auch einen allgemeinen Überblick der Durchschnittswerte zu erfassen, wurden die ordinalskalierten Fragen mit jeweils 5 Antwortmöglichkeiten in ein Punktesystem erfasst. Von „Stimme überhaupt nicht zu“ mit 1/einem Punkt als Gewichtung bis zu „Stimme voll zu“, mit 5 Punkten als Gewichtung. Jede Frage wurde einzeln ausgewertet und als Mittelwert (Erfüllungsgrad), sowie als durchschnittlichen Punktwert der Frage ausgewertet und angegeben. Anhand der Mittelwerte und durchschnittlichen Punktwerte lässt sich die Auswertung der Zufriedenheit der Unternehmensvertreter mit dem Simulationstool leichter veranschaulichen und interpretieren. Die Ergebnisse werden nachfolgend detailliert erläutert.

In der ersten Kategorie Logik, erhielt die Frage zur korrekten Modellierung der Eingaben einen Erfüllungsgrad von 0,977, welches die höchste Zustimmung in der Kategorie war. Auch die Bewertung der wesentlichen Bestandteile des Modells, die zeitlichen Abläufe sowie die realistischen Be- und Entladungsprozesse fiel mit Erfüllungsgraden zwischen 0,84 und 0,86 durchweg positiv aus. Ein Verbesserungspotenzial zeigt sich jedoch bei der Frage zu den Umschlagsprozessen und der Modellierung realistischer Ergebnisse, die mit einem Erfüllungsgrad von 0,8 vergleichsweise schwächer bewertet wurde. Ein häufig geäußelter Kritikpunkt aus den schriftlichen Anmerkungen war, dass die Einschätzung, ob das Simulationsmodell realistische Ergebnisse liefert, für die Probanden auf die Schnelle nicht möglich war. Ein weiterer Kritikpunkt bezog sich auf die Umschlagsprozesse im Modell. Den Testern war nicht klar, wie die Belegung des Lagers im Detail funktioniert. In einer anschließenden Diskussionsrunde wurden diese beiden Punkte erneut aufgegriffen und von den Probanden im Anschluss als zutreffend eingestuft.

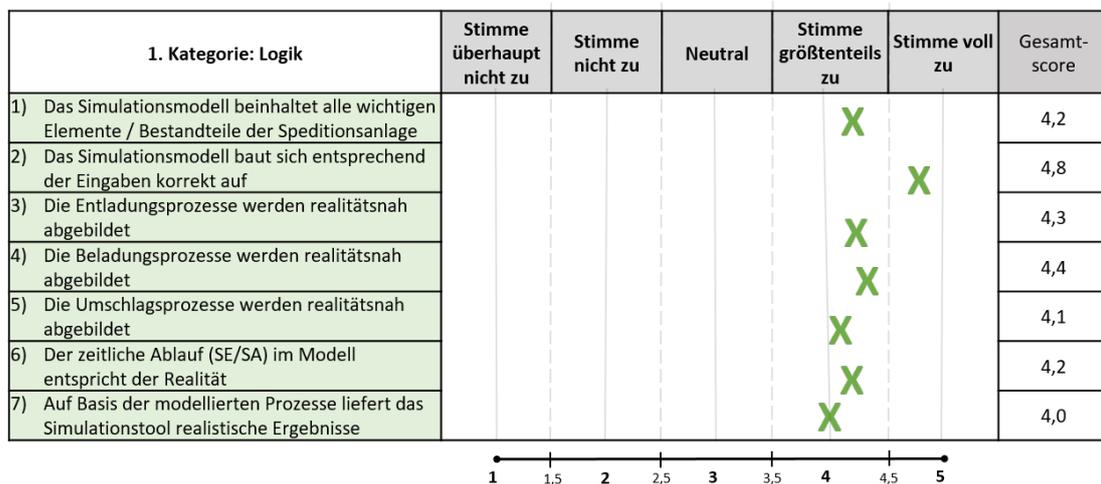


Abbildung 5-1: Auswertung der Kategorie "Logik"

Die drei Bewertungsfragen in der Kategorie „Design“ erzielten mit einem durchschnittlichen Punktwert von 4,3 und einem Erfüllungsgrad von 0,85 ebenfalls ein positives Ergebnis. Lediglich die Frage zur Unterscheidung der Fördermittel zeigt mit einem durchschnittlichen Punktwert von 3,5 eine leichte Abweichung. Hier wurde kritisiert, dass die visuelle Unterscheidbarkeit der eingesetzten Stapler nicht ausreichend gegeben ist. Der Unterschied

zwischen den Modellen ist auf den ersten Blick kaum wahrnehmbar und/oder die Unterscheidung sei erst möglich, wenn stark in das Simulationsmodell hereingezoomt wird.

