

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19953 N

## Thema

SUPa - Simulationsbasierte Untersuchung von Handlungsalternativen im Palettentausch unter Berücksichtigung unterschiedlichen Akteursverhaltens

## Berichtszeitraum

01.02.2018 bis 31.01.2021

## Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V., Schlachte 31, 28195 Bremen

## Forschungseinrichtung(en)

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik

Hochschulstraße 1

64289 Darmstadt

Gefördert durch:

## **Kurzbeschreibung**

Paletten sind aus der heutigen Wirtschaft kaum noch wegzudenken. Durch die einheitlichen Maße konnten wesentliche Prozesse beim Transport, der Lagerung und dem Umschlag von Gütern standardisiert werden. Auch bei dem immer wichtiger werdenden Aspekt der Nachhaltigkeit schneidet die Palette sehr gut ab. Durch die Wiederverwendbarkeit werden Ressourcen gespart und Verpackungsabfall reduziert.

Trotz all der Vorteile, die der Einsatz von Paletten mit sich bringt, sorgen diese bei den Beteiligten des sogenannten Palettentausches aber auch immer wieder für Unmut und Streit. Der Palettentausch beschreibt einen – zumindest theoretisch – unkomplizierten Prozess, bei dem die Akteure der Transportkette eigene Paletten einbringen und miteinander tauschen. Die Spediteure übergeben den Versendern palettierter Ware Leerpaletten und erhalten ebensolche vom Empfänger zurück. Das Problem hier liegt an der teils unterschiedlichen Qualität der getauschten Paletten. Diese sind letztlich ein Verbrauchsgut mit begrenzter Lebensdauer. Je nach Eigenschaft der Güter, die auf Paletten transportiert werden, sowie der Sorgfalt beim Handling und der Lagerung halten Paletten nicht lange bis sie repariert oder ersetzt werden müssen. Der Ersatz und die Reparatur stellen dabei den größten Kostenfaktor beim Tausch dar.

Eigentlich gilt der Grundsatz, Paletten in gleicher Anzahl und Güte zu tauschen. Doch das ist in der Praxis nicht immer der Fall. Dies liegt zum Beispiel an der schwierigen Bestimmung der Qualität, dem Zeitdruck bei den Tauschprozessen oder dem Fehlen von Leerpaletten. Häufig muss der Tausch nachgelagert stattfinden, was zu zusätzlichem Aufwand führt (Verwaltung von Palettenkonten, gesonderte Fahrten für Transport von Leerpaletten). Es kommt zudem vor, dass mit Absicht schlechtere Paletten zurückgegeben werden als erhalten wurden, womit die Kosten für Reparatur und Ersatz auf einen anderen Akteur in der Transportkette übertragen werden. Bei einem Kaufpreis von etwa 7 EUR für eine Palette erscheint dies zunächst nicht sonderlich relevant zu sein. Doch die finanzielle Belastung kann sehr hoch werden. Bei einem Unterschied pro Palette von durchschnittlich nur 1 EUR ergeben sich bei einer vollen LKW-Ladung mit 30 Paletten bereits 30 EUR Wertverlust. Häufig hat der Spediteur den größten Kostenanteil zu tragen. Dies liegt auch daran, dass dieser in der Lieferkette das schwächste Glied ist, da er in der Regel die Leerpaletten vom Empfänger der Paletten erhält, mit dem er kein Vertragsverhältnis hat.

Das Forschungsvorhaben „Simulationsbasierte Untersuchung im Palettentausch“ (SUPa) sieht vor, unterschiedliches Akteursverhalten zu analysieren und den Einfluss auf die Kosten der einzelnen Unternehmen – Versender, Spediteur, Empfänger – zu ermitteln. Bei dem Projekt handelt es sich um ein IGF-Vorhaben (19953 N) der Bundesvereinigung Logistik (BVL) und des

Forschungsnetzwerks Mittelstand AiF, das vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert wird. Es soll hier das opportunistische Verhalten einzelner Akteure simuliert werden. Das Simulationswerkzeug soll Aussagen bezüglich sinnvoller Kontrollstrategien und der Auswirkungen von möglichen Strafgebühren liefern, vor allem aber für mehr Transparenz bei den Kosten des Palettentausches sorgen. Mit Angaben weiterer akteursspezifischer Kostenfaktoren, wie zum Beispiel die Anzahl getauschter Paletten pro Jahr oder die tagesaktuellen Kosten für neue Paletten, können die Kosten für den Palettentausch in Abhängigkeit der jeweiligen Tauschverhalten quantifiziert werden. Zudem lässt sich zeigen, an welchen Stellen nicht-kooperatives Verhalten Einzelner zu zusätzlichen Kosten bei den übrigen Unternehmen führt. Hierdurch wird es beispielsweise für den Spediteur möglich, die Kosten des Palettentausches transparent bei Vertragsschluss darzustellen und einzupreisen.

# Ausführlicher Sachbericht des Forschungsvorhabens

## Inhaltsverzeichnis

<b>THEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>BERICHTSZEITRAUM .....</b>	<b>1</b>
<b>FORSCHUNGSVEREINIGUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>FORSCHUNGSEINRICHTUNG(EN) .....</b>	<b>1</b>
<b>KURZBESCHREIBUNG .....</b>	<b>2</b>
<b>1. VORBEMERKUNG.....</b>	<b>6</b>
<b>2. DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE DER EINZELNEN ARBEITSPAKETE ....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 ARBEITSPAKET 1 – IDENTIFIKATION MÖGLICHER VERHALTENSWEISEN UND ABLEITUNG VON SZENARIEN.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 SCHWERPUNKT 1: BEDARFSGERECHTE ALLOKATION VON PALETTEN.....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Arbeitspaket 2 (1): Entwicklung eines agenten-basierten Simulationsmodells .....	15
2.2.2 Arbeitspaket 3 (1): Durchführung der Simulation, Analyse und Validierung der Ergebnisse .....	16
2.2.3 Arbeitspaket 4 (1): Ableiten der Handlungsempfehlungen.....	19
<b>2.3 SCHWERPUNKT 2: SPIELTHEORETISCHE BETRACHTUNG DES PALETTENTAUSCHES..</b>	<b>20</b>
2.3.1 Arbeitspaket 2 (2): Entwicklung eines agenten-basierten Simulationsmodells .....	20
2.3.2 Arbeitspaket 3 (2): Durchführung der Simulation, Analyse und Validierung der Ergebnisse .....	25
2.3.3 Arbeitspaket 4 (2): Ableiten der Handlungsempfehlungen.....	29
<b>2.4 SCHWERPUNKT 3: AKTEURSÜBERGREIFENDE PALETTENTAUSCH-PLATTFORM .....</b>	<b>30</b>
2.4.1 Arbeitspaket 2 (3): Entwicklung eines agenten-basierten Simulationsmodells .....	31
2.4.2 Arbeitspaket 3 (3): Durchführung der Simulation, Analyse und Validierung der Ergebnisse .....	36
2.4.3 Arbeitspaket 4 (3) Ableiten der Handlungsempfehlungen.....	40
<b>2.5 ARBEITSPAKET 5 – LEITFADEN UND PROJEKTABSCHLUSS .....</b>	<b>41</b>
<b>3. VERWENDUNG DER ZUWENDUNGEN.....</b>	<b>43</b>
<b>4. NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT ....</b>	<b>44</b>
<b>5. BEWERTUNG DES WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHEN UND WIRTSCHAFTLICHEN NUTZENS DER ERZIELTEN ERGEBNISSE INSBESONDERE FÜR KMU SOWIE IHRES INNOVATIVEN BEITRAGS UND IHRER INDUSTRIELLEN ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN .....</b>	<b>45</b>

<b>6. ERGEBNISTRANSFER IN DIE WIRTSCHAFT .....</b>	<b>47</b>
<b>6.1 TRANSFERMAßNAHMEN WÄHREND DER PROJEKTLAUFZEIT .....</b>	<b>47</b>
<b>6.2 TRANSFERMAßNAHMEN NACH ABSCHLUSS DES VORHABENS .....</b>	<b>52</b>
<b><u>LITERATURVERZEICHNIS .....</u></b>	<b><u>54</u></b>

## **1. Vorbemerkung**

Das Vorhaben „Simulationsbasierte Untersuchung von Handlungsalternativen im Palettentausch unter Berücksichtigung unterschiedlichen Akteursverhaltens“ (Kurztitel: SUPa) wurde im Förderzeitraum von Februar 2018 bis Januar 2021 unter der Leitung von Prof. Dr. Ralf Elbert am Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt. Für die Projektarbeit waren die wissenschaftlichen Mitarbeiter Roland Lehner, Anne Friedrich und Michael Gleser zuständig. Insgesamt elf studentische Hilfskräfte unterstützten die Projektbearbeitung. Im Zusammenhang mit dem Projekt entstanden außerdem fünfzehn wissenschaftliche Arbeiten. Dabei handelt es sich um vier Bachelor-, drei Master- und sieben Seminararbeiten sowie eine Studienarbeit. Eine Dissertation auf dem Gebiet des Ladehilfsmittel-Mangement ist derzeit am Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik in Arbeit. Im Rahmen des Projektes wurden mit den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses sowie mit weiteren Experten aus der Praxis Interviews, Workshops und Vor-Ort-Besuche zur Datenaufnahme, Validierung und Sicherstellung einer praxistauglichen und transferierbaren Zielverfolgung durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 19953 N der Forschungsvereinigung Logistik wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Die Erforschung der im Projektantrag gestellten und zu Beginn der Laufzeit konkretisierten Aufgabenstellung erfolgte entsprechend dem Projektplan in fünf Arbeitspaketen. Die Beschreibung der einzelnen Arbeitspakete und der erzielten Ergebnisse erfolgt in Kapitel 2 dieses Berichts. Anschließend wird die Verwendung der Zuwendungen in Kapitel 3 begründet erläutert. In Kapitel 4 wird die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit thematisiert, bevor in Kapitel 5 eine Bewertung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen vorgenommen wird. Der Bericht schließt mit der Beschreibung der Maßnahmen zum Transfer in die Wirtschaft in Kapitel 6.

## **2. Durchführung und Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete**

In diesem Kapitel werden die durch den Projektplan vorgegebenen Ziele, das Vorgehen zur Erreichung dieser Ziele sowie die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete erläutert. Insgesamt ist die Projektbearbeitung in fünf Arbeitspakete gegliedert.

Im Verlauf des ersten Arbeitspakets (Identifikation möglicher Verhaltensweisen und Ableitung von Szenarien) wurde deutlich, dass das Thema Palettentausch verschiedene, spezifische Aspekte und Untersuchungsfragen aufwarf, sodass die Beantwortung dieser nicht mittels eines einzigen Modells sinnvoll geleistet werden konnte. Aus diesem Grund wurden drei Modelle mit unterschiedlichen Schwerpunkten im Rahmen des Projekts entwickelt, mit Hilfe derer die spezifischen Fragestellungen des Palettentausches in angemessener Weise untersucht werden konnten. Schwerpunkt 1 beinhaltet dabei die bedarfsgerechte Allokation von Paletten zu Gütern, um die Paletten so lange wie möglich nutzen zu können. Der Schwerpunkt 2 fokussiert sich auf eine spieltheoretische Betrachtung, bei der die Auswirkungen bestimmter Tauschverhalten auf die Kosten der anderen Teilnehmer untersucht wird. Im 3. Schwerpunkt werden digitale Plattformen betrachtet, die eine akteursübergreifende Kooperation zwischen den Teilnehmern erlauben und damit den Palettentausch effizienter gestalten können.

Für alle drei Schwerpunkte mussten die Arbeitspakete

- AP 2: Entwicklung eines agenten-basierten Simulationsmodells,
- AP 3: Durchführung der Simulation, Analyse und Validierung der Ergebnisse und
- AP 4: Ableiten der Handlungsempfehlungen

jeweils für sich durchgeführt werden. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, spiegelt sich dies auch im Aufbau dieses Schlussberichts wider (Abbildung 1).

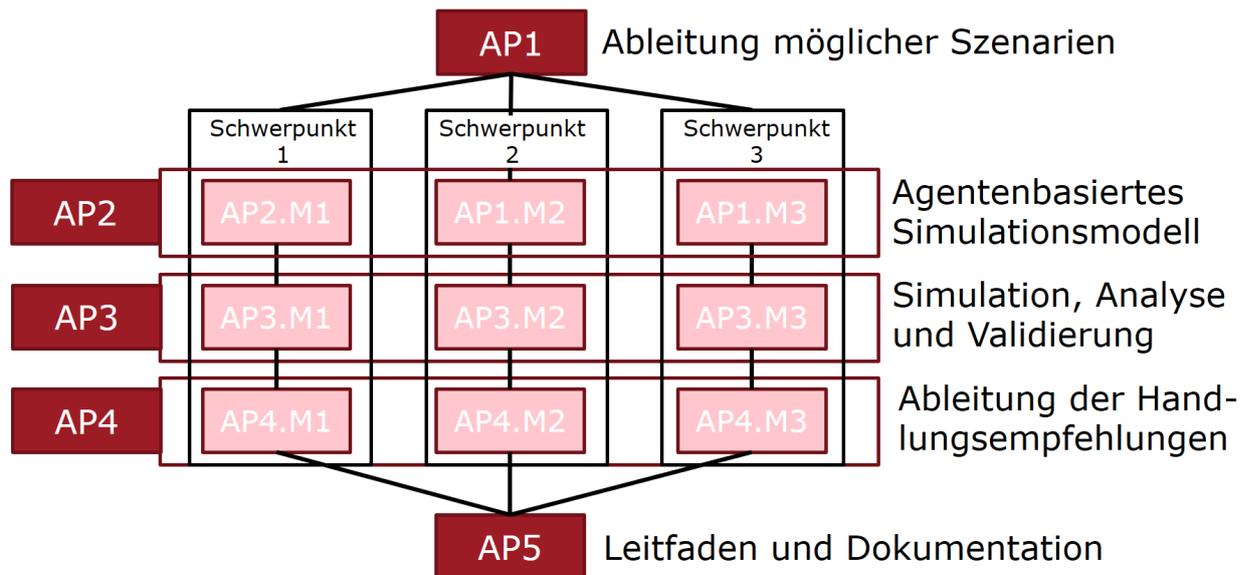


Abbildung 1: Übersicht über die Arbeitspakete und den Aufbau des Schlussberichts

Das Forschungsvorhaben wurde zudem gegenüber dem ursprünglichen Projektplan kostenneutral um insgesamt zwölf Monate verlängert. Grund hierfür war zum einen, dass zum Zeitpunkt der Bewilligung des IGF-Vorhabens zum 01.02.2018 dem Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik das Personal fehlte, um zu Beginn des Bewilligungszeitraums direkt mit der Bearbeitung des IGF-Vorhabens starten zu können. Daher wurde zum einen eine kostenneutrale Verlängerung um 8 Monate beantragt. Die kostenneutrale Verlängerung sowie die in diesem Zusammenhang stehende Ratenverschiebung wurden genehmigt. Das Projekt startete damit am 01.10.2018. Zum anderen wurde die Projektlaufzeit kostenneutral um weitere 4 Monate verlängert, da für die Implementierung eines Akteursnetzwerks zusätzliche Zeit benötigt wurde (im Antrag wurde das Modell mit nur insgesamt drei Akteuren geplant).

## **2.1 Arbeitspaket 1 – Identifikation möglicher Verhaltensweisen und Ableitung von Szenarien**

**Zielsetzung und Ausgangslage:** Für die Erstellung der simulationsbasierten Untersuchung ist es entscheidend, die relevanten Szenarien und relevanten Einflussgrößen zu identifizieren. Dafür wurde im ersten Arbeitspaket eine Literaturrecherche zum Thema Palettentausch durchgeführt. Im Kontext des ersten Arbeitspaketes wurde daher zunächst der Rahmen für die folgende Forschung und das Forschungsprojekt festgelegt. Ziel war die Identifikation relevanter Umweltbedingungen sowie Akteursverhaltens im Palettentausch. Hieraus wurden dann die Szenarien für die Simulationen herausgearbeitet.

**Vorgehen:** Für das Arbeitspaket 1 wurde eine Recherche in der wissenschaftlichen Literatur sowie in der deutschsprachigen Praxisliteratur durchgeführt. Für die Recherche nach praxisrelevanter Literatur wurde die Datenbank WISO genutzt, während für die wissenschaftliche Literatur die Datenbanken Science Direct, EbscoHost, Web of Science und Google Scholar herangezogen wurden. Ergänzt wurde die Literaturrecherche mit parallel durchgeführten Fokusgruppeninterviews im Rahmen der Projektbegleitenden Ausschüsse sowie einzelnen Experteninterviews. Zunächst wird nochmal allgemein in das Thema Palettenmanagement eingeführt, bevor der Fokus der Recherche auf die Rahmenbedingungen sowie die verschiedenen Verhaltensweisen der Akteure gelegt wird.

**Ergebnisse:** Die Paletten sind in der Regel standardisiert, können weltweit umgeschlagen werden und sind meist für eine Mehrfachnutzung ausgelegt. Dabei kann das Mehrwegsystem unterschiedlich ausgeprägt sein. Eine Möglichkeit ist der Palettentausch. Dabei übergibt z.B. ein Spediteur dem Empfänger die Ware auf Paletten und erhält dafür gleichwertige leere Paletten zurück. Eine andere Variante ist, dass die Palette vom Warenempfänger mitgekauft wird. Somit entfällt der Zusatzaufwand des Palettentausches bei der Entgegennahme der Ware. Eine weitere Möglichkeit ist das Mieten von Paletten. Dabei wird das Management rund um die Palette inklusive Beschaffung, Reparatur, effizienter Verteilung und Entsorgung ausgelagert an einen externen Dienstleister, den Palettenpoolbetreiber (Twede et al. 2007). Da dabei jedoch die Paletten dem Poolbetreiber gehören und sich dieser um sämtliche damit zusammenhängende Abläufe (Versorgung, Abholung, Reparatur) kümmert und damit kein Palettentausch zwischen den Akteuren (Versender, Spediteur, Lieferant) stattfindet, wird diese Option bei den weiteren Untersuchungen ausgeklammert.