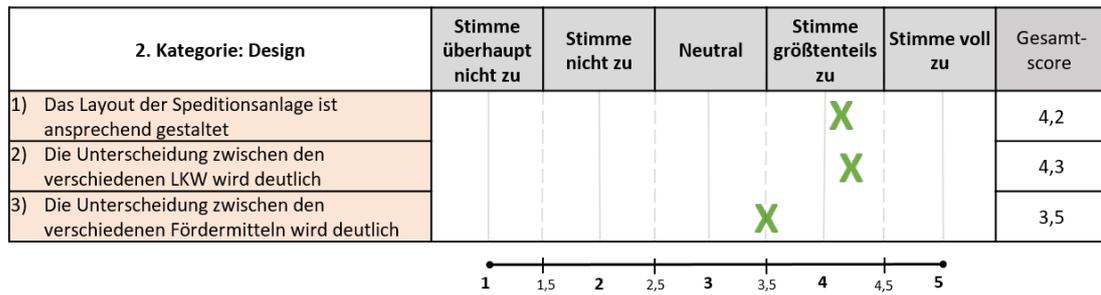


Abbildung 5-2: Auswertung der Kategorie "Design"

Die Auswertung der Kategorie der Anwenderfreundlichkeit zeigt insgesamt eine positive Bewertung, mit einem Erfüllungsgrad von 0,8 und einer durchschnittlichen Punktebewertung von 4. Besonders positiv hervorgehoben wurden dabei die klare Struktur der Eingabemaske, die intuitive Navigation im Simulationsmodell sowie die gut erreichbaren Bereiche und hilfreichen unterstützenden Elemente wie die Info- und Hinweiskfelder. Allerdings wurden in zwei Bereichen kleinere Schwächen ausgemacht, die sich in einer Abweichung mit einem Erfüllungsgrad von 0,67 und einer durchschnittlichen Punktebewertung von 3,39 widerspiegeln. Konkret betrifft dies die Zufriedenheit der Probanden in Bezug auf die intuitive Bedienbarkeit der Eingabemaske und die Verständlichkeit der Statistik-Ausgabe. In Bezug auf die Verständlichkeit der Eingabemaske haben die Tester angemerkt, dass einzelne Begriffe nicht ausreichend beschrieben worden sind, wodurch die Bedienung erschwert wird. Es wurde angeregt, die Beschriftung der Reiter klarer und präziser zu gestalten. Außerdem wurde der Wunsch geäußert, zusätzliche Informationen wie die Anzahl der Palettenstellplätze direkt in der Maske anzuzeigen. Ebenso optische Verbesserungen, wie die Nutzung von Farben oder klarerer Beschriftungen wurden erwünscht. Im Bereich der Statistikdarstellung wurde ebenfalls das Fehlen von Erklärungen zu Begriffen und Berechnungen, wie sich etwa Leefahrten ergeben, angegeben. Hierbei wurde auf eine Infobox mit kurzen Erläuterungen hingewiesen, um die Verständlichkeit zu erhöhen. Darüber hinaus wünschten sich die Unternehmensvertreter eine bessere Platzierung von Kennzahlen, beispielsweise direkt neben den Diagrammen, sowie die Ergänzung weiterer relevanter Kennzahlen. Auch die Speicherung der Statistiken wird erwünscht.

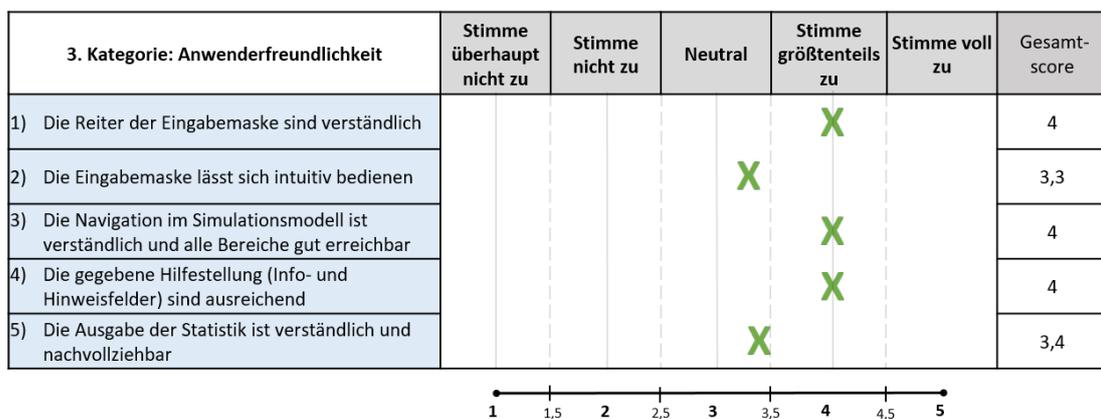


Abbildung 5-3: Auswertung der Kategorie "Anwenderfreundlichkeit"

## 6 Zusammenfassung & Ausblick

Zur Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit infolge zahlreicher Herausforderungen in der Stückgutbranche sehen sich die Akteure des überwiegend mittelständisch geprägten Marktes gezwungen, die Effizienz ihrer Stückgutspeditionsanlagen anzuheben. Als Maßnahme zur Bewältigung dieser Problematik bietet sich die Anpassung bestehender Stückgutspeditionsanlagen an, mit dem Ziel der effizienteren Ressourcenauslegung sowie der optimierten Nutzung bestehender Kapazitäten. Ebenfalls kann die vollständige Neugestaltung der Umschlaganlagen zur Erschließung neuer Kapazitäten als Lösungsalternative herangezogen werden. Um bei der Planung der Anlagen wichtige Aspekte wie Dynamiken im Sendungsaufkommen oder die Variabilität der Funktionsflächen ebenfalls zu berücksichtigen, bieten sich simulationsbasierte Ansätze als Problemlösungsmethodik für solche Anwendungsfälle an. Aufgrund eingeschränkter finanzieller Ressourcen sowie fehlender Simulationsexpertise im Unternehmen bleibt vielen KMU der Zugang zu dieser Methodik jedoch verwehrt. Aufgrund dessen wurde in dem Forschungsvorhaben ein datengetriebenes Planungstool entwickelt, welches die KMU befähigt, ihre Umschlaganlagen mittels der Simulation zu untersuchen ohne dabei selbst über explizites Wissen in diesem Bereich verfügen zu müssen.

Zur Umsetzung dieses Vorhabens ist im ersten Arbeitspaket zunächst ein fachlicher Anforderungskatalog entwickelt worden. Dieser beinhaltet zum einen auf Basis des aktuellen Stands der Literatur eine Eingrenzung des Betrachtungsgegenstands „Stückgutbranche“ mit dem grundlegenden prozesstechnischen und zeitlichen Ablauf der Transportkette sowie relevanten Bestandteilen der Stückgutspeditionsanlage. In diesem Zuge sind außerdem durch Besichtigungen von Umschlaganlagen der Projektpartner die logistischen Prozesse detailliert erfasst und in fünf ereignisgesteuerten Prozessketten abgebildet worden. Diese unterteilen sich dabei in die drei Hauptvorgänge „Entladung“, „Verladung“ und „Beladung“ jeweils aus der Sichtweise der LKW und Fördermittel. Einen weiteren Bestandteil des Anforderungskatalogs stellen Eingabeparameter und Designkriterien dar. Diese sind über Experteninterviews mit den Projektpartnern erfasst worden und spiegeln die wesentlichen Eingangsgrößen des späteren Simulationsmodells bzw. relevante zu modellierende Bestandteile einer Stückgutspeditionsanlage wider.

Im zweiten Arbeitspaket wurde ein Katalog mit relevanten Leistungskennzahlen ausgearbeitet, welche den wesentlichen Output des Simulationswerkzeugs darstellen und zur Bewertung der Planungsszenarien dienen. Das Vorgehen zur Erreichung dessen hat analog zum ersten Arbeitspaket stattgefunden und beinhaltete im ersten Schritt eine Literaturrecherche zu verbreiteten Kennzahlen in der Logistik. Die erhaltenen Resultate sind anschließend über Experteninterviews konkretisiert worden und ergaben letztendlich einen Katalog mit elf unterschiedlichen Leistungskennzahlen.