Die Übergabe der Paletten beim Palettentausch kann verschiedenen ausgestaltet sein. Grundlegend kann zwischen dem Kölner und Bonner Palettentausch unterschieden werden (Hector et al. 2015). Hauptunterschied ist, welche Akteure die Paletten in den Kreislauf

einbringen. Der Kölner Palettentausch sieht vor, dass auch die Spediteure Paletten miteinbringen. Der Spediteur übergibt dem Verloader Leerpaletten und erhält im Gegenzug vom Empfänger die entsprechende Anzahl Leerpaletten zurück. Dem gegenüber bringt der Spediteur beim Bonner Palettentausch keine eigenen Paletten ein, sondern muss die vom Empfänger erhaltenen Leerpaletten dem Versender zurückführen (Rückführungsverpflichtung). Beim Zug-um-Zug-Tausch werden Paletten gleicher Qualität und Quantität ausgetauscht. Bei einem Palettenkonto wird die Anzahl und Qualität der gelieferten Paletten bei Lieferung der Ware notiert. Zu einem späteren Zeitpunkt können dann Paletten von entsprechender Qualität und Quantität zurückgegeben werden. Das Palettenkonto ähnelt dem Zug-um-Zug-Tausch, allerdings werden die Paletten hier zu einem späteren Zeitpunkt an den Eigentümer übergeben (Gnoni et al. 2011). Zur Dokumentation der Palettenschulden werden vor Ort Palettenscheine ausgestellt.

Das konkrete Thema Palettentausch wird in der wissenschaftlichen Literatur vor allem vor den beiden Hintergründen Wirtschaftlichkeit und umweltpolitischer Überlegungen betrachtet. In den letzten Jahren kam zudem die Diskussion des Einsatzes von RFID beim Palettenmanagement auf. Ziel ist die Anwendbarkeit der Technologie zu analysieren und Potentiale zur Kostensenkung aufzuzeigen (z.B. Duraccio et al. 2015; Qinghua et al. 2009). Zunehmenden Stellenwert bekommt auch die Bewertung unter ökologischen Gesichtspunkten (Glock 2017). Nur in wenigen Quellen wird darauf hingewiesen, dass Paletten durch ihre Verwendung als Ladungsträger für unterschiedlichste Produkte und unter wechselnden Umweltbedingungen, einem starken Verschleiß unterliegen (Carrano et al. 2015; Twede et al. 2007). Zum Bewerten des Verschleißes einer Palette gibt es verschiedene Kriterien. Nach der European Pallet Assisoaction werden Paletten in zwei Klassen eingeteilt: tauschfähige und nicht tauschfähige Paletten (Grimm et al. 2010). Eine in der Praxis weit verbreitete Variante sind die Kriterien der von GS1 (Hector et al. 2015). Dabei wird zwischen neuen Paletten, A-Paletten, B-Paletten, C-Paletten und defekten Paletten unterschieden. An dieser Kategorisierung orientiert sich auch das Modell des Kölner Abschreibungsschlüssel zur Ermittlung des Wertverlusts einer Palette pro Umlauf (Hector et al. 2015). Wang et al. (2016) entwickelten sogar acht Kriterien zur Bewertung von Paletten. Diese Kriterien sind jedoch eher akademischer Natur und eine Verwendung dieser Kriterien in der Praxis konnte nicht belegt werden.

Auch wenn das Verhalten einzelner Akteure im Palettentausch und die entstehende Problematik des Qualitätsverlusts keine große Beachtung in der wissenschaftlichen Literatur finden, so werden diese zumindest in der Fachpresse diskutiert (Disponaut 2016; Jüngst 2018) sowie in Praxisstudien thematisiert (Hagenlocher et al. 2013; Löw 2008). Anhand dieser verschiedenen Quellen konnten Einflussfaktoren und Verhaltensweisen identifiziert, die für Probleme im Palettentauschsystem sorgen. Die Ergebnisse dieser Literaturanalyse wurden im Rahmen von Fokusgruppeninterviews im Rahmen der Projektbegleitenden Ausschusses abgesichert.

Tabelle 1: Einflussfaktoren im Palettentausch nach Akteuren

	Versender	Spediteur	Empfänger
<b>Allgemeine Faktoren</b>	Zeitdruck (Disponaut 2016; Grimm und Hofstetter 2011; Hagenlocher et al. 2013)		
	individuelle Bewertungskriterien (Disponaut 2016; Grimm und Hofstetter 2011)		
	keine direkten Vertragsverhältnisse (Hagenlocher et al. 2013; lassinovskaia et al. 2017)		
<b>Unternehmensebene</b>	keine Relevanz von bedarfsgerechter Zuordnung (Löw 2008) (Jüngst 2018)	hohe Kulanz (Breen 2006)	Tausch zum eignen Vorteil (Löw 2008)
	Nicht genügend Vorhalten von Tauschpaletten (Löw 2008)		
	Fehlendes Bewusstsein (Breen 2006; Hung Lau und Wang 2009)		
	Mitarbeiter nicht geschult (Löw 2008)		
	wenig Absprachen (Löw 2008; Hagenlocher et al. 2013)		
	Keine Sortierung der Paletten (Löw 2008)		
	Illegaler Verkauf von Paletten (Löw 2008)		
<b>Mitarbeiter-ebene</b>	kein Aussortieren beschädigter Paletten (Löw 2008)		
	absichtliches Verstecken von Mängeln (Löw 2008)		
	individuelles Tauschverhalten nach persönlichen Sympathien (Löw 2008)		

Die Ergebnisse der Literaturanalyse werden in Tabelle 1 zusammengefasst. Die allgemeinen Einflussfaktoren werden in verschiedene Kategorien eingeteilt. Zunächst wird eine übergeordnete, allgemeine Kategorie gebildet, die generelle Schwächen des derzeitigen Systems im Palettentausch beschreibt. Eingordnet in diese Kategorie werden der Zeitdruck, das Vorliegen von individuellen Bewertungskriterien und ein Mangel an einer formalen, vertraglichen Basis. Beim Anlieferungsprozess herrscht meist Zeitdruck (Disponaut 2016; Hagenlocher et al. 2013; Grimm und Hofstetter 2011). Die Entladung muss häufig schnell gehen, da weitere LKW auf ihre Abfertigung warten. Das Verladen von Leerpalletten ist dabei häufig nicht gewünscht, sodass es oft zur Verwendung von Palettenscheinen kommt. Der Spediteur kann diese dann oft erst an einem anderen Standort einlösen, sodass teilweise zusätzliche Fahrten zum Einsammeln von Paletten nötig werden. Ein weiteres übergeordnetes Problem ist die Vertragskonstellation der verschiedenen Akteure. So besteht zwischen Spediteur und Empfänger in der Regel kein Vertragsverhältnis, sondern der Versender beauftragt den Spediteur Güter beim Empfänger abzuliefern (lassinovskaia et al. 2017; Hagenlocher et al. 2013). Es kommt im Vorfeld also zu keinen Absprachen zwischen Spediteur und Empfänger, sodass sich in der Praxis oft Streitigkeiten beim Tausch von Paletten, z. B. in Bezug auf die Qualität ergeben. Insbesondere, wenn der Spediteur den Auftrag an einen Subunternehmer vergibt, verschärft sich die Situation noch (Löw 2008), da hier noch nicht einmal ein Vertragsverhältnis zum Lieferanten existiert. Weiterhin ist die Qualitätsbestimmung von Paletten häufig subjektiv. Zwar gibt es z. B. von der

EPAL und GS1 Vorgaben zur Qualitätsbestimmung von Paletten. Jedoch werden in der Praxis die Paletten nach subjektiven Kriterien bewertet (Disponaut 2016; Grimm und Hofstetter 2011), die je nach Akteur sehr unterschiedlich ausfallen können.

Für die einzelnen Akteure ergeben sich auf zwei Ebenen (Unternehmensebene und Mitarbeiterebene) weitere Einflussfaktoren auf den Palettentausch. In die Kategorie Unternehmensebene einzuordnen ist, dass für den Lieferanten in der Praxis bislang kaum Relevanz besteht, die Paletten mit unterschiedlichen Qualitäten für verschiedene Produkte bedarfsgerecht zuzuordnen (Jüngst 2018). Eine entsprechende Zuordnung wird derzeit nur gefordert, wenn die Empfänger eine Automatisierungstechnologie einsetzen, wie zum Beispiel ein automatisches Hochregallager. Für die Automatisierung sind Paletten mit hoher Qualitätsgüte wesentliche Voraussetzung. Ein weiterer in der Literatur thematisierter Faktor ist, dass der Spediteur in der Regel häufig kulant ist, wenn er beim Palettentausch benachteiligt wird. Grund hierfür ist, dass der Transportmarkt durch einen hohen Wettbewerb charakterisiert wird (Gnoni et al. 2011). Um keine Aufträge zu verlieren, wird häufig akzeptiert, dass der Palettentausch für den Spediteur ein Verlustgeschäft darstellt (Breen 2006). Dies liegt insbesondere dann vor, wenn der Empfänger den Spediteuren bewusst nur qualitativ schlechtere Paletten im Vergleich zu den erhaltenen übergibt. Zwar wird diese Strategie auch von den Spediteuren und Lieferanten angewendet (Löw 2008), da jedoch der Empfänger in keinem Vertragsverhältnis zum Spediteur steht und nicht wie der Versender an einer Servicequalität dem Kunden gegenüber interessiert ist, wird der Tausch zum eigenen Vorteil an dieser Stelle vorrangig dem Empfänger zugeordnet. Dies spiegelt sich letztlich auch darin wider, dass der Spediteur in der Regel die höchsten Kosten beim Palettentausch trägt (Lange und Hoffmann 2009). Beim Empfänger, insbesondere wenn es sich um ein Handelsunternehmen handelt, kann es weiterhin dazu vorkommen, dass nicht genügend Paletten für den Tausch vorgehalten werden. Gerade durch saisonale Schwankungen gibt es Zeiten, in denen diese Unternehmen sämtliche Paletten im Einsatz haben und den Spediteuren lediglich Palettenscheine ausgestellt werden (Löw 2008). Ein weiterer Faktor, der auf der Unternehmensebene allen Akteuren zugeordnet werden kann, ist das häufig fehlende Bewusstsein der Rückführungs- bzw. Tauschprozesse (Breen 2006; Hung Lau und Wang 2009). Weiterhin existieren häufig keine Standardprozesse (Grimm und Hofstetter 2011) und die Kosten für den Tausch sind den Akteuren nicht bekannt (Breen 2006; Hung Lau und Wang 2009). Ein zusätzlicher Aspekt ist die fehlende Kommunikation zwischen den einzelnen Akteuren. Die Absprachen zwischen den Akteuren ist ein wesentlicher Faktor für eine funktionierende Rückführungslogistik (Guzman-Siller et al. 2010). Die bereits erwähnten fehlenden Vertragsverhältnisse sowie ein mangelndes Bewusstsein zur Rückführungslogistik erschweren einen solchen Austausch jedoch. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Sortierung der Paletten nach der Güte. In der Realität findet häufig keine Sortierung statt, sodass eine gezielte

Zusammenstellung von Paletten mit vorgegebenen Qualitäten nicht erfolgen kann. Sofern eine Sortierung doch stattfindet, dann häufig nach den beiden Kriterien gut und schlecht (Löw 2008).

Auf Ebene der einzelnen Mitarbeiter kommen weitere Faktoren hinzu. Hierbei handelt es sich um Verhalten, die häufig nicht im Rahmen der Unternehmensleitlinien festgelegt sind. So kommt es im Zuge des Palettentausches auch zu illegalen Verkäufen von Paletten (Löw 2008). Dabei werden die Paletten von guter Qualität gegen schlechte Paletten eingetauscht und der Differenzbetrag wird von den beteiligten Mitarbeitern einbehalten. Weiterhin werden defekte Paletten teilweise nicht aussortiert, sondern weiterhin eingetauscht. Die Kosten für die Reparatur und Wiederbeschaffung werden somit direkt auf einen anderen Akteur übertragen. Gleiches gilt, wenn bestimmte Mängel beim Tausch bewusst versteckt werden (Löw 2008). Des Weiteren haben auch die Präferenzen des einzelnen Mitarbeiter Einfluss auf den Tausch. So erhalten z.B. bestimmte Fahrer von einem Mitarbeiter gute Paletten, während andere immer schlechte erhalten (Löw 2008).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass allgemeine Einflussfaktoren auf die Umwelt zurückzuführen sind. Jedoch existieren vielschichtige Verhaltensweisen der einzelnen Akteure, die das Palettentauschsystem negativ prägen. Die hier vorgenommene Aufteilung nach Unternehmensebene und Mitarbeiterebene kann als fließend betrachtet werden. So kann beispielsweise die Sortierung von Paletten auf administrativer Ebene angeordnet werden oder die einzelnen Mitarbeiter führen diese ohne konkrete Anweisungen durch.

## 2.2 Schwerpunkt 1: Bedarfsgerechte Allokation von Paletten

**Zielsetzung und Ausgangslage** Mit einer bedarfsgerechten Zuteilung von Paletten zu Produkten ist gemeint, dass je nach Verschleiß des Produkts eine entsprechende Palette genutzt wird. Auf diese Weise kann vorhersehbarer Wertverlust, z. B. in Form von Verschmutzungen durch Baustoffe, die auf der Palette transportiert wurden, verhindert werden. Für Produkte mit geringem Verschleiß, z. B. Lebensmittel, sollten dementsprechend Paletten von hoher Qualität eingesetzt werden. Vor allem zwei Faktoren beeinflussen die Lebenserwartung einer Palette stark: die Belastung durch die geladene Masse und der Umgang mit der Palette (Abbildung 2). Dies belegen die Ergebnisse einer entsprechenden Versuchsreihe, bei der die Auswirkungen von Umgang und geladener Masse systematisch untersucht wurden. Im Extremfall lag der Unterschied bei einer sechs Mal höheren Lebensdauer der Palette im Falle einer relativ leichten Beladung und sorgfältigem Umgang (Carrano et al. 2015). Den Einfluss einer bedarfsgerechten Auswahl von Paletten in Abhängigkeit von den Produkten mit verschiedenen Verschleißigenschaften im Palettentausch wurden bislang kaum diskutiert. Im Forschungsvorhaben wurde diese Forschungslücke adressiert. Da die Kosten für den Ersatz beschädigter Paletten die größte Kostenkomponente des Palettentausches ausmacht (Grimm et al. 2010), ist es sinnvoll, sich genauer mit dieser Thematik zu beschäftigen.

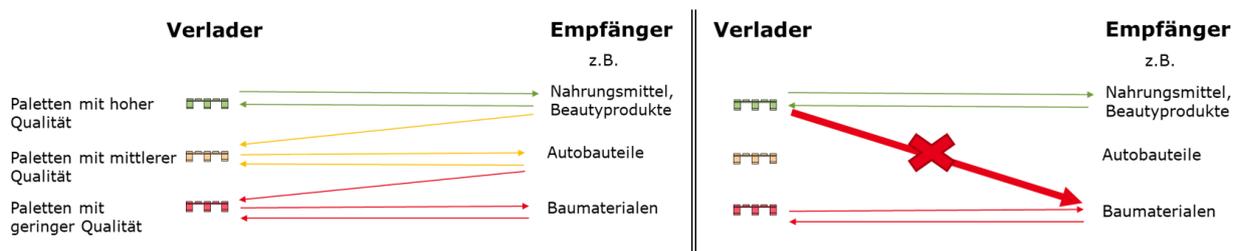


Abbildung 2: Bedarfsgerechte Allokation

**Vorgehen:** Um die Auswirkung einer bedarfsgerechten Zuteilung zu untersuchen wird als Methodik die Simulation verwendet. Die Simulation wird dabei häufig im wissenschaftlichen Bereich von Logistik und Transport eingesetzt (Glock 2017). Es wird eine agentenbasierte Simulation eingesetzt, die sich ideal für den Einsatz im Rahmen der Palettenlogistik eignet: Verschiedene Akteure mit individuellem Verhalten interagieren untereinander und mit der Umwelt (Law 2013). Mithilfe der Simulation können stochastische Einflüsse wie die im konkreten Fall schwankende Nachfrage und die zufällige Auswahl von Paletten der Akteure mitberücksichtigt werden. Das Simulationsmodell wird mithilfe von Anylogic erstellt, einer Software der AnyLogic Company. Das systematische Vorgehen bei der Entwicklung des Simulationsmodells richtet sich nach dem Entwicklungsmodell nach Manuj et al. (2009). Basierend auf den Ergebnissen des validierten Simulationsmodells werden dann mit Hilfe des erhobenen Stands der Forschung

sowie des PA Handlungsempfehlungen für die Akteure erstellt. Dabei sind die jeweiligen spezifischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Außerdem soll eine Hilfestellung gegeben werden, die Möglichkeiten des Umgangs mit nicht-kooperativem Verhalten anderer Akteure bietet. Insbesondere sollen hierdurch entstehende Kosten sichtbar gemacht werden, um eine Verhaltensänderung zu erwirken bzw. eine Einpreisung zu ermöglichen. Außerdem soll die Planungssicherheit hinsichtlich des Palettenbedarfs erhöht werden. Konkrete technische Lösungen z. B. zur automatisierten Erfassung der Qualitätsklasse sind nicht Bestandteil des beantragten Forschungsprojektes.