Die Ergebnisse der ersten beiden Arbeitspakete haben damit die Grundlage zur Entwicklung des Simulationswerkzeugs gebildet, welches darauf aufbauend im dritten Arbeitspaket entstanden ist. Basierend auf einer Literaturrecherche zum allgemeinen Vorgehen von Simulationsstudien hat die Ausarbeitung anhand der Modellbildungsphasen aus dem Vorgehensmodell der VDI 3663

stattgefunden. Die Basis des Simulationswerkzeugs bildet eine 14-teilige Eingabemaske, welche den Nutzer über Dialoge schrittweise durch den Modellerstellungsprozess führt. Diese ermöglicht dabei neben der Festlegung des Grundlayouts auch die Positionierung der Eingangs- und Ausgangstore sowie die Definition von Doppelrelationen. Darüber hinaus kann die Sendungsverteilung zunächst prozentual definiert werden und anschließend differenziert nach Sammelguteingang und -ausgang die Anzahl und Ankunftszeit der LKW eingestellt werden. Außerdem berücksichtigt die Eingabemaske mehrere prozesstechnische Einstellmöglichkeiten wie die benötigten Prozesszeiten zur Be- und Entladung oder den Anteil an planmäßig zwischengelagerten AVIS-Sendungen. Über eine Import/Export Funktion wird außerdem der Zugriff auf vorherige Planungsszenarien sowie das Speichern der Statistiken in einer separaten CSV-Datei ermöglicht.

Um Fehler in den modellierten Prozessen auszuschließen und den Nutzern eine möglichst hohe Bedienfreundlichkeit zu gewährleisten, wurde die gesamte Entwicklungsphase von einer fortlaufenden Verifikation & Validierung im Rahmen des vierten Arbeitspakets begleitet. Dazu sind sowohl individuelle Abstimmungstermine wie auch gemeinsame Austausche mit allen Projektbeteiligten abgehalten worden. Die abschließende Umfrage hat gezeigt, dass das entwickelte Simulationstool sowohl logisch korrekt aufgebaut ist, wie auch ansprechend gestaltet ist und eine hohe Nutzerfreundlichkeit bietet.

Somit kann abschließend festgehalten werden, dass im Rahmen des Forschungsprojekts „Sim Twin“ erfolgreich ein simulationsgestütztes Planungswerkzeug zur Untersuchung von Stückgutanlagen entwickelt werden konnte, welches ohne explizites Simulationswissen genutzt werden kann und speziell auf die Bedürfnisse von KMU zugeschnitten ist. Bei der Nutzung des Planungstools muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass dies vorrangig zur Grobplanung von Stückgutspeditionsanlagen dient, um einen ersten Eindruck über die jeweiligen Planungsszenarien vermittelt zu bekommen. Durch die Verwendung des Ansatzes der automatische Modellgenerierung kann die Methodik der Simulation zwar einem breiten Anwenderkreis ohne explizites Modellierungswissen zugänglich gemacht, gleichzeitig erfolgte die Entwicklung dadurch jedoch auch mit einem generischen Fokus. Zur Beantwortung detaillierterer Fragestellungen im Bereich der Feinplanung sollte daher eine individuelle Simulationsstudie für das betrachtete System durchgeführt werden.

## 7 Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

### Einsatz von wissenschaftlich-technischem Personal

Entsprechend des Finanzierungsplans wurden die Forschungsarbeiten durch qualifiziertes wissenschaftliches Personal durchgeführt. Die im Projekt eingesetzten Mitarbeiter hatten einen Masterabschluss in den Studienfächern „Wirtschaftsingenieurwesen“ sowie „Maschinenbau“ und „Logistik“. Zudem verfügten sie über die zur Projektbearbeitung erforderlichen Kenntnisse aus den Bereichen Logistik, Prozessmanagement und Simulation. Für die Durchführung der Forschungsarbeiten wurden seitens der Forschungsstelle insgesamt 26,65 Projektmonate (PM) aufgebracht.

Ferner wurden im Projekt studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte zur Unterstützung der wissenschaftlichen Mitarbeiter im Umfang von 43,28 PM eingesetzt. Diese leisteten in den Bereichen Ergebnisdokumentation, Datenaufbereitung und Öffentlichkeitsarbeit wertvolle Unterstützungsarbeiten.

**Tabelle 7-1:** Eingesetztes Personal

	2021	2022	2023	2024	Summe
<b>Wissenschaftlich Beschäftigte</b>	0,00	5,75	7,20	13,70	26,65
<b>Wissenschaftliche Hilfskräfte</b>	0,00	4,00	11,50	0,00	15,50
<b>Studentische Hilfskräfte</b>	0,00	0,00	1,44	26,34	27,78

### Geräte

Gemäß dem Finanzierungsplan wurden innerhalb der beschriebenen Arbeiten keine Geräte angeschafft.

### Leistungen Dritter

Gemäß dem Finanzierungsplan wurden innerhalb der beschriebenen Arbeiten keine Leistungen Dritter in Anspruch genommen.

## **8 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse**

Mit Hilfe eines IGF-Forschungsvorhabens soll es kleinen und mittleren Unternehmen ermöglicht werden, einen Zugang zu praxisorientierter Forschung zu erhalten und somit den industriellen Mittelstand zu stärken und die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Vor diesem Hintergrund ist auch im Zuge dieses Forschungsvorhabens ein simulationsgestütztes Werkzeug zur Planung von Stückgutspeditionsanlagen entwickelt worden, welches speziell auf die Bedürfnisse und Interessen von KMU zugeschnitten ist. Dieses Tool eröffnet den Unternehmen den Zugang zur Simulation, ohne dabei selbst über Vorkenntnisse dieser Methodik zu verfügen oder kostspielige Investitionen in externe Simulationsdienstleister tätigen zu müssen. Das Simulationswerkzeug eignet sich zum Einsatz für unterschiedlichste Anwendungsfälle und ist somit für einen breiten Nutzerkreis des Mittelstands relevant. Neben der Neuplanung von Stückgutanlagen ermöglicht die Nutzung ebenso die Abbildung und Untersuchung bestehender Umschlagsanlagen um Schwachstellen aufzudecken und Verbesserungspotenziale auszuschöpfen. Allgemein können mit Hilfe des entwickelten Simulationswerkzeugs unterschiedlichste Planungsszenarien bewertet und miteinander verglichen werden um die Leistungsfähigkeit des betrachteten Systems zu verbessern. Dies wird den in der Stückgutbranche unter starkem Wettbewerbsdruck operierenden KMU ermöglichen, ihre Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit zu steigern, bei gleichzeitiger Minimierung des finanziellen Risikos.

## 9 Dissemination der Forschungsergebnisse

Die Dissemination der im Rahmen des Forschungsprojekts erzielten Ergebnisse wurde und wird seitens der Forschungsstelle auf unterschiedlichen Wegen vorangetrieben. Bereits während der Projektlaufzeit sind mehrere Artikel und Anzeigen in Konferenzbeiträgen und Fachveranstaltungen platziert worden, um so einerseits grundsätzlich auf das Forschungsvorhaben und die darin angestrebten Ziele aufmerksam zu machen und andererseits um weitere Mitglieder für den projektbegleitenden Ausschuss zu gewinnen.

Ein weiterer Schritt zur Verbreitung der erzielten Forschungsergebnisse ist der vorliegende Abschlussbericht, welcher allen interessierten Unternehmen zur Verfügung gestellt wird. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens fließen außerdem in die akademische Ausbildung der Studierenden an der TU Dortmund ein. Eine vollumfassende Übersicht der durchgeführten Maßnahmen bietet die nachfolgende Tabelle.

### 9.1 Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Veröffentlichung des Projekts und Informationen über den Projektstart	Gewinnung weiterer Projektpartner und Multiplikatoren	ITL-Website und Newsletter	Mai 2022
Abstimmung des Vorgehens innerhalb des Forschungsvorhabens sowie Absteckung der Ziele mit den Projektpartnern	Gemeinsames Verständnis zum Gang der Forschung	1. Sitzung des PA	11.05.2022
Austausch mit Unternehmensvertretern in Einzelgesprächen	Entwicklung des Anforderungskatalogs sowie Prozess- und Datenaufnahme	Arbeitspaket 1 & 2	Mai 2022 – Januar 2023
Vorstellung und Diskussion der bisherigen Arbeitsergebnisse	Konsens über Validität und Funktionsfähigkeit des Simulationswerkzeugs	2. Sitzung des PA	24.05.2023
Austausch mit Unternehmensvertretern in Einzelgesprächen	Akzeptanz für Forschungsergebnisse und Validierung des Simulationswerkzeugs	Arbeitspaket 4 & 5	Juni 2023 – August 2023
Vortrag und Diskussion auf der ASIM Fachkonferenz	Publikation	Projektbegleitende Tätigkeit	13. – 15.09.2023
Austausch mit Unternehmensvertretern in Einzelgesprächen	Akzeptanz für Forschungsergebnisse und Validierung des Simulationswerkzeugs	Arbeitspaket 4 & 5	Oktober 2023 - Dezember 2023