Die Ergebnisse der Untersuchung einer bedarfsgerechten Allokation von Paletten werden im folgenden Kapitel dargestellt.

### **2.2.1 Arbeitspaket 2 (1): Entwicklung eines agenten-basierten Simulationsmodells**

Im Simulationsmodell werden die Akteure Spediteur, Versender und Empfänger berücksichtigt. Zwischen diesen wird ein Zug-um-Zug Tausch an den Übergabeorten durchgeführt. Die zentrale Zielgröße des Modells ist die Lebensdauer der Paletten. Diese wird erfasst als durchschnittliche Umläufe einer Palette von neuwertigem Zustand bis zum defekten Zustand. Eine weitere Zielgröße ist die Qualität der sich im System befindlichen Paletten. Die Eingabeparameter sind die Qualität und Quantität der Paletten, welche die einzelnen Akteure zu Beginn besitzen. Des Weiteren ist der Verschleißfaktor der auf den Paletten transportierten Produkte ebenfalls zu dem vorab festgelegten Parameter zuzuordnen. Ebenfalls werden verschiedene Verhaltensweisen der Akteure als Inputparameter definiert.

Im Simulationsmodell bestellt der Empfänger beim Versender täglich zwei verschiedene Produkte beim Lieferanten. Für die beiden Produkte können zwischen 0 und 30 Paletten bestellt werden. Der Versender bereitet die Produkte für die Abholung und informiert den Spediteur über den Auftrag. Der Spediteur lädt die dem Auftrag entsprechende Menge an leeren Paletten in seinen LKW und fährt zum Versender. Dort angekommen entlädt er die Leerpaletten und übergibt diese dem Versender. Die palettierte Ware wird aufgenommen und zum Empfänger transportiert. Dort wird die Ware abgegeben und der Spediteur erhält Leerpaletten zurück. Mit den Leerpaletten fährt er im Anschluss wieder zu seinem Ausgangspunkt zurück, wo er die Paletten entlädt und auf den nächsten Transportauftrag wartet. Dieser Prozess wiederholt sich täglich. Das System ist geschlossen, das heißt es kommen keine neuen Paletten in den Kreislauf. Defekte Paletten werden ebenfalls nicht repariert. Die Simulation bricht ab, sobald nicht mehr genügend Paletten vorhanden sind und weitere Paletten im System eingespeist werden müssten.

Beim Wertverlust wird sich am Kölner Abschreibeschlüssel orientiert (Hector et al. 2015). Für das erste Produkt werden folgende Verluste pro Umlauf angenommen: Eine neue Palette hat einen

Wert von 7,20€ und verliert pro Umlauf 0,80 € an Wert, eine A-Palette hat einen Wert von 7,00 € und verliert pro Umlauf 0,27 €, eine B-Palette (Wert 6,20 €) verliert pro Umlauf 0,30 € und die C-Palette (Wert 5,30 €) 0,71 €. Für das zweite Produkt wird ein Verschleißfaktor zwischen 0,9 und 0,1 angenommen. Der Faktor beschreibt den Unterschied im Verschleiß zwischen den Produkten. Ein Verschleißfaktor von 0,5 bedeutet, dass das zweite Produkt einen 50 Prozent geringeren Wertverlust pro Umlauf besitzt.

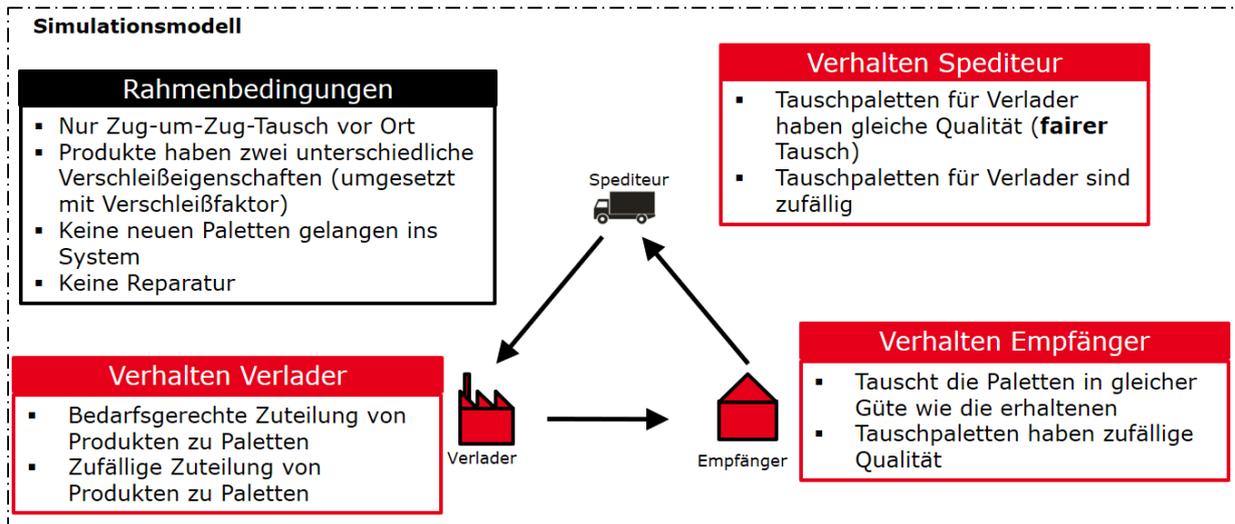


Abbildung 3: Konzeptionelles Modell zur bedarfsgerechten Allokation

Der Versender kann eine bedarfsgerechte Zuteilung der Paletten vornehmen. Je nach Produkt und deren Verschleißfaktor werden verschiedene Palettenqualitäten ausgewählt. Alternativ wählt der Versender zufällig aus seinem Bestand eine Palette für die beiden Produkte aus. Im Projekt begleitenden Ausschuss wurde bekräftigt, dass die Effizienz des Palettentausches davon abhängt, ob die Akteure fair tauschen. Daher wurde dieses Verhalten ebenfalls im Modell implementiert. Der Spediteur und Empfänger wählen für den Tausch ebenfalls die Paletten zufällig oder fair aus. Bei einem fairen Tausch wird vom Spediteur und vom Empfänger versucht, Paletten mit den Qualitätsstufen dem Tauschpartner zu übergeben. Das konzeptionelle Modell ist in Abbildung 3 zusammenfassend dargestellt.

### 2.2.2 Arbeitspaket 3 (1): Durchführung der Simulation, Analyse und Validierung der Ergebnisse

Die Auswertungen der Simulationsexperimente zeigen, dass eine bedarfsgerechte Allokation die Lebensdauer einer Palette deutlich erhöhen kann. Bei der ersten Versuchsreihe wird der Verschleißfaktor variiert zwischen 0,9 und 0,1. In Tabelle 2 werden die Lebenserwartungen der Paletten bei den Parametervariationen dargestellt. Dabei lässt sich erkennen, dass eine sinnvolle Zuordnung die Lebenswertung einer Palette erhöht. Schon bei Unterschieden im Verschleiß von

30 % kann die Anzahl der möglichen Umläufe im Modell um 4,5 % erhöht werden. Sofern die Verschleißigenschaften der Produkte sich stark unterscheiden, kann die Lebenserwartung sogar um etwa 20 % gesteigert werden.

Tabelle 2: Lebensdauer der Paletten in Abhängigkeit der Allokation und Verschleißfaktor der Produkte

Verschleißfaktor	Palettenumläufe (zufällige Allokation)	Palettenumläufe (bedarfsgerechte Allokation)	Prozentualer Unterschied
0,9	12,7	12,8	0,5%
0,8	13,3	13,4	1,1%
<b>0,7</b>	14,2	14,8	<b>4,3%</b>
0,6	15,3	16,8	8,9%
0,5	16,1	18,8	14,2%
0,4	17,2	20,1	14,4%
0,3	18,4	21,5	14,5%
<b>0,2</b>	20,3	25,1	<b>19,2%</b>
<b>0,1</b>	22,3	28,6	<b>22,1%</b>

In Tabelle 3 wird bei einem mittleren Verschleißfaktor von 0,5 die Anzahl der mittleren Durchläufe der Paletten bis zum Defekt der Palette in Abhängigkeit eines fairen Tausches dargestellt. Ein fairer Tausch führt in dem Modell zu einer höheren Lebensdauer der Paletten. Weshalb ein fairer Tausch einen Einfluss auf die Lebenserwartung der Palette hat, lässt sich durch die nachfolgende Auswertung erklären.

Tabelle 3: Lebensdauer der Paletten in Abhängigkeit der Allokation und des Tauschverhaltens

Verschleißfaktor	Verlader	Spediteur/ Empfänger	Palettenumläufe
0,5	Bedarfsgerechte Allokation	Fair	20,3
		Zufällig	18,8

In Abbildung 4 sind die Anzahl der verschiedenen Palettenqualitäten im System in Relation zur Simulationszeit dargestellt. Bei der Variante, in der der Versender eine bedarfsgerechte Allokation vornimmt und der Spediteur/Empfänger fair tauschen, zeigt sich, dass sich bis zum Ende des Simulationslaufs noch Paletten aller Qualitätsklassen im System befinden. Bei der Parametervariation, in der eine bedarfsgerechte Zuteilung vorgenommen wird und der Spediteur/Empfänger zufällig Paletten tauscht, zeigt sich ein anderes Bild. Im System befinden sich bereits ab Tag 400 nur noch C-Paletten. Damit kann der Versender die bedarfsgerechte Zuteilung nicht mehr optimal vornehmen und infolgedessen reduziert sich die Anzahl der Durchläufe der Paletten bis zur Aussortierung.

Die Verifikation und Validierung des Simulationsmodells erfolgte parallel zu dessen Entwicklung. Eingesetzt wurden die Verifikation- und Validierungsarten Animationen und Monitoring, Extremwerttest sowie die Validierung im Dialog mit Experten aus der Praxis im Rahmen der projektbegleitenden Ausschüsse.

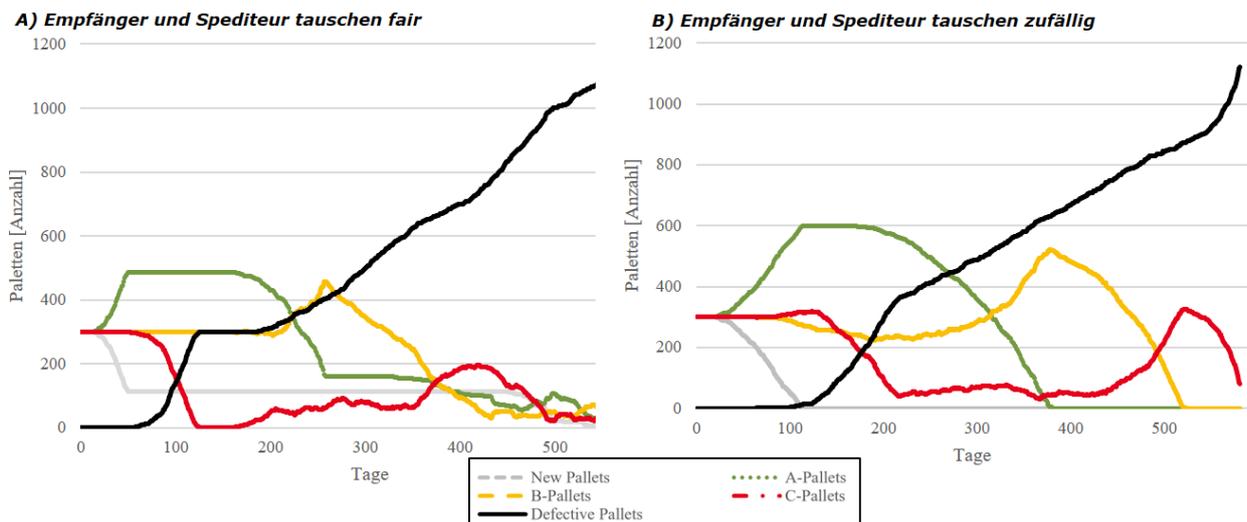


Abbildung 4 Qualität und Quantität der Paletten im Pool in Abhängigkeit von unterschiedlichen Tauschverhalten

### **2.2.3 Arbeitspaket 4 (1): Ableiten der Handlungsempfehlungen**

Die Experimente im Simulationsmodell zeigen, dass durch eine sinnvolle Allokation von Paletten zu Gütern mit verschiedenen Verschleißeigenschaften die Lebensdauer der Paletten erhöht werden kann. Die Kosten für Reparatur und Ersatz können damit reduziert werden, wovon das gesamte Palettentauschsystem profitieren würde. Für die Praxis ist daher eine bedarfsgerechte Allokation empfehlenswert. Hier muss jedoch darauf geachtet werden, dass damit intern keine stark erhöhten Zusatzkosten aufkommen. Die bedarfsgerechte Zuteilung ist letztlich ein Zusatzaufwand für den Verlager, von dem der Verlager keinen unmittelbaren Vorteil hat. Die bedarfsgerechte Zuordnung von Paletten kann in der Werkslogistik zu deutlich höheren Kosten führen, da hier teilweise die Palette vom Rohstoff bis zum Endprodukt die Produktion durchläuft. Für eine Umsetzung sollte dem Verlager auch Anreize gegeben werden, um eine derartige Zuteilung vorzunehmen. Weiterhin müssen bestimmte Verhaltensweisen in der Praxis entgegengewirkt werden, welche eine bedarfsgerechte Zuteilung von Paletten zu Produkten mit unterschiedlichen Verschleißfaktoren verhindern. Im Einzelnen sind dies das fehlende Bewusstsein der Kosten und der weiterführenden Prozesse im Palettenkreislauf, keine entsprechende Schulung der Mitarbeiter sowie keine vorgenommene Sortierung der Paletten nach Qualität.

Zwar kann die bedarfsgerechte Zuordnung einen Beitrag zur Verbesserung des Palettentauschsystems liefern, jedoch gibt es weitere Faktoren, die das System beeinflussen. Ein großes Problem im Palettentausch ist auch der Umgang der Akteure untereinander und die Tendenz, sich selbst zu optimieren und aus dem Palettentausch für sich selbst die Effizienz zu erhöhen. Dies führt dazu, dass so getauscht wird, dass es zum eigenen Vorteil ist. Dieser Umstand lässt sich spieltheoretisch besonders gut darstellen. Dieser spieltheoretischen Betrachtung wird im folgenden Kapitel nachgegangen.

## **2.3 Schwerpunkt 2: Spieltheoretische Betrachtung des Palettentausches**

**Zielsetzung und Ausgangslage:** Palettentauschsysteme sollen Kosten sparen und die Umwelt schonen. Durch eine mitunter subjektive Qualitätsbestimmung, Zeitdruck und gegenläufige Interessen der Akteure gestaltet sich ein Tausch Zug-um-Zug in der Praxis aber oft schwierig. Insbesondere der Tausch von hochwertigen Paletten gegen qualitativ minderwertige Paletten ist ein großer Diskussionspunkt. Einzelne Akteure können mit opportunistischen Tauschverhalten die Kosten für Reparatur bzw. Ersatz an die jeweiligen Tauschpartner übertragen. Geschieht dies in großem Umfang, entstehen für einzelne Akteure teils immense Zusatzkosten.

Jeder Akteur im Palettentausch möchte in der Regel die Kosten hierfür so gering wie möglich halten. Dieses individuelle Verhalten beim Palettentausch lässt sich dabei spieltheoretisch untersuchen. Die Spieltheorie beschäftigt sich mit Entscheidungssituationen, in denen das Ergebnis für einen Entscheider nicht nur von seinen eigenen Entscheidungen abhängt, sondern auch von den Entscheidungen der anderen Akteure. In den Entscheidungssituationen sind die Spieler rational und verfolgen ihre eigenen Interessen. Ziel ist es zu zeigen, inwieweit opportunistisches Tauschverhalten eines einzelnen Akteurs die Kosten der anderen Akteure beeinflusst.

**Vorgehen:** Für den Palettentausch wurde zunächst ein spieltheoretisches Modell erstellt. Darin tauschen die Akteure Versender, Spediteur und Empfänger untereinander Paletten (Kölner Palettentausch). Ihr Tauschverhalten wird dabei in die Kategorien „kooperativ“ und „nicht-kooperativ“ eingeteilt. Das spieltheoretische Modell wurde in ein agentenbasiertes Simulationsmodell überführt. Mit Hilfe dessen konnten verschiedene Strategien der Akteure sowie Mechanismen (Kontrollen in Kombination mit Tauschgebühren) untersucht werden. Die Umsetzung in das spieltheoretische Modell sowie die Implementierung in das Simulationsmodell wurden gemeinsam mit den Praxispartnern aus den Projektbegleitenden Ausschuss diskutiert und validiert. Gleiches gilt für die Analysen der Simulationsexperimente.

### **2.3.1 Arbeitspaket 2 (2): Entwicklung eines agenten-basierten Simulationsmodells**

Die Spieltheorie beschäftigt sich grundsätzlich mit Entscheidungssituationen, in denen das Ergebnis für einen Entscheider nicht nur von den eigenen Entscheidungen abhängt, sondern auch von den Entscheidungen der anderen Akteure (Bartholomae und Wiens 2016). Somit eignen sich die spieltheoretischen Ansätze besonders gut für den Palettentausch, wo die einzelnen Akteure zwar selbst entscheiden, welche Paletten in welcher Qualität sie übergeben, jedoch das Ergebnis des Tausches ebenfalls wesentlich vom Tauschpartner bzw. von den zurückgegebenen Paletten abhängt. Die Besonderheit in der spieltheoretischen Modellierung des

Palettentausches besteht in der Dreieckstauschstruktur aus den beteiligten Akteuren Versender, Spediteur und Empfänger. Der Versender erhält Paletten vom Spediteur und übergibt die eigenen Paletten (mit Waren) an den Empfänger. Der Empfänger wiederum übergibt Paletten an den Spediteur. Damit ist der Tauschpartner, dem ein Akteur die Paletten übergibt, nicht derjenige, von dem dieser Paletten zurückerhält.

Für die simulationsbasierte Betrachtung des Palettentauschs müssen verschiedene Mechanismen berücksichtigt werden, die einen direkten oder indirekten Einfluss auf die Zielgröße des Modells (Kosten der Akteure) besitzen. Hierbei handelt es sich um die Zufriedenheitsstufe der Akteure gegenüber dem Tauschpartner, der Durchführung von Palettenkontrollen, Neubeschaffung/Reparatur von Paletten, der Erhebung von Tauschgebühren und der gewählten spieltheoretischen Tauschstrategie. Auf die einzelnen Mechanismen wird folgend kurz eingegangen:

**Zufriedenheitsstufe:** Die Zufriedenheitsstufe der Akteure gibt an, wie das Tauschverhalten des Mitspielers gewertet wird. Erhält ein Akteur stets qualitativ geringwertige Paletten vom Tauschpartner sinkt dieser Wert, wohingegen er steigt, wenn qualitativ hochwertige Paletten im Tausch zurückerhalten werden. Einen besonders starken negativen Einfluss auf die Zufriedenheitsstufe hat dabei der Tausch von defekten Paletten und damit eigentlich nicht mehr tauschfähigen Paletten. Bei einer geringen Zufriedenheit können Tauschgebühren gefordert werden (siehe unten Abschnitt Tauschgebühren).

**Palettenkontrollen:** Bei der Palettenkontrolle wird die Qualität bzw. Zustand der Palette subjektiv bewertet. Hierbei ist einerseits die Wahrscheinlichkeit, mit der die Tauschpaletten kontrolliert werden, sowie andererseits die Genauigkeit, mit denen die tatsächlichen Werte der Paletten korrekt geschätzt werden, von entscheidender Bedeutung. Die Kontrollen haben damit auch einen Einfluss auf die zuvor beschriebene Zufriedenheitsstufe. Sofern keine Kontrolle durchgeführt wird, werden die Paletten als gut eingeschätzt und der Tausch des Mitspielers damit als kooperativ gewertet.

**Palettenneubeschaffungen und -reparaturen:** Um den Tausch zwischen den Akteuren zu ermöglichen, müssen die einzelnen Teilnehmer stets genügend tauschfähige Paletten zur Verfügung haben. Bei zu geringem Palettenbestand oder zu geringem Qualitätsdurchschnittswert des Palettenbestandes (entspricht vielen Paletten mit schlechter Qualität), können neue Paletten gekauft werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, defekte Paletten wieder zu reparieren und tauschfähig zu machen. Die Paletten im Modell sind dabei so implementiert, dass die Klassifikation der Paletten (Neu, A, B, C) sich nicht ändert, sondern die Paletten lediglich als defekt kategorisiert wird. Dies bedeutet, dass eine defekte B-Palette nach der Reparatur eine reguläre B-Palette wird. Eine Ausnahme bilden defekte Neu-Paletten, nach einer Reparatur

können diese nur als A-Paletten klassifiziert werden. Ein Aufstieg in eine höhere Qualität wird durch eine Reparatur damit nicht möglich. Sowohl die Neubeschaffung als auch die Reparatur sind dabei mit Kosten versehen. Die verschiedenen Zustände, die eine Paletten in ihrem Lebenszyklus annehmen kann, werden in Abbildung 5 dargestellt.

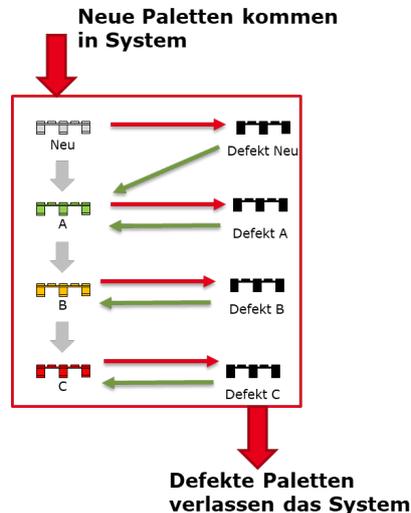


Abbildung 5: Lebenszyklus der Paletten

**Tauschgebühren:** Tauschgebühren können eingefordert werden, wenn über einen längeren Zeitraum ein Akteur beim Palettentausch benachteiligt wird (Erhalt schlechter Paletten, Herausgabe guter Paletten) und die Zufriedenheitsstufe durch diesen Umstand gering ist. Die vertragliche Konstellation der drei Akteure ist hierbei jedoch zu beachten: Nicht jeder Akteur steht mit jedem anderen in einer vertraglichen Beziehung. Zwischen dem Spediteur und dem Versender existiert eine Vertragsbeziehung, ebenso zwischen dem Versender und dem Empfänger. Jedoch haben Spediteur und Empfänger keine vertragliche Grundlage, womit die Einführung bzw. Forderung von Tauschgebühren nicht einfach umzusetzen ist. Sofern der Spediteur mit dem Tauschverhalten des Empfängers nicht zufrieden ist, kann dieser sich nicht direkt an diesen wenden, sondern muss an den eigenen Vertragspartner (Versender) herantreten (siehe Abbildung 6). Im Simulationsmodell kann der Verloader dann abhängig von der eigenen Zufriedenheitsstufe (gegenüber dem Spediteur) einen Anteil an der geforderten Gebühr übernehmen und den Rest vom Empfänger einfordern.

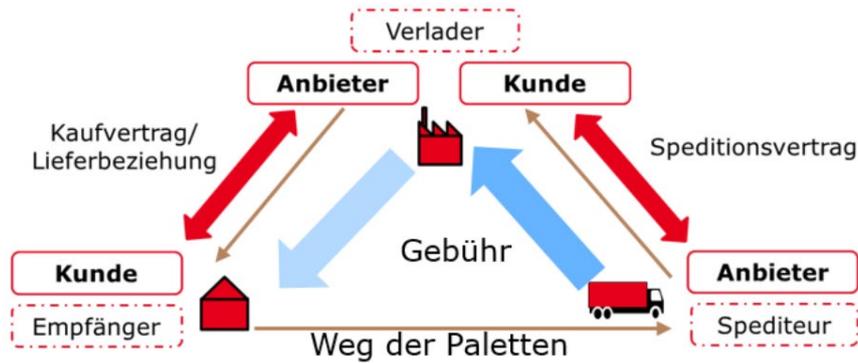


Abbildung 6: Vertragskonstellationen der Akteure

**Tauschstrategien:** In spieltheoretischen Modellen (z.B. Gefangendilemma) wird häufig zwischen einem kooperativen oder nicht-kooperativen Zug unterschieden. Die verschiedenen Spielstrategien, die ein Akteur nutzen kann, basieren in der Regel auf diesen beiden Optionen. Die Herausforderung bestand darin, das Tauschverhalten der Akteure beim Palettentausch in die Kategorien kooperativ und nicht-kooperativ einzuteilen. Ein Tausch wird im Rahmen der Modellierung als kooperativ bewertet, wenn die Durchschnittsqualität aller in dem Zug erhaltenen Paletten über einer definierten Grenze liegt. Diese definierte Grenze kann dabei variabel eingestellt werden. Der Hintergrund dafür ist, dass je nach Industrie bzw. Handelsbranche unterschiedliche Palettenqualitäten gefordert werden. So sind in der Baustoffindustrie beispielsweise keine neuen oder A Paletten notwendig, in der Pharmabranche jedoch schon. Wählt damit ein Akteur einen kooperativen Spielzug, stellt dieser die Paletten so zusammen, dass die Durchschnittsqualität über der (branchenspezifischen) Grenze liegt. Möchte der Akteur einen nicht-kooperativen Spielzug durchführen, werden analog Paletten ausgewählt, die unter der Grenze liegen. Sofern Kontrollen durchgeführt werden (siehe Abschnitt oben), wird sich hier ebenfalls an dieser Grenze orientiert und der Spielzug des Mitspielers wird entsprechend (mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit) als kooperativ oder nicht-kooperativ klassifiziert. Weiterhin kann eine Spielstrategie den Zug des Mitspielers miteinbeziehen und (je nachdem wie gespielt wurde) mit dem gleichen Zug reagieren.

Neben der Möglichkeit stets kooperativ oder nicht kooperativ zu spielen, stehen den Akteuren im Modell verschiedene Spielstrategien zur Verfügung, die auf den beiden Kategorien basieren und zum Teil auch abhängig vom Spielzug des Mitspielers sind. In Tabelle 4 finden sich hierzu entsprechende Strategien aus der Spieltheorie (Beaufils et al. 1997).

Tabelle 4: Mögliche Spielstrategien

Strategie		Beschreibung	
Kooperative Strategien	<b>Per Kind</b>	Spielt periodisch <b>Kooperativ</b> → <b>Kooperativ</b> → <b>Nicht-Kooperativ</b>	(vom Mitspieler) Abhängige Strategien
	<b>Tit-For-Two-Tat</b>	Spielt <b>Kooperativ</b> im ersten Zug, reagiert nach zweimaligem Nicht-Kooperativen Spielzug vom Mitspieler mit <b>Nicht-Kooperativ</b>	
	<b>Tit-For-Tat</b>	Spielt <b>Kooperativ</b> im ersten Zug, kopiert anschließend den letzten Zug des Mitspielers	
	<b>Zufällig</b>	Spielt rein zufällig <b>Kooperativ</b> oder <b>Nicht-Kooperativ</b>	
Nicht-Kooperative Strategien	<b>Gradual</b>	Spielt <b>Kooperativ</b> bis der Mitspieler das erstmals <b>Nicht-Kooperativ</b> spielt. Spielt danach ein Mal <b>Nicht-Kooperativ</b> . Spielt dann zwei Mal <b>Kooperativ</b> . Wenn der Mitspieler wieder Nicht-Kooperativ, reagiert diese Strategie mit zwei Mal <b>Nicht-Kooperativ</b> usw.	(vom Mitspieler) Abhängige Strategien
	<b>Spite</b>	Spielt <b>Kooperativ</b> bis der Mitspieler das erstmals <b>Nicht-Kooperativ</b> spielt, im Anschluss spielt er immer <b>Nicht-Kooperativ</b>	
	<b>Mistrust</b>	Spielt <b>Nicht-Kooperativ</b> im ersten Zug, kopiert anschließend den letzten Zug des Mitspielers.	
	<b>Per Nasty</b>	Spielt periodisch <b>Nicht-Kooperativ</b> → <b>Nicht-Kooperativ</b> → <b>Kooperativ</b>	

Abbildung 7 zeigt die Startmaske der Simulation mit den verschiedenen einstellbaren Parametern. Zunächst werden allgemeine Kostenfaktoren berücksichtigt. Einen wesentlichen Anteil an den Kosten hat naturgemäß die Menge an Paletten, die zwischen den Akteuren getauscht wird. Ebenfalls haben unterschiedliche Produkte einen unterschiedlich hohen Einfluss darauf, wie schnell eine Palette verschleißt (siehe Abschnitt 2.2.). Der Bedarf der Palettenqualität legt die Grenze der Durchschnittsqualität fest, ab welcher ein Zug als kooperativ gewertet wird. Des Weiteren kann eingestellt werden, inwieweit sich der Verlager bereiterklärt, die vom Spediteur an den Empfänger gerichtete Tauschgebühr zu übernehmen. Zuletzt sind bei den allgemeinen Faktoren noch der Kaufpreis einer neuen Palette sowie die Reparaturkosten konfigurierbar. Bei den aktorenspezifischen Kostenfaktoren können individuelle Kosten für Schwund oder Administration mitaufgeführt werden. Der Spediteur kann außerdem Kosten für zusätzliche Fahrten (aufgrund nachgelagerter Tausche) angeben. Bei den Tauschstrategien können die verschiedenen Spielstrategien ausgewählt werden und bei der Kontrollstrategie wird festgelegt, wie häufig und genau kontrolliert werden soll sowie wie hoch die Kosten hierfür sind. Als letztes kann noch festgelegt werden, ob und in welcher Höhe eine Tauschgebühr bei ungleicher Kostenverteilung verlangt werden soll.

**SUPa Spieltheoretische Betrachtung**

Allgemeine Kostenaktoren	Akteurspezifische Kostenfaktoren	Tauschstrategien																																																																		
Anzahl palletierter Ladeeinheiten pro Lieferung <input type="text"/> Anzahl Lieferungen pro Jahr <input type="text"/> Verschleißfaktor der Güter <input type="text"/> Bedarf Palettenqualität (Branche) <input type="text"/> Übernahme Tauschgebühr (Verlader) <input type="text"/> Kaufpreis neue Palette [€] <input type="text"/> Reparaturkosten [€ pro Palette] <input type="text"/>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f00; color: white;"> <th style="width: 33%;">Verlader</th> <th style="width: 33%;">Spediteur</th> <th style="width: 33%;">Empfänger</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3"><b>Bestandskosten</b></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Durchschnittlicher Bestand an Leerpaletten</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Lagekosten pro Palette [€]</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Kosten für nachgelagerten Tausch</b></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Häufigkeit nachgelagerter Tausch [%]</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Zusatzege für Rückführung pro Palette [€m]</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Kosten für Palettensortierung [€]</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Schwund pro Jahr [%]</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Jährliche Administrationskosten [€]</td> </tr> </tbody> </table>	Verlader	Spediteur	Empfänger	<b>Bestandskosten</b>			Durchschnittlicher Bestand an Leerpaletten			Lagekosten pro Palette [€]			<b>Kosten für nachgelagerten Tausch</b>			Häufigkeit nachgelagerter Tausch [%]			Zusatzege für Rückführung pro Palette [€m]			Kosten für Palettensortierung [€]			Schwund pro Jahr [%]			Jährliche Administrationskosten [€]			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f00; color: white;"> <th style="width: 33%;">Tauschverhalten</th> <th style="width: 33%;">Reaktion auf Partner</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verlader <input type="text"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Spediteur <input type="text"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Empfänger <input type="text"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f00; color: white;"> <th colspan="4">Kontrollstrategie (Palettenqualität)</th> </tr> <tr style="background-color: #f00; color: white;"> <th style="width: 33%;">Verlader</th> <th style="width: 33%;">Spediteur</th> <th style="width: 33%;">Empfänger</th> <th style="width: 33%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kontrollhäufigkeit [%]</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Kontrollgenauigkeit [%]</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Kontrollkosten [€]</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Strafgebühren fordern</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Höhe Tauschgebühren</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;"> <input type="button" value="Start"/> </div>	Tauschverhalten	Reaktion auf Partner	Verlader <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Spediteur <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Empfänger <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Kontrollstrategie (Palettenqualität)				Verlader	Spediteur	Empfänger		Kontrollhäufigkeit [%]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Kontrollgenauigkeit [%]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Kontrollkosten [€]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Strafgebühren fordern	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Höhe Tauschgebühren	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Verlader	Spediteur	Empfänger																																																																		
<b>Bestandskosten</b>																																																																				
Durchschnittlicher Bestand an Leerpaletten																																																																				
Lagekosten pro Palette [€]																																																																				
<b>Kosten für nachgelagerten Tausch</b>																																																																				
Häufigkeit nachgelagerter Tausch [%]																																																																				
Zusatzege für Rückführung pro Palette [€m]																																																																				
Kosten für Palettensortierung [€]																																																																				
Schwund pro Jahr [%]																																																																				
Jährliche Administrationskosten [€]																																																																				
Tauschverhalten	Reaktion auf Partner																																																																			
Verlader <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																			
Spediteur <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																			
Empfänger <input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																			
Kontrollstrategie (Palettenqualität)																																																																				
Verlader	Spediteur	Empfänger																																																																		
Kontrollhäufigkeit [%]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																																																	
Kontrollgenauigkeit [%]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																																																	
Kontrollkosten [€]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																																																	
Strafgebühren fordern	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																	
Höhe Tauschgebühren	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																																																	



Abbildung 7: Startmaske des Simulationsmodells

### 2.3.2 Arbeitspaket 3 (2): Durchführung der Simulation, Analyse und Validierung der Ergebnisse

Die Auswertungen verschiedener Simulationsläufe ergibt, dass die gewählte Strategie einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten und deren Verteilung zwischen den einzelnen Akteuren im Palettentausch aufweist. Relevant sind dabei nicht die konkreten Zahlenwerte, da diese von vielen Faktoren wie z.B. die Menge an Tauschvorgängen abhängig ist. Entscheidend ist das Verhältnis der Kosten der Akteure zueinander.

Wählen alle Akteure die Paletten für den Einsatz im Tauschsystem zufällig aus, so sind die Kosten für alle Akteure gleich hoch. Sofern ein Akteur nicht mehr zufällig spielt, sondern eine nicht-kooperative Strategie (z.B. per Nasty) wählt, können die Kosten im Vergleich zu den anderen Tauschpartnern deutlich reduziert werden (siehe Abbildung 8). Ohne Tauschgebühren fehlen den Akteuren aus Sicht der Spieltheorie Anreize sich gegen eine effiziente nicht-kooperative zu entscheiden.

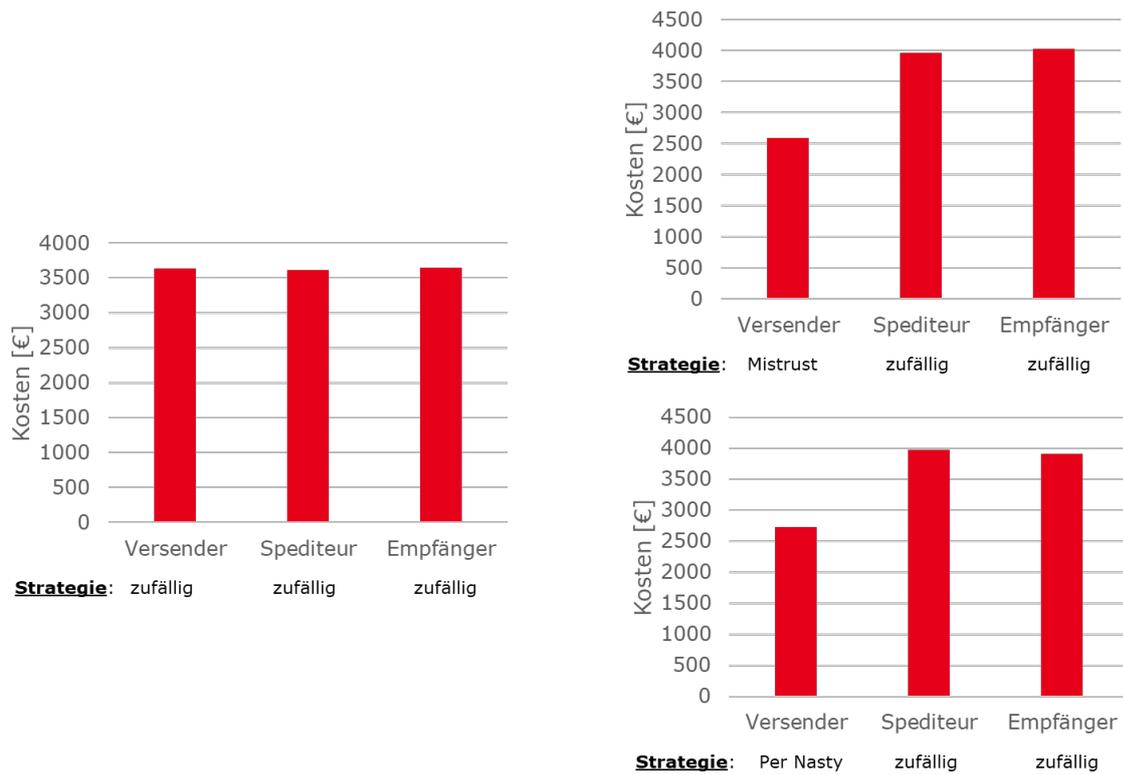


Abbildung 8: Auswirkungen unkooperativen Spielstrategien

Kooperative Strategien schneiden im Vergleich schlechter ab (siehe Abbildung 9). Ein Akteur, welcher die Strategie per Kind ausgewählt hat, hat im Verhältnis zu den anderen Akteuren, die zufällig spielen, höhere Kosten zu erwarten. Jedoch zeigt sich, dass auch kooperative Strategien erfolgreich sein können, wenn die das Tauschverhalten des Tauschpartners miteinbezieht. Bei der Tit-For-Tat wird zu Beginn kooperativ gespielt und daraufhin der Spielzug des Mitspielers kopiert. Damit reagiert der Akteur bei nicht-kooperativen Verhaltensweisen ebenfalls mit einem nicht-kooperativen Zug.

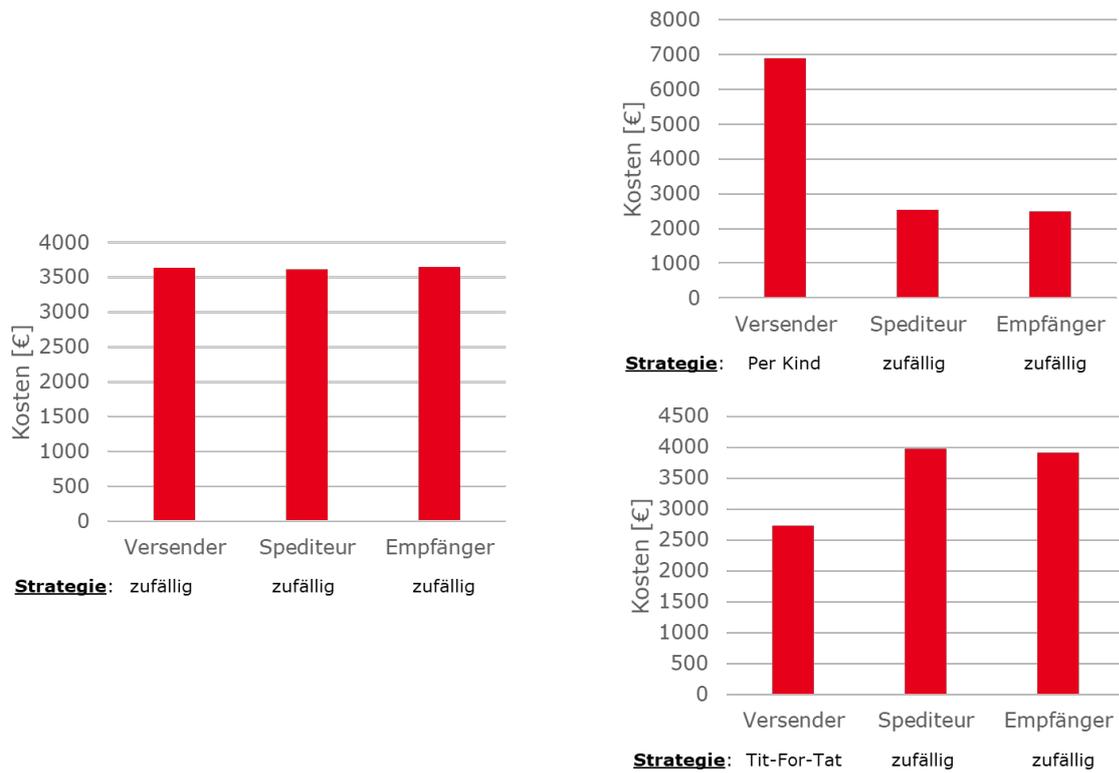


Abbildung 9: Auswirkungen kooperativen Spielstrategien

Im vorherigen Kapitel wurden bereits Tauschgebühren als Mechanismus erläutert, um die Kostenverteilung zwischen den Akteuren fairer bzw. gleichmäßig zu verteilen. In den Simulationsexperimenten konnte gezeigt werden, dass die Einführung einer Tauschgebühr in entsprechender Höhe tatsächlich zu einer Kostenangleichung führen kann. In Abbildung 10 hat der Verloader aufgrund der gewählten Strategie einen Kostenvorteil gegenüber den Mitspielern. Mit Einführung der Tauschgebühr nähern sich die Kosten für die Akteure wieder an. Die Höhe der Tauschgebühr kann dabei jedoch nicht fest vorgegeben werden, sondern ist abhängig von den spezifischen Rahmenbedingungen des untersuchten Szenarios.

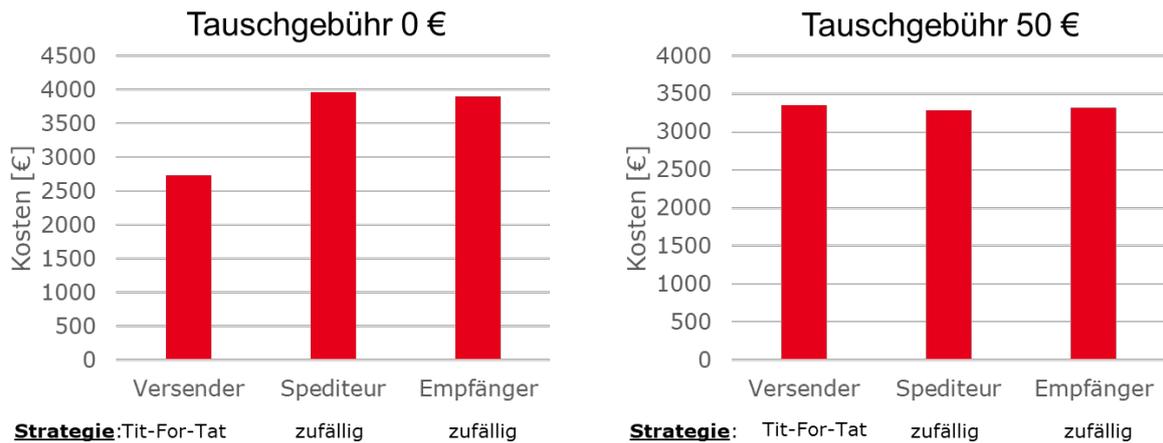


Abbildung 10: Auswirkung Tauschgebühr (Versender)

Die Einführung einer Tauschgebühr hat jedoch nicht in allen untersuchten Konstellationen zu einer fairen Kostenverteilung geführt. Wenn der Empfänger aufgrund der gewählten Strategie im Vorteil ist, kann auch mittels Tauschgebühr keine gleichmäßige Kostenverteilung erzielt werden (siehe Abbildung 11). Die liegt darin begründet, dass aufgrund der Dreieckstauschkonstellation der Spediteur keine Tauschgebühr direkt durchsetzen kann, sondern an den Versender herantreten muss.

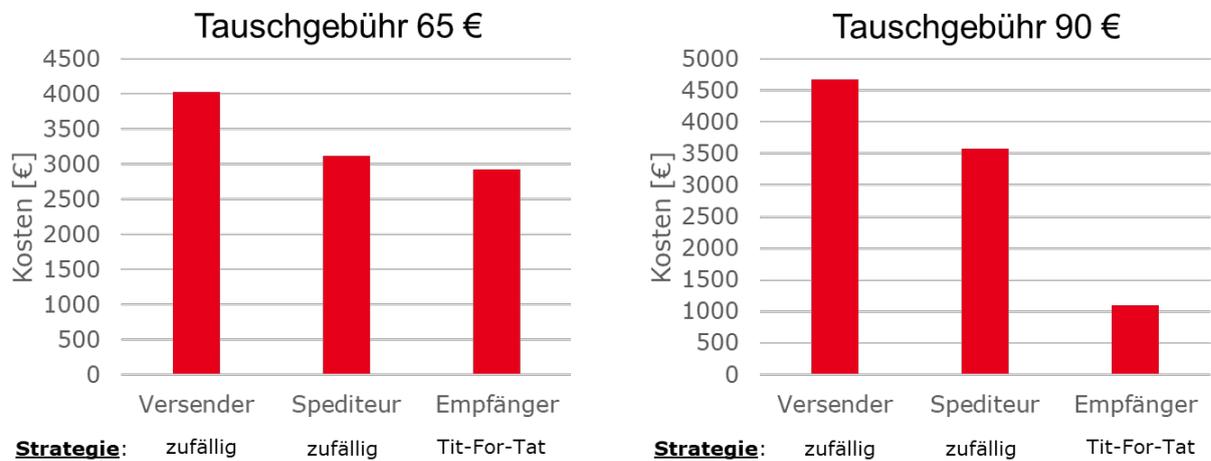


Abbildung 11: Auswirkung Tauschgebühr (Empfänger)

### **2.3.3 Arbeitspaket 4 (2): Ableiten der Handlungsempfehlungen**

Die spieltheoretischen Untersuchungen konnten Erkenntnisse bezüglich des akteursspezifischen Verhaltens beim Palettentausch erzielen. Es kann nachvollzogen werden wie sich die Kosten aufteilen, wenn Akteure eine unkooperative Tauschstrategie verfolgen. Die Einführung einer Tauschgebühr kann in bestimmten Situationen für eine fairere Kostenverteilung sorgen; jedoch nicht, wenn der Empfänger schon vor Einführen einer Tauschgebühr im Vorteil war. Eine Tauschgebühr ist damit nicht immer ein geeigneter Mechanismus, um die Kosten gleichmäßig aufzuteilen. Auch aus der Diskussion im Projektbegleitenden Ausschuss ergab sich, dass die Praxis einer Tauschgebühr kritisch gegenübersteht. Weder Vertreter von Handels- und Industrieunternehmen, welche die Rolle als Versender oder Empfänger einnehmen, noch Vertreter von Speditionen hatten Interesse an der Einführung von Tauschgebühren.

Die Möglichkeit mithilfe des Simulationsmodells die Kosten für den Palettentausch transparent darstellen zu können, ist jedoch für die Praxis ein nützliches Werkzeug. Hiermit können durch Angaben weiterer akteursspezifischer Kostenfaktoren, wie zum Beispiel der Anzahl getauschter Paletten pro Jahr oder der tagesaktuellen Kosten für neue Paletten, die Kosten für den Palettentausch in Abhängigkeit der jeweiligen Tauschverhalten quantifiziert werden. Durch die Darstellung der Kosten für die einzelnen Akteure wird es beispielsweise für den Spediteur möglich, die Kosten des Palettentausches transparent bei Vertragsschluss darzustellen und einzupreisen. Das Simulationsmodell wurde angepasst, um es öffentlich zugänglich zu machen (siehe Kapitel 5).

## 2.4 Schwerpunkt 3: Akteursübergreifende Palettentausch-Plattform

**Zielsetzung und Ausgangslage:** Im 2. Schwerpunkt lag der Fokus auf einer spieltheoretischen Betrachtung einer langfristigen Tauschbeziehung zwischen drei Akteuren. In der Praxis gibt es jedoch auch häufig einmalige Lieferbeziehungen, bei denen die Palettentauschakteure sich nicht kennen. Ziel war es auch für solche Konstellation Verbesserungen im Palettentausch zu erreichen. Um die einzelnen Akteure miteinander zu verbinden, können für alle interessierten Unternehmen offene, digitale Plattformen eingesetzt werden. Diese können dabei helfen Informationen zwischen den verschiedenen Akteuren auszutauschen (auch ohne vorherige Beziehungen) und damit die kooperative Zusammenarbeit im Rahmen des Palettentausches zu verbessern. Die Zielsetzung im Projekt bestand darin, eine solche Plattform zu konzipieren und deren Potential zu bewerten.

**Vorgehen:** Zunächst wurde ein konzeptionelles Modell der akteursübergreifenden Plattform entworfen, bevor diese in einem erstem agentenbasierten Simulationsmodell umgesetzt wurde. Die Simulation ist hier besonders geeignet, da sich damit technische Konzepte gut bewerten und miteinander vergleichen lassen können, ohne dass eine reale Umsetzung existiert. In dem ersten Modell lag der Fokus auf dem Spediteur, da dieser im aktuellen Palettentauschsystem meist die größten Kosten zu tragen hat (Lange und Hoffmann 2009). Nachdem hier die Vorteile der akteursübergreifenden Plattform bewiesen werden konnten, wurde das Simulationsmodell erweitert, um ebenfalls die Vorteile für den Versender und Empfänger herauszuarbeiten. Im Zuge der Erweiterung wurde der Plattform eine weitere Funktion hinzugefügt, womit sie als zentrale Planungsinstanz agieren und den Leerpalettenfluss zwischen den Akteuren steuern kann. Hierfür musste zusätzlich ein Optimierungsmodell erstellt werden.

### **2.4.1 Arbeitspaket 2 (3): Entwicklung eines agenten-basierten Simulationsmodells**

Die Entwicklung des agentenbasierten Modells für eine akteursübergreifende Palettentauschplattform wurde in zwei Schritten durchgeführt. Zunächst wurde ein Modell erstellt, welchen den Spediteur im Fokus hat. Aus der Recherche sowie den bisherigen Analysen ging hervor, dass diese besonders häufig im Palettentausch benachteiligt sind. Als sich für die Plattform ein hohes Verbesserungspotential für den Spediteur ergab, wurde das Modell in einem zweiten Schritt erweitert.

#### **Basismodell mit Fokus auf den Spediteur**

Zunächst wird das Potential einer akteursübergreifenden Palettentauschplattform auf die Spediteure gelegt. Diese bringen vielfach eigene Paletten ein und nehmen im Palettentauschsystem eine Schlüsselrolle ein. Sie stellen den Versendern Leerpaletten bereit und erhalten von dem Empfänger der Waren Leerpaletten zurück. Sie übernehmen damit die Versorgung und Rückführung der Paletten. Da vielfach nachgelagerte Tausche stattfinden, muss der Spediteur häufig Umwege fahren, um neue Paletten zu erwerben oder geschuldete Leerpaletten auf zusätzlichen Touren einzusammeln. Um den administrativen Aufwand zu reduzieren, gibt es hierbei bereits erste Plattformen, in welchen die Akteure ihre Palettenkonten (Schulden und Verbindlichkeiten) führen können (Wild 2015). In Deutschland ist hier ein Beispiel das von GS1 ins Leben gerufenen Projekt Blockchain (GS1). Dieser Ansatz wurde im Projekt erweitert, sodass bilaterale Palettenschulden in Schulden gegenüber der Plattform bzw. dem System überführt werden können. Eine derartige Anspruchsübertragung hätte den Vorteil, dass Paletten nicht zwingend beim ursprünglichen Tauschpartner eingefordert und abgeholt werden müssen, sondern auch bei anderen Netzwerkteilnehmern, die ebenfalls Schulden gegenüber dem System aufweisen. Dies hätte den Vorteil, dass Paletten von Spediteuren auf regulären Stopps beim Kunden mitgenommen werden können, statt speziell bestimmte Akteure anzufahren und dabei weite Distanzen zurückzulegen, um die Leerpaletten einzusammeln. In der Praxis werden hierfür sogar häufig Rundtouren gefahren, nur um Leerpaletten einzusammeln. Das System, in dem eine Anspruchsübertragung möglich ist, bietet daher Potentiale, Transportstrecken für das Palettenmanagement einzusparen.

Die zentralen Akteure des Simulationsmodells sind wieder Spediteur, Versender und Empfänger, welche ein gemeinsames Netzwerk im Simulationsmodell bilden (siehe Abbildung 13). Die Empfänger bestellen Ware beim Versender. Der Versender beauftragt daraufhin einen Spediteur, welcher die Ware zum Empfänger transportieren soll. Die Güter werden dabei vom Versender auf Paletten bereitgestellt. Wenn der Spediteur die palettierte Ware abholt, übergibt er dem Versender Leerpaletten in entsprechender Anzahl. Der Spediteur transportiert dann die Ware

zum Kunden bzw. zu den Kunden und gibt die Ware dort ab. Dafür werden Auslieferungstouren geplant und durchgeführt. Vom Kunden erhält der Spediteur die entsprechende Anzahl zurück. Wenn der Empfänger keine entsprechende Anzahl an Leerpalletten dem Spediteur übergeben wird, wird dies Palettenkonten festgehalten, die jeweiligen Palettschulden und Pallettenforderungen festhalten. Der Spediteur kann die Palettschulden dann zu einem späteren Zeitpunkt einfordern. Einen weiteren Akteur stellt der Paletten-Händler dar. Wenn der Spediteur neue Paletten benötigt, kann er diese bei einem Paletten-Händler erwerben und abholen. Dies geschieht entweder, wenn der Spediteur nicht mehr genügend Leerpalletten zur Verfügung hat, um den nächsten Auftrag durchzuführen oder die Qualität seiner Paletten im Bestand unter einen kritischen Wert fällt. Die Paletten, welche ebenfalls als Agent modelliert sind, nutzen sich während der Transportprozesse ab. Nach 12 durchschnittlich Umläufen, was 36 Tauschvorgängen entspricht, gehen sie kaputt und können nicht mehr verwendet werden.

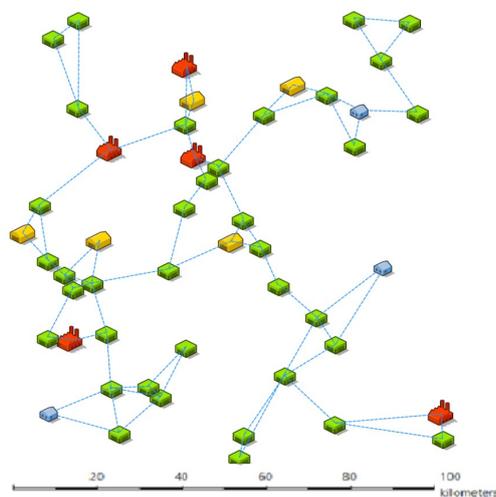


Abbildung 12: Netzwerk der Akteure

Für die erste Untersuchung einer akteursübergreifenden Palettentauschplattform wurden im Simulationsmodell zwei verschiedene Szenarien untersucht (siehe Abbildung 13). Das erste stellt das Referenzszenario dar, in welchem die Prozesse des Palettentausches ohne Plattform durchgeführt werden, wie dies in der Regel in der Praxis der Fall ist. Die entstehenden Palettenforderungen und -schulden werden bilateral zwischen den Tauschpartnern festgehalten, sofern ein Zug-um-Zug-Tausch nicht vor Ort durchgeführt werden kann. Dies bedeutet, dass auch der nachgelagerte Austausch von Leerpalletten bilateral zwischen diesen stattfinden muss. Auf regulären Touren des Spediteurs wird daher geprüft, ob der aktuelle Empfänger noch Palettschulden gegenüber dem Spediteur hat. Wenn der Empfänger Schulden beim Spediteur hat, kann dieser die zusätzlich geschuldeten Paletten zurückerhalten. Sofern der Spediteur kurzfristig weitere Leerpalletten benötigt, muss dieser entweder eine Extratour planen, in welcher

dieser in einer Rundtour verschiedene Schuldner anfährt oder neue Paletten bei einem Händler kaufen.

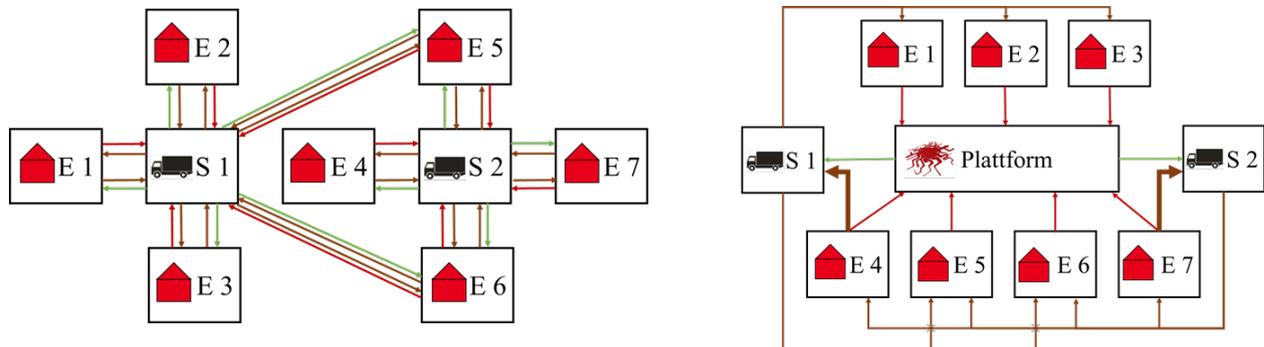


Abbildung 13: Vergleich des bilateralen Schuldenausgleichs (links) und des Balancierens über die Plattform (rechts)

Im Szenario mit einer digitalen, aktorsübergreifenden Plattform werden die Palettenforderungen und –schulden multilateral festgehalten und dabei an die Plattform übertragen (Anspruchsübertragung). Die Forderungen und Verbindlichkeiten werden zu dem aktuellen Saldo der Teilnehmer hinzugefügt oder abgezogen. Das bedeutet, dass für jeden Teilnehmer nur eine saldierte Gesamtanzahl hinterlegt ist, die dem System geschuldet werden bzw. die das System dem Akteur schuldet. Sofern der aktuelle Kunde genügend Leerpaletten zur Verfügung hat, wird geprüft, ob der Spediteur weitere Leerpaletten (neben den Tauschpaletten für die aktuelle Auslieferung) mitnehmen kann. Hier unterscheiden sich die beiden Szenarien wesentlich voneinander. Im Referenzszenario werden zusätzliche Leerpaletten nur mitgenommen, wenn der Spediteur noch Forderungen gegenüber dem spezifischen Kunden aufweist. In Szenario mit der Plattform hingegen können immer zusätzliche Leerpaletten mitgenommen werden, wenn der Spediteur Forderungen gegenüber dem System hat und gleichzeitig der Kunde Schulden gegenüber dem System hat unabhängig davon, ob der Spediteur vorher mit diesem Kunden interagiert hat. Nachdem alle Kunden angefahren wurden, fährt der LKW des Spediteurs zurück in das Depot.

### **Modellerweiterung um zentrale Planungsinstanz**

Das Basismodell hat den Fokus auf den Spediteur gelegt, in der Modellerweiterung werden nun auch die Versender und Empfänger stärker betrachtet. Die Versender und Empfänger werden hier als Unternehmen zusammengefasst und können beide Funktionen annehmen. Ob ein Unternehmen die Rolle des Empfängers oder des Spediteurs einnimmt, wird dynamisch im

Modell festgelegt. Weiterhin werden die Formen des Palettenmanagements erweitert. Im Basismodell haben die Spediteure eigene Paletten miteingebracht, womit ein Doppeltausch (Kölner Palettentausch) durchgeführt wird. In der Modelerweiterung wird ebenfalls die Form betrachtet, in der der Spediteur keine eigenen Paletten einbringt. Das bedeutet, dass der Spediteur dem Versender zu Beginn der Tour keine Leerpaletten übergibt und dafür die Leerpaletten, die dem Spediteur vom Versender übergeben werden, dem Versender zurückbringen muss. Hier wird von einem einfachen Tausch mit Rückführung oder Bonner Palettentausch gesprochen. Die dritte Form beschreibt den Verkauf der Waren mit der Palette als Verpackungsmaterial. Hier findet kein Tausch statt und es entstehen keine Schuldverhältnisse, jedoch kommen so stetig neuen Paletten in das System.

Bei den modellierten Tauschprozessen können somit Schulden und Verbindlichkeiten zwischen allen Akteuren (Spediteuren, Verladern und Empfängern) auftreten. Die möglichen Schuldverhältnisse werden in Tabelle 5 dargestellt. So entsteht beim Kölner Palettentausch ein Schuldverhältnis zwischen Spediteur und Empfänger, wenn nicht Zug-um-Zug getauscht werden kann. Beim Bonner Palettentausch können Schuldverhältnisse sowohl zwischen Spediteur und Versender als auch zwischen Empfänger und Versender entstehen:

Tabelle 5: Mögliche Schuldverhältnisse

Form Palettenmanagement	Schuldenbeziehungen Zug um Zug (50%*)	Schuldenbeziehungen Nachgelagert (50%*)
Doppeltausch (Kölner Tausch)	-	Spediteur <-> Empfänger
Einfacher Tausch mit Rückführung (Bonner Tausch)	Spediteur <-> Versender	Versender <-> Empfänger
Verkauf der Paletten	-	-

Die größte Änderung zum Basismodell betrifft jedoch die Erweiterung der Palettentauschplattform. Wie im Basismodell werden die Ansprüche (Schulden und Forderungen) an die Plattform übergeben, jedoch übernimmt diese auch noch zusätzlich die Funktion einer zentralen Planungsinstanz. Damit kann die Kooperation zwischen den Akteuren transportkettenübergreifend ermöglicht werden. Mithilfe der von den Spediteuren festgelegten Routen plant die Plattform im Sinne einer zentralen Instanz den Fluss von zusätzlichen Paletten, die von den Spediteuren auf regulären Auslieferungstouren mitgenommen und zwischen Akteuren verteilt

werden. Damit findet zum einen ein Saldenausgleich, zum anderen werden die anderen Akteure aber auch mit Leerpaletten versorgt.

Daraus abgeleitet stellt sich die zentrale Frage: An welchen Stopps der Tour sollen vom Spediteur zusätzliche Leerpaletten mitgenommen werden und an welchen Stopps sollen diese abgegeben werden? Um diese Frage zu beantworten, wurde das Simulationsmodell um ein mathematisches Optimierungsmodell erweitert, welches den Fluss der Leerpaletten plant. Um an dem zusätzlichen Leerpalettenfluss beteiligt zu sein, muss der Akteur am Palettentauschnetzwerk teilnehmen und entweder Forderungen oder Schulden gegenüber dem System aufweisen. Als Zielfunktion des Optimierungsmodells ist der Ausgleich der Schulden/-forderungen der Akteure festgelegt. Neben den Palettenkontoständen der Akteure wird die Menge an Paletten, die pro Stopp vom Spediteur zusätzlich mitgenommen werden können, als Eingabeparameter für das Optimierungsmodell festgelegt. Weiterhin werden die Touren, die der Spediteur fahren wird, an die Plattform bzw. an das Optimierungsmodell übergeben. Diese Touren sind fest vorgeben und werden auch vom Optimierungsmodell nicht mehr angepasst. Die Auslieferung bzw. die Vorwärtslogistik ist nach wie vor für die Akteure relevanter als das Palettenmanagement. Als Entscheidungsvariable, die vom Optimierungsmodell berechnet wird, dient die Anzahl an Paletten, die vom Spediteur mitgenommen werden bzw. die vom Spediteur an die Akteure abgegeben werden.

Auf eine detaillierte Ausformulierung des Optimierungsmodells wird an dieser Stelle zugunsten einer besseren Lesbarkeit verzichtet. Eine genaue Erläuterung dieses Modells kann in einer wissenschaftlichen Publikation nachgelesen werden (siehe F1, Kapitel 6.2). Mithilfe von Abbildung 14 lassen sich die Ergebnisse aus dem Optimierungsmodell jedoch bildlich erklären. Der obere Abschnitt zeigt die Knoten bzw. Akteure, die auf den zwei beispielhaften Touren angefahren werden. Die erste Tour startet bei Knoten 1. Die nächsten Stopps sind Knoten 2 und 3, bevor die Tour wieder bei Knoten 1 endet. Tour 2 startet bei Knoten 4. Der erste und einzige Stopp ist Knoten 3. Im Anschluss wird wieder Knoten 4 als Endpunkt angefahren. Die schwarzen Zahlen über den Knoten zeigen den Palettenkontostand des jeweiligen Akteurs. Ein negativer Wert bedeutet, dass der Akteur weniger Paletten hat, als diesem zustehen. Das heißt, der Akteur hat Forderungen gegenüber der Plattform. Analog bedeutet ein positiver Wert, dass der Akteur Schulden gegenüber dem System hat. Die roten und grünen Werte geben die Ergebnisse des Optimierungsmodells wieder. Die roten negativen Werte bedeuten, dass an diesem Stopp zusätzliche Paletten vom Akteur mitgenommen werden und grüne Werte stellen dar, dass hier Paletten abgegeben werden. Durch die Verteilung der Leerpaletten durch den Spediteur ergibt sich ein Ausgleich der Schulden und Forderungen. Im unteren Abschnitt des Bildes sind die Palettenkontostände nach den beiden Touren dargestellt. Hier zeigt sich, dass sich die Schulden

und Forderungen angeglichen haben. Lediglich Knoten bzw. Akteur 3 hat noch eine Verbindlichkeit (+1) gegenüber dem System.

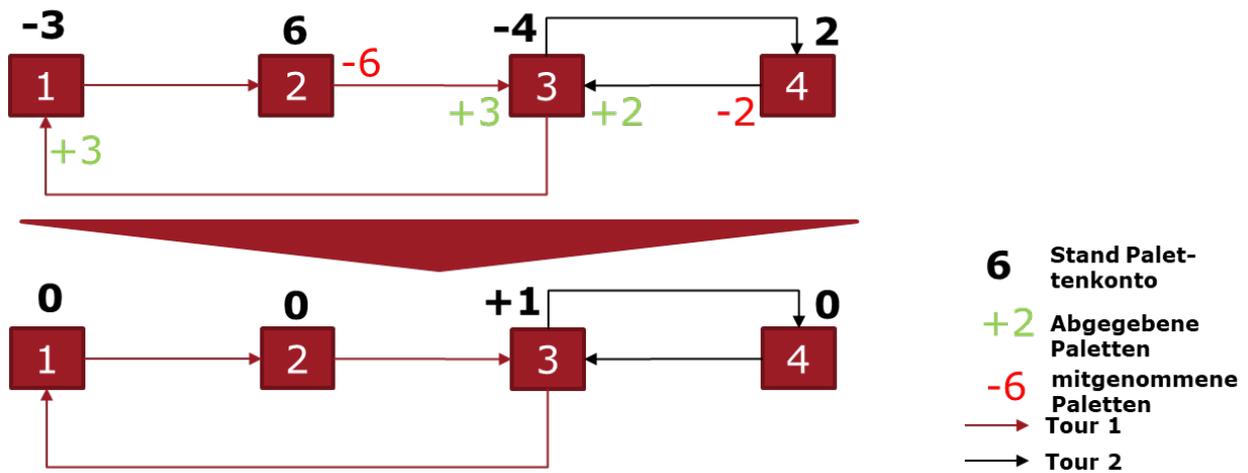


Abbildung 14: Ergebnis des Planungsprozesses der digitalen Palettentauschplattform

### 2.4.2 Arbeitspaket 3 (3): Durchführung der Simulation, Analyse und Validierung der Ergebnisse

Zunächst werden in diesem Kapitel die Auswertungen des Simulationsmodells ohne die Erweiterungen der digitalen Palettentauschplattform um eine zentrale Planungsinstanz vorgenommen. Daraufhin erfolgt die Analyse aus den Simulationsdurchläufen der Modellerweiterung mit einer zentralen Planungsinstanz.

#### Basismodell mit Fokus auf den Spediteur

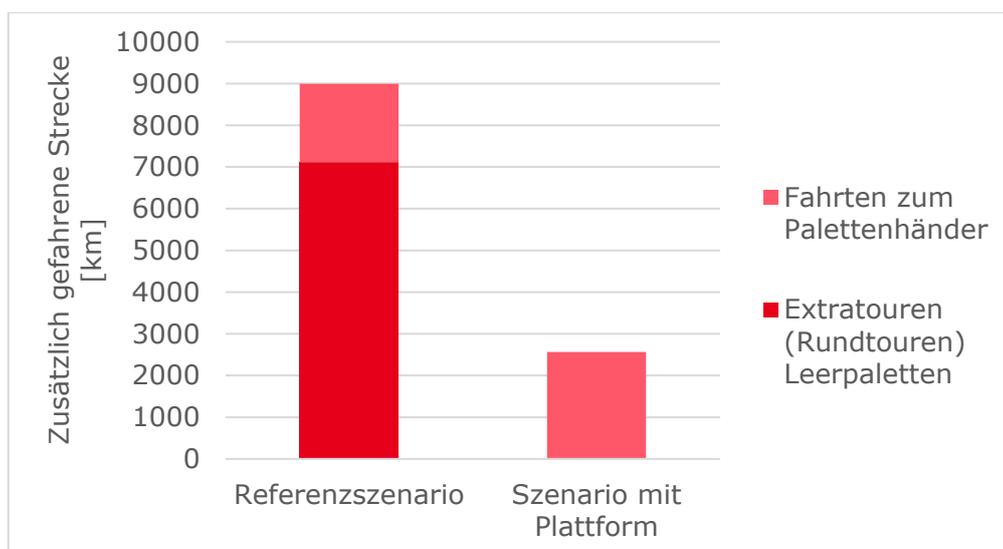


Abbildung 15: Zusätzlich für das Palettenmanagements gefahren Strecken

Die Spediteure können durch Teilnahme an einer Palettentauschplattform (mit Anspruchsübertragung) insgesamt in einem Zeitraum von einem Monat 6.431,2 km (ca. 71,5%) gegenüber dem Referenzszenario einsparen (siehe Abbildung 15). Eine Palettentauschplattform besitzt damit großes Potential, um das Palettentauschsystem effizienter zu gestalten. Auch bei geringeren Teilnahmequoten führt das Szenario mit Plattform zur Verkehrsreduzierung. Bereits bei Teilnahmequoten von 10% an der Palettentauschplattform können signifikante Einsparungen bei den zusätzlich gefahrenen Kilometern erzielt werden (siehe Abbildung 16). Auch der Zusammenschluss weniger Akteure kann damit zu spürbaren Effizienzgewinnen führen

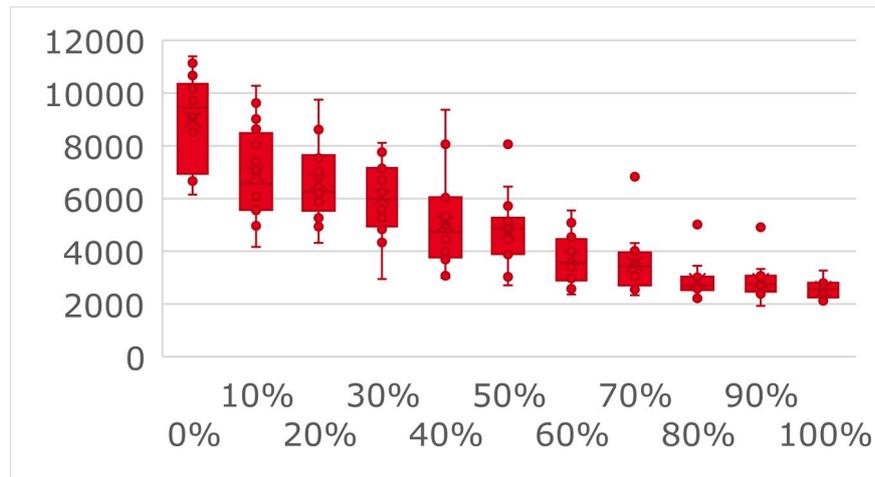


Abbildung 16: Zusätzlich für das Palettenmanagements gefahren Strecken in Abhängigkeit der Teilnehmerquote (als Boxplots)

### Erweiterung zentrale Planungsinstanz

Durch die Erweiterung des Modells wurden auch die Schulden und Forderungen zwischen Versender und Empfänger sowie zwischen Spediteur und Versender mitberücksichtigt. Dadurch können in diesem Modell nun auch Aussagen über den Einfluss der akteursübergreifenden Plattform auf die Gesamtschulden bzw. Forderungen im System getroffen werden. Hierbei zeigt sich, dass sich durch Einsatz einer Plattform die Gesamtschulden deutlich reduzieren. Dies liegt insbesondere daran, dass beim Spediteur ein Saldenausgleich in hohem Maße stattfindet (siehe Abbildung 17). Dieser fungiert als Mediator und ist bei den meisten der entstehenden Schuldverhältnisse involviert. Jedoch reduzieren sich auch bei den Versendern und Empfängern die Schulden und Verbindlichkeiten um ca. ein Drittel.

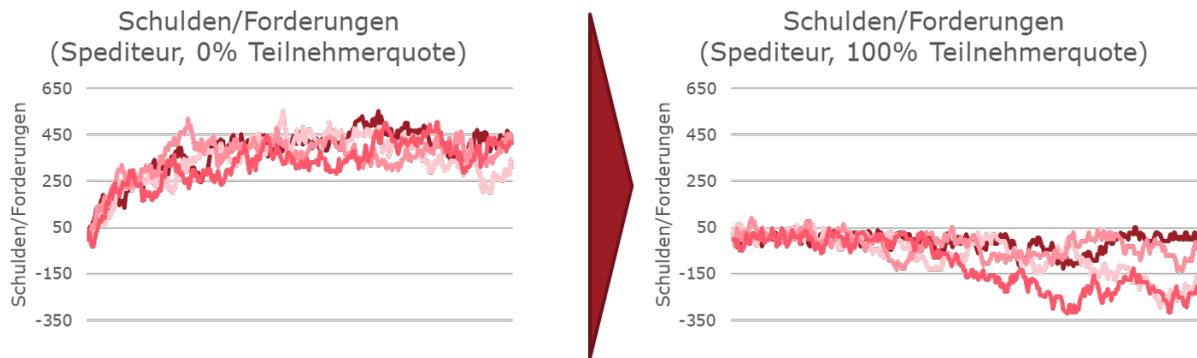


Abbildung 17: Schulden/Forderungen des Spediteurs ohne Plattform (links) und mit Plattform (rechts)

Wie bereits bei der Auswertung des Basismodells zeigt sich auch bei der Erweiterung, dass bei steigender Anzahl der Akteure, die an der Plattform teilnehmen, sich die für den Palettentausch zusätzlich zurückgelegten Strecken von ca. 45.000 auf 15.000 km reduzieren (siehe Abbildung 18, links). Gleichzeitig steigt jedoch die Anzahl der Paletten im System leicht an (siehe Abbildung 18, rechts). Dies lässt sich damit erklären, dass die Versorgung mit Leerpaletten über die Planung der Plattform unregelmäßig erfolgt, da die Versorgung über die regulären und unabhängigen Touren der Spediteure durchgeführt wird. Kurzfristige Bedarfe der Versender und Empfänger müssen damit anderweitig beschafft (häufig durch den Kauf neuer Paletten) werden.

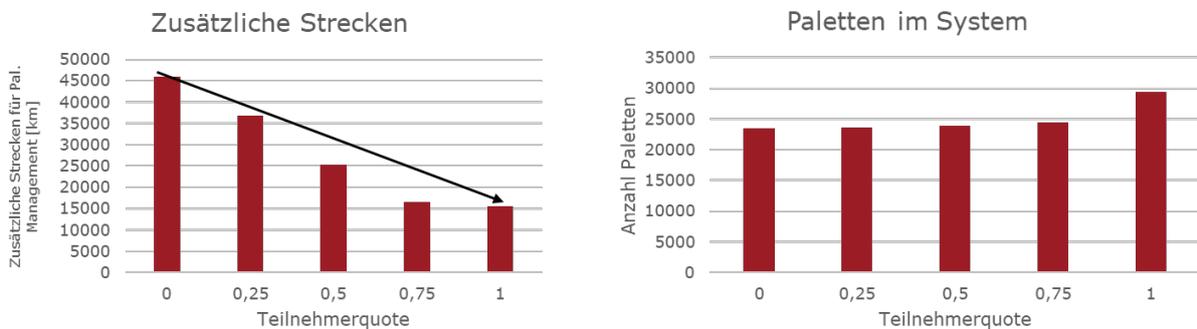


Abbildung 18: Zusätzlich zurückgelegte Strecke für das Palettmanagement (links) und Anzahl der Paletten im Gesamtsystem (rechts) jeweils in Abhängigkeit der Plattformteilnehmerquote

Wird die Anzahl an zusätzlich Paletten erhöht, die der Spediteur verteilen kann, so reduziert sich die Menge an benötigten Paletten im System jedoch (siehe Abbildung 19), da nun weniger kurzfristige Beschaffungen notwendig sind.

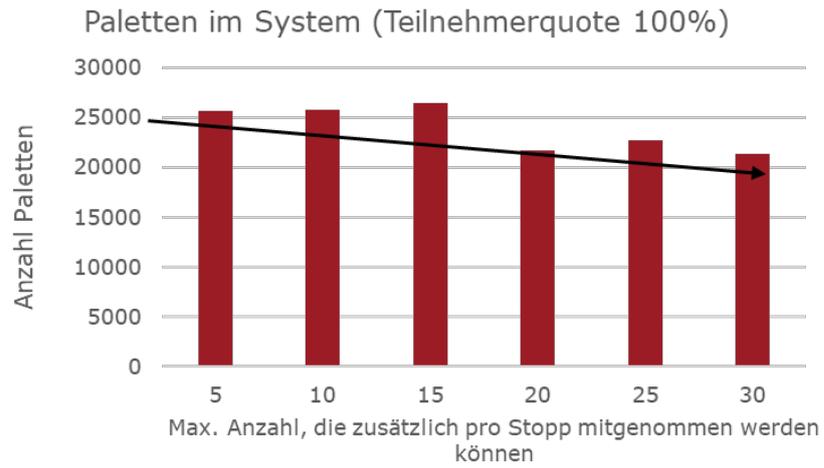


Abbildung 19: Paletten im Gesamtsystem bei 100%-Teilnehmerquote in Abhängigkeit der Paletten, die zusätzlich zur Weiterverteilung vom Spediteur mitgenommen werden können

### **2.4.3 Arbeitspaket 4 (3) Ableiten der Handlungsempfehlungen**

Aus den Ergebnissen der Simulationsexperimente ergibt sich, dass eine stärkere Kooperation mittels des Einsatzes einer aktorsübergreifenden Plattform den Palettentausch effizienter gestalten kann. Der Spediteur profitiert von solch einer Plattform am stärksten. Im Hinblick darauf, dass der Spediteur häufig das schwächste Glied ist und die meisten Kosten tragen muss, bietet diese Art von Plattform einen Beitrag, den Palettentausch insgesamt fairer zu gestalten. Von den möglichen Einsparungen des Speditors können letztlich aber auch die Versender und Empfänger profitieren, wenn der Spediteur diese an die Kunden weitergibt. Vom Saldenausgleich, welcher über eine Plattform möglich wird, profitieren jedoch auch direkt die Versender und Empfänger. Die Saldierung und die damit einhergehende Reduzierung von Schulden und Forderungen gegenüber anderen Akteuren, bedeutet gleichzeitig geringeren Administrations- und damit Kostenaufwand für alle Plattformteilnehmer.

Insbesondere der Umstand, dass auch bei geringen Teilnehmerquoten im Verhältnis zum Referenzszenario ohne Plattform große Einsparungen erzielt werden konnten, zeigt, dass auch kleinere Kooperationen Sinn ergeben. Entsprechend positive Effekte stellen sich damit auch bei kleineren Teilnehmerzahlen ein. Daher ist nicht unbedingt eine dominierende Plattform nötig, sondern auch kleinere Zusammenschlüsse von Unternehmen können mit eigenen technische Lösungen entsprechende Einsparungen erzielen.

Mithilfe der Plattform kann insbesondere die Kooperationen gefördert werden, auch wenn die Akteure häufig wechselnde Tauschpartner haben, z.B. weil es sich nur um einmalige Lieferungen handelt oder Speditionen mit verschiedenen Subunternehmen arbeiten. Durch eine gemeinsame Plattform könnten trotzdem alle interessierten Akteure miteinander interagieren und das Palettentauschsystem so effizienter gestalten.

Die Ergebnisse sowie die Empfehlungen wurden gemeinsam in den PA-Sitzungen diskutiert. Die Idee einer aktorsübergreifenden Plattform wurde gut aufgenommen. Einer Teilnahme an einer aktorsübergreifenden Plattform standen die Mitglieder grundsätzlich ebenfalls positiv gegenüber.

## 2.5 Arbeitspaket 5 – Leitfaden und Projektabschluss

**Zielsetzung und Ausgangslage:** Das letzte Arbeitspaket dient dazu, die zentralen Ergebnisse des Projektes in Form eines Leitfadens aufzubereiten und für den praktischen Einsatz nutzbar zu machen. Auf diese Weise soll sich der Nutzer über die Forschung zu den verschiedenen Dimensionen der Projektbearbeitung informieren können.

**Vorgehen:** Die Projektarbeit wird in einem umfassenden Abschlussbericht zusammengefasst. Weiterhin wird das Simulationsmodell zur spieltheoretischen Betrachtung des Palettentausches öffentlich zugänglich gemacht. Zusätzlich wird eine vereinfachte Version des spieltheoretischen Modells öffentlich zu Verfügung gestellt.

**Ergebnisse:** Zentrales Ergebnis des Forschungsprojektes ist das Simulationsmodell zur spieltheoretischen Betrachtung des Palettentausches. Dieses wurde angepasst und vereinfacht, um es öffentlich über die Anylogic Cloud unter der Bezeichnung „SUPa“ zur barrierefrei und ohne Anlegen eines Nutzerprofils Verfügung zu stellen. Über eine graphisches User Interface können Parameter zum Tauschverhalten sowie eigenen Kostenfaktoren konfiguriert werden (siehe Abbildung 20).

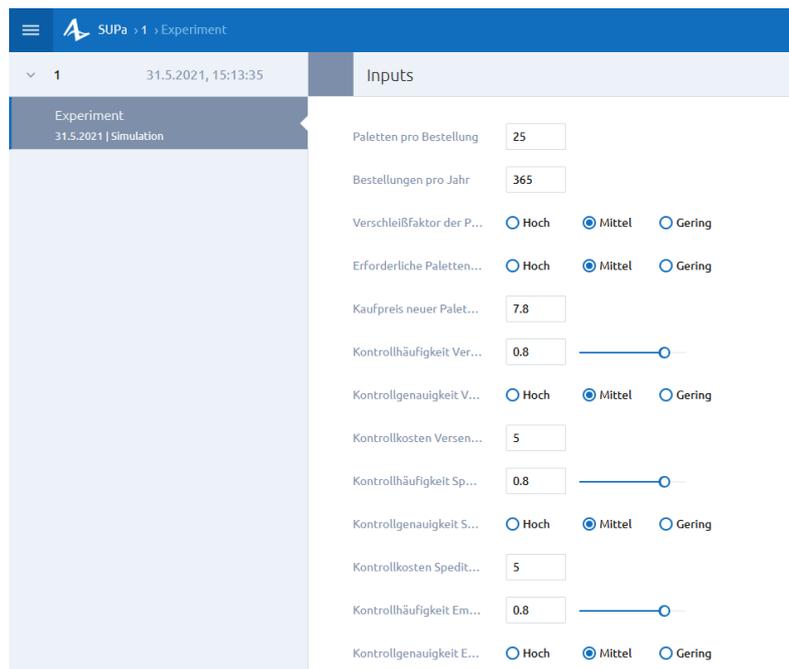


Abbildung 20: Ausschnitt User Interface des Simulationsmodells

Damit können die Nutzer die Parameter nach eigenen Rahmenbedingungen konfigurieren. Nach dem anschließenden Modelldurchlauf auf den Cloudservern von Anylogic werden die Ergebnisse zu den Kosten des Palettentausches für die einzelnen Akteure dem Nutzer graphisch aufbereitet

zur Verfügung gestellt. Die Simulationsergebnisse können dann unterschiedlich genutzt werden, beispielsweise für Einpreisungen bei künftigen Vertragsabschlüssen oder einer Einführung Kontrollen und Verlangen von Tauschgebühren (siehe Abbildung 21).

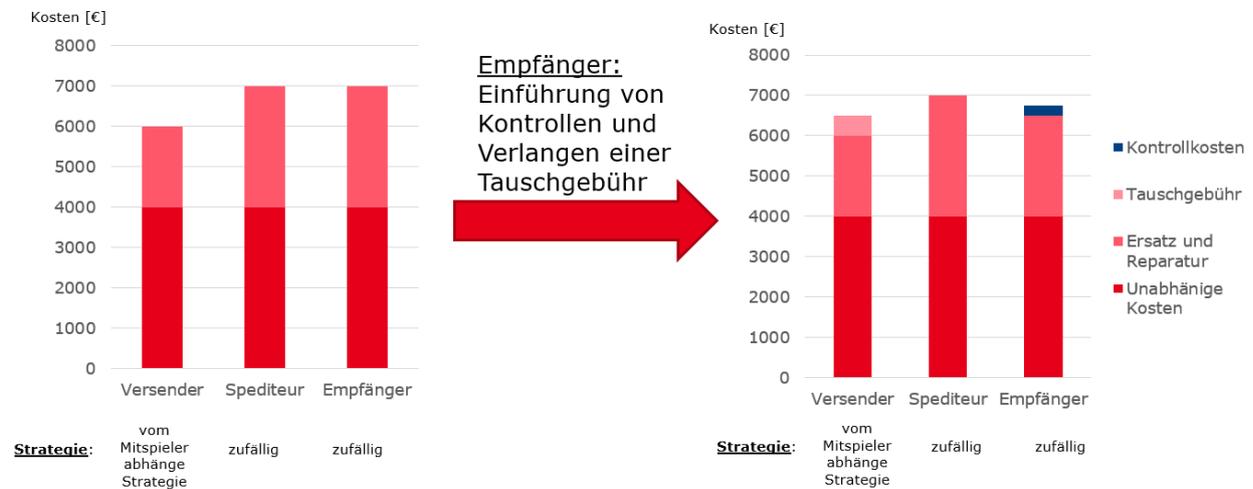


Abbildung 21: Beispiele für Nutzung der Simulationsergebnisse

Weiterhing handelt es sich bei dem hier vorliegenden Dokument um den zentralen Abschlussbericht des Projektes, der die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete aufbereitet und für potenzielle Nutzer gebündelt wiedergibt. Der Bericht soll auch dazu genutzt werden, die Ergebnisse kritisch zu reflektieren und hinsichtlich der praktischen Umsetzbarkeit zu evaluieren. Der Abschlussbericht wird auf den Websites des Fachgebietes Unternehmensführung und Logistik sowie der Forschungsvereinigung offen und diskriminierungsfrei zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden und werden die Ergebnisse in unterschiedlichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen und auf wissenschaftlichen und praxisnahen Konferenzen während und nach der Projektlaufzeit einem breiten Publikum aus Wissenschaft und Praxis vorgestellt. Auf diese Weise soll es Anwendern ermöglicht werden, die Projektergebnisse als möglichen Lösungsansatz für konkrete Anwendungsfälle zu identifizieren.

Zudem sollen die Ergebnisse insbesondere zur digitalen Palettentauschplattform als Ausgangsbasis für zukünftige Forschungsarbeiten dienen. Es wird angeregt, sich weiter mit denen im Projekt konzipierten Palettentauschplattformen zu beschäftigen. Diese besitzen ein hohes Potential, um den Palettentausch kooperativer zu gestalten. Sie sorgen für Verkehrsreduzierung und sorgen für einen effizienten Austausch von Paletten. Es sollten weitere Untersuchungen folgen. Beispielsweise können weitere Features wie das Anbieten von Palettenüberkapazitäten analysiert werden. Weiterhin wird eine prototypische Anwendung einer derartigen Plattform empfohlen.

### **3. Verwendung der Zuwendungen**

Das Projekt startete am 01.10.2018 (kostenneutrale Verlängerung und Ratenverschiebung aufgrund von fehlendem Personal zu Beginn des Jahres am Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik). Insgesamt wurden 24 Personalmonate am Projekt gearbeitet. Dabei haben Roland Lehner, Anne Friedrich sowie Michael Gleser in unterschiedlichem Umfang am Forschungsprojekt mitgewirkt. Alle drei sind durch ihr abgeschlossenes Hochschulstudium (M.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen bzw. Wirtschaftsinformatik) dem wissenschaftlich-technischen Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans) zuzuordnen. Durch den notwendigen, anspruchsvollen Methodeneinsatz war das eingesetzte Qualifikationsniveau im Vorhaben unabdingbar.

Das Projekt wurde während des Berichtszeitraumes durch die Hilfskräfte Eric Schneider, Niklas Hartwig, Claas Weinandi, Sophia Vögler, Clara Moos, Lennard Scherbring, Thomas Härtel, Max Scheidner, Andreas Webler, Erik Schneider, Prisca Sarnow und Patrick Helm (A.3 des Finanzierungsplans) in unterschiedlichem Umfang unterstützt. Ausgaben für Geräte (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) und Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) sind im Finanzierungsplan nicht vorgesehen und dementsprechend im vorliegenden IGF-Vorhaben nicht angefallen.

## **4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die geleistete Arbeit sowie die erzielten (Teil-)Ergebnisse entsprechen in Umfang und Qualität den Vorgaben aus dem Projektantrag. Statt eines Simulationsmodells wurden drei verschiedene agentenbasierte Simulationsmodelle mit verschiedenen Schwerpunkten erstellt. Durch die inhaltlich und methodisch stark unterschiedlichen Untersuchungsschwerpunkte war diese Trennung in spezialisierte Modelle sinnvoll und notwendig. Die Arbeitspakete 2 bis 4 mussten daher für alle Modelle getrennt durchgeführt werden.

Die agentenbasierte Simulation stellt ein mächtiges Werkzeug dar und ist eine geeignete Forschungsmethode, um die verschiedenen Aspekte beim Palettentausch systematisch zu untersuchen. Die Simulation erlaubt zudem die Kombination mit weiteren wissenschaftlichen Methoden. So wurden für den zweiten Schwerpunkt spieltheoretische Ansätze implementiert. Diese erlauben unterschiedliche Verhaltensweisen von rationalen Entscheidern und deren Einfluss auf andere zu analysieren. Im dritten Schwerpunkt wurde für die Untersuchung des Potentials einer akteursübergreifenden Plattform mit einer zentralen Planungsinstanz ebenfalls ein mathematisches Optimierungsmodell erstellt, mithilfe dessen ein komplexes Commodity-Flow-Problem unter den spezifischen Restriktionen gelöst werden kann und damit der Leerpalettenfluss über die regulären Touren des Spediteurs optimal bestimmt werden kann.

Die begleitend durchgeführten Literaturrecherchen und Experteninterviews im Rahmen der Projekttreffen dienten dazu, das Aufgabenfeld sinnvoll abzugrenzen und einzuordnen. Diese Basis war notwendig, um die Entwicklung von validen Simulationsmodellen sicherzustellen und einen kontinuierlichen Praxisbezug des Vorgehens sowie der Ergebnisse zu gewährleisten.

Insgesamt konnte durch die durchgeführten Arbeiten zielgerichtet die angestrebten Modelle zur Untersuchung des Palettentausches bzw. Verbesserungsmöglichkeiten erstellt werden, dessen konkreter Nutzen für die Praxis im nachfolgenden Abschnitt ausführlich bewertet wird.

## **5. Bewertung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten**

Die Herausforderungen und Probleme beim Palettentausch sind heute leider immer noch allgegenwärtig, obwohl der Palettentausch seit Jahrzehnten angewendet wird. Die Akteure bezeichnen diesen häufig als „notwendiges Übel“. Das Forschungsprojekt widmete sich folglich einem immer noch hochaktuellen Thema, dass für einzelne beteiligten Akteure zu hohen Kosten führen kann. Eine Möglichkeit zur Kostenreduzierung im Palettentausch ist es, die Paletten so lange wie möglich im Umlauf zu behalten. Hier setzt das Forschungsprojekt gezielt an und untersucht im ersten Schwerpunkt eine bedarfsgerechte Allokation von Paletten. Hiermit ist die sinnvolle Zuteilung von Paletten zu Produkten gemeint, womit je nach Verschleiß des Produkts eine entsprechende Palette genutzt werden soll. Auf diese Weise kann vorhersehbarer Wertverlust, z. B. in Form von Verschmutzungen durch Baustoffe, die auf der Palette transportiert wurden, verhindert werden. Dieser Ansatz wurde damit erstmals wissenschaftlich betrachtet und ergab, dass die Lebensdauern damit deutlich erhöht werden konnten. Für die Praxis bedeutet dies, dass bei Möglichkeit eine bedarfsgerechte Allokation eingesetzt werden sollte, auch wenn dies nicht immer möglich oder aufgrund des erhöhten Aufwandes nicht immer ökonomisch sinnvoll sein wird. Weitere Einflussfaktoren, die eine bedarfsgerechte Allokation erschweren bzw. verhindern, konnten ebenfalls identifiziert werden.

Im zweiten Schwerpunkt lag der Fokus auf der unterschiedlichen Kostenverteilung zwischen den Akteuren im Palettentausch. In der Praxis kommt es häufig vor, dass Paletten mit guter Qualität gegen Paletten mit schlechter Qualität eingetauscht werden. Folglich werden damit einem anderen Akteur die Kosten für Ersatz oder Reparatur übertragen. Mithilfe des im Projekt erstellten Simulationsmodells ist es für die Akteure nun möglich, die Kosten für den Palettentausch in Abhängigkeit des Tauschverhaltens der anderen Akteure zu ermitteln. So konnte erstmals verdeutlicht werden, wie stark die Partner die Kosten der anderen Akteure beim Palettentausch gegenseitig beeinflussen können. Das Simulationsmodell wird über die sogenannte Anylogic-Cloud der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Dieses Tool kann helfen bei Vertragsschluss die Kosten für den Palettentausch besser abschätzen und einzupreisen zu können. Damit sollen die Kosten zwischen den Akteuren fairer aufgeteilt werden. Zielgruppe des zweiten Schwerpunkts sind längerfristige Beziehungen mit gleichen Tauschpartnern. Mithilfe der Ergebnisse sowie des zur Verfügung gestellten Simulationsmodells kann das Bewusstsein über eine ungleichmäßige

Verteilung von Kosten im Palettentausches gestärkt und eine stärkere Kooperation erzielt werden.

Im dritten Schwerpunkt wurde ein innovatives Plattformkonzept für den akterusübergreifenden Palettentausch vorgestellt und untersucht. Mittels einer digitalen, akteursübergreifenden Plattform mit Anspruchsübertragung von Schulden und Forderungen kann eine stärkere Kooperation auch zwischen Teilnehmern im Palettentausch, die nicht unbedingt langfristigen Beziehungen besitzen müssen, erzielt werden. Dabei kann eine solche Plattform ebenfalls eine aktive Rolle einnehmen und die Verteilung von Paletten planen, welche im Anschluss von einem Spediteur auf den regulären Touren mitgenommen und abgegeben werden. Mit diesem neuen Ansatz wird eine sowohl horizontale als auch vertikale Kooperation zwischen den verschiedenen Akteuren ermöglicht. Im Rahmen des Forschungskonzepts konnte eine solche innovative Plattform konzipiert werden. Weiterhin konnte deren hohes Einsparungspotential gezeigt werden.

## 6. Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Der Transfer der im Projekt erzielten Ergebnisse erfolgte in Teilen bereits während der Projektlaufzeit und wurde im Projektverlauf entsprechend der Zwischenberichte weiter konkretisiert. Die Transferstrategie stützt sich auf Workshops, Veranstaltungen in der Praxis, Publikationen in praxisnahen und wissenschaftlichen Fachzeitschriften sowie die Vorstellung der Ergebnisse auf Konferenzen und Fachtagungen. Ziel war es, fortlaufend Feedback von Unternehmensvertretern zu erhalten, um die Praxistauglichkeit der Ergebnisse zu erhöhen sowie weitere Mitglieder für die Projektbegleitenden Ausschüsse zu gewinnen. Im Folgenden werden zunächst die während der Projektlaufzeit durchgeführten Transfermaßnahmen beschrieben. Anschließend erfolgt die Schilderung von noch geplanten Transfermaßnahmen.

Durch die Veröffentlichung der Ergebnisse sowohl in praxisnahen Fachzeitschriften als auch in Vorträgen und Online-Medien kann ein umfangreicher Transfer der Ergebnisse in die Wirtschaft sichergestellt werden. Die während des Projektes regelmäßig durchgeführten Workshops, Experteninterviews und Diskussionsrunden mit Vertretern aus der Praxis stellten sicher, dass die Projektbearbeitung stets praxisnah und anforderungsgerecht erfolgte. Durch die zusätzlich erfolgten Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journals und auf wissenschaftlichen Konferenzen wurde zudem sichergestellt, dass die eingesetzten Methoden wissenschaftlich fundiert und auf dem aktuellen Stand der Forschung sind. Zudem wird so eine Nutzung der Projektergebnisse über die Projektlaufzeit hinaus für Folgeprojekte oder anknüpfende Forschungsarbeiten ermöglicht. Die Ziele des Forschungsvorhabens wurden nach Einschätzung der Forscher und der beteiligten Praxispartner somit uneingeschränkt erreicht.

### 6.1 Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit

Während der Projektlaufzeit wurden Maßnahmen in vier Bereichen zum kontinuierlichen Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft durchgeführt. Tabelle 12 enthält die durchgeführten Transfermaßnahmen. Diese werden unter der Tabelle mit Verweisen auf zusätzliche Detailinformationen beschrieben.

*Tabelle 12: Während der Projektlaufzeit durchgeführte Maßnahmen zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.*

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Durchführung
<b>A: Workshops mit PA</b>	Validierung Simulationsmodell	A1: 5 Sitzungen des PA A2: Experteninterviews	A1: Erste Sitzung des PA am 25.10.2018  Zweite Sitzung des PA am 21.08.2019

			<p>Dritte Sitzung des PA am 07.05.2020</p> <p>Vierte Sitzung des PA am 16.09.2020</p> <p>Fünfte Sitzung des PA am 31.01.2021</p> <p>A2: Experteninterview Bauzentrum Andre + Oestreicher GmbH, 04.12.2018</p> <p>Experteninterview swoplo GmbH (Plattform für Lademittel-management), 11.10.2019</p>
<b>B: Bekanntmachung des Projektes über Vereinigungen/ Verbände</b>	Bekanntmachung von Projektinhalt und -ergebnissen besonders bei KMU	B1: Arbeitskreis IHK Darmstadt	<p>B1: Information zum Projekt über den IHK Darmstadt Rhein Main Neckar Verteiler versendet, 17.09.2018</p> <p>B2: Projektvorstellung und Diskussion beim 14. E-Logistics Networking der TRANSPOREON-Gruppe</p> <p>B3: Bekanntmachung in LinkedIn Gruppe „EUR - EPAL Pallet Users“ mit ca. 2.300 Mitgliedern</p> <p>B4: Vortrag beim Logsitcs Summit der TU Darmstadt</p>
<b>C: Publikationen in praxisnahen Fachzeitschriften</b>	Bekanntmachung von Projektinhalt und -ergebnissen besonders bei KMU	C1: Transaktuell C2: DVZ C3: Tagungsband der ICPLT C4: Tagungsband der WSC	<p>C1: Artikel zum Projekt in Praxismagazin Transaktuell</p> <p>C2: Artikel in DVZ Themenheft Paletten/ Verpackung</p> <p>C3: Artikel in Advances in Production, Logistics and Traffic</p>

			C4: Artikel in Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference
<b>D: Konferenzteilnahme</b>	Diskussion mit Wissenschaft	D1: Inter-disciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic  D2: Winter Simulation Conference	D1: Teilnahme an der Interdisciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic 2019 (27./28.3.2019)  D2: Teilnahme an der Winter Simulation Conference 2020 (17.12.2020, online-Konferenz)

Zur Entwicklung und kontinuierlichen Validierung des Forschungsansatzes sowie des Simulationsmodells werden in erster Linie die Treffen des projektbegleitenden Ausschusses sowie in diesem Zusammenhang geführte Experteninterviews genutzt.

#### **A: Workshops mit dem Projektbegleitenden Ausschuss**

**A1:** Es fanden insgesamt fünf Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses statt. Das erste ereignete sich am 25.10.2018 an der TU Darmstadt. Ebenfalls fand die zweite Sitzung am 21.08.2019 an der TU Darmstadt statt. Die 3. Sitzung wurde aufgrund von Corona online durchgeführt. Die 4. Sitzung am 16.09.2020 wurde in den Logistics Summit der TU Darmstadt integriert, im Rahmen dessen auch ein Vortrag zum Projekt stattfand (siehe B4). Aufgrund von Corona fand auch dieser PA online statt. Gleiches gilt für den letzten PA zum Projektabschluss am 31.01.2021.

**A2:** Um weitere spezifische Einblicke in das Themenfeld Palettentausch zu erhalten fanden zwei Interviews statt. Das erste wurde am 04.12.2018 mit dem Geschäftsführer Bauzentrum Andre + Oestreicher GmbH in Babenhausen geführt. Das zweite Interview fand in Räumlichkeiten der TU Darmstadt statt und wurde mit einem Mitarbeiter der swoplo GmbH geführt, bei welchem es sich um einen Plattformanbieter für Ladehilfsmittelmanagement handelt.

## **B: Veranstaltungen mit der Praxis**

**B1:** Informationen zum Projekt wurden in einem Newsletter über den IHK Darmstadt Rhein Main Neckar Verteiler an verschiedene lokale Unternehmen aus verschiedenen Branchen am 17.09.2018 versendet.

**B2:** Im Rahmen des 14. E-Logistics Networking der TRANSPOREON-Gruppe wurde das Projekt während eines Vortrages vorgestellt und im Anschluss mit verschiedenen Unternehmensvertretern diskutiert.

Lehner, Roland (2018): Wareneingang der Zukunft – Ergebnisse der Studie „Zeitfenster-Management im Straßengüterverkehr“ und Einblicke in das Projekt „Palettentausch“. Anlass: 14. E-Logistics Networking der Transporeon Group, Köln, 20.09.2018.

**B3:** Über die LinkedIn Gruppe „EUR - EPAL Pallet Users“ wurde für das Projekt geworben. Die Gruppe besitzt (Stand Mai 2021) ca. 2.300 Mitglieder.

**B4:** Im Rahmen des 3. Darmstädter Logisitcs Summit der Forschungssäule Logistik und Supply Chain Management an der TU Darmstadt wurde ein Vortrag zum Projekt gehalten. In dem Format tauschen sich Wissenschaftler und Praxisvertreter über die aktuelle Forschung aus.

Lehner, Roland (2020): Eine Palette und viele Akteure – Auswirkungen von unterschiedlichen Akteursverhalten auf den Palettentausch. Anlass: 3. Darmstädter Logistics Summit. Darmstadt, 16.09.2020.

## **C: Publikationen in praxisnahen Fachjournals**

**C1:** Jüngst, Ilona (2019): Das kostet der Palettentausch: TU Darmstadt ermittelt Handlungsalternativen – simulationsbasierte Untersuchung. In: trans aktuell, 20, S.9

**C2:** Elbert, Ralf; Lehner, Roland (2020): Die Kosten transparenter machen. In: Deutsche Verkehrszeitung (DVZ), 49, S. 7

**C3:** Elbert, Ralf; Lehner, Roland (2019): Influence of a reasonable allocation of pallets in the pallet exchange system. In: Advances in Production, Logistics and Traffic: Proceedings of the 4th Interdisciplinary Conference on Production Logistics and Traffic 2019 / ed. by Uwe Clausen; Sven Langkau; Felix Kreuz, S. 90-101, Dortmund, Springer International Publishing

**C4:** Elbert, Ralf; Lehner, Roland (2020): Simulation-based Analysis of a Cross-actor Pallet Exchange Platform