Vorstellung und Diskussion der bisherigen Arbeitsergebnisse	Konsens über Validität und Funktionsfähigkeit des Simulationswerkzeugs	3. Sitzung des PA	21.08.2024
Austausch mit Unternehmensvertretern in Einzelgesprächen	Akzeptanz für Forschungsergebnisse und Transfer in die Industrie	Arbeitspaket 4 & 5	September 2024 – Dezember 2024
Vortrag und Diskussion auf der Winter Simulation Conference 2024	Publikation	Projektbegleitende Tätigkeit	15. – 18.12.2024

## 9.2 Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Veröffentlichung des Ergebnisberichts	Publikation und Verbreitung der Projektergebnisse	Arbeitspaket 5	Januar 2025
Öffentliche Bereitstellung des Simulationswerkzeugs im Internet	Publikation und Verbreitung der Projektergebnisse	Arbeitspaket 5	Januar 2025
Einbindung der Ergebnisse in Lehrveranstaltungen	Vermittlung von fachlichen Erkenntnissen und methodischem Wissen	Akademische Lehre	Ab Januar 2025
Einbindung der Ergebnisse in weitere Forschungs- und Industrieprojekte des Instituts	Ergebnisnutzung	Forschung und Transferprojekte	Ab Januar 2025

## 9.3 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Das im Rahmen des Projekts entwickelte Simulationswerkzeug steht seit dem Projektabschluss auf der Homepage des Instituts für Transportlogistik für Transportlogistik als Stand Alone Applikation zum Download bereit. Zur Nutzungsunterstützung des Anwenders ist dort außerdem ein Leitfaden mit detaillierten Erklärungen und Hinweisen zur Bedienung des Werkzeugs zu finden. Die umfangreiche Validierungs- und Erprobungsphase hat gezeigt, dass der übergeordnete Zweck der Nutzung durch Anwender ohne simulative Vorkenntnisse sichergestellt ist. Die unmittelbare Nutzung der Forschungsergebnisse nach Abschluss des Forschungsvorhabens ist somit gewährleistet. Der schnelle Wandel der Stückgutbranche hin zu neuen Digitalisierungstrends lässt vermuten, dass sich neue Herausforderungen für die beteiligten Unternehmen ergeben werden, für welche das entwickelte Simulationswerkzeug als Grundlage herangezogen werden kann. Das Institut für Transportlogistik steht hierzu gerne als Ansprechpartner zur Verfügung.



## Literaturverzeichnis

- Bartholdi, J. J. & Gue, K. R. (2004). The Best Shape for a Crossdock. *Transportation Science*, 38(2), 235–244. <https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0077>
- Bergmann, S. & Straßburger, S. (2010). Challenges for the automatic generation of simulation models for production systems. In Society for Computer Simulation International (Hrsg.), *Proceedings of the 2010 Summer Simulation Multiconference (SummerSim'10)* (S. 545–549). Omni Press.
- Bichler, K., Krohn, R., Philippi, P. & Schneidereit, F. (2017). *Kompakt-Lexikon Logistik*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-12535-6>
- Chmielewski, A. (2006). *Entwicklung optimaler Torbelegungspläne in Stückgutpeditionsanlagen*. <https://doi.org/10.17877/DE290R-8445>
- Dabidian, P. & Langkau, S. (2013). Straßengüterverkehr. In U. Clausen & C. Geiger (Hrsg.), *Verkehrs- und Transportlogistik* (S. 137–159). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-34299-1\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-540-34299-1_11)
- Deutsches Institut für Normung e. V. (1989). *Transportkette: Grundbegriffe* (DIN 30781).
- Deymann, S. (2011). *Entwicklung eines Vorgehens zur Groblayoutplanung von Stückgutpeditionsanlagen*. Zugl.: Dortmund, Techn. Univ., Diss., 2011. *Logistik, Verkehr und Umwelt*. Verl. Praxiswissen.
- DSL.V. (2015). *Zahlen-Daten-Fakten aus Spedition und Logistik*. <http://www.appen-gruppe.de/DSL.VZahlen.pdf>
- Gutenschwager, K., Rabe, M., Spieckermann, S. & Wenzel, S. (2017). *Simulation in Produktion und Logistik: Grundlagen und Anwendungen*. Springer Vieweg.
- Heiserich, O.-E. (2011). *Logistik: Eine praxisorientierte Einführung* (4., vollst. überarb. und erw. Aufl.). *Gabler Lehrbuch*. Gabler.
- Hompel, M. ten, Schmidt, T. & Dregger, J. (2018). *Materialflusssysteme*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56181-2>
- Jurgeleit, L., Mowe, M., Kiefer, M., Schumacher, C. & Clausen, U. (2024). Automatic Model Generation for Discrete Event Simulation of Less-than-Truckload Terminals. In *ACM Digital Library, Proceedings of the Winter Simulation Conference* (S. 1493–1504). IEEE Press. <https://doi.org/10.1109/WSC63780.2024.10838998>
- Klaus, P [P.] & Schwemmer, M [M.]. Im Detail: Die Logistiksegmente in Deutschland. In *Pflaum, A., Schwemmer, M. et al. (Hrsg.): TOP 100 der Logistik. Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer* (S. 77–150).
- Klaus, P [Peter], Krieger, W. & Krupp, M. (2012). *Gabler Lexikon Logistik*. Gabler Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-7172-2>
- Lohre, D., Stock, W. & Huster, F. Stückgutlogistik in Deutschland: Studie zu Prozessen, Marktvolumen, Herausforderungen und Zukunftsentwicklungen eines logistischen Spezialsegments. In DSLV Bundesverband Spedition und Logistik e. V.
- Martin, H. (2021a). *Technische Transport- und Lagerlogistik. Intralogistik*. Springer Vieweg.

- Martin, H. (2021b). *Technische Transport- und Lagerlogistik*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-34037-7>
- Mathewson, S. C. (1984). The Application of Program Generator Software and Its Extensions to Discrete Event Simulation Modeling. *IIE Transactions*, 16(1), 3–18. <https://doi.org/10.1080/07408178408974663>
- Rabe, M., Spieckermann, S. & Wenzel, S. (2008). *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. VDI-Buch. Springer.
- Schwemmer, M [Martin]. (2020). *Top 100 der Logistik: Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer : eine Studie der Fraunhofer Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS* [Ausgabe] 2020/2021). DVV Media Group GmbH.
- Tripp, C. (2003). *Mittelstandskooperationen auf dem Prüfstand: Chancen und Risiken mittelständischer System-Stückgutkooperationen in Deutschland*.
- Tyssen, C. (2010). 2 Güterverkehrsunternehmen im Überblick. In W. Stölzle & H. P. Fagagnini (Hrsg.), *Güterverkehr kompakt* (S. 19–38). OLDENBOURG WISSENSCHAFTSVERLAG. <https://doi.org/10.1524/9783486710007.19>
- VDI 3633-1. (2014). *Simulation von Logistik-, Materialfluss-und Produktionssystemen: Grundlagen*. VDI Verein Deutscher Ingenieure (Bd. 8).
- Vieira, A. A. C., Dias, L. M. S., Santos, M. Y., Pereira, G. A. B. & Oliveira, J. A. (2018). Setting an Industry 4.0 Research and Development Agenda for Simulation – a Literature Review. *International Journal of Simulation Modelling*, 17(3), 377–390. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(3\)429](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(3)429)
- Weigert, G., Rose, O., Gocev, P. & Mayer, G. Kennzahlen zur Bewertung logistischer Systeme: Performance Indicators for the Evaluation of Logistics Systems. In *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal*.
- Wenzel, S., Stolipin, J., Rehof, J. & Winkels, J. (2019). Trends in Automatic Composition of Structures for Simulation Models in Production and Logistics. In N. Mustafee (Hrsg.), *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (S. 2190–2200). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004959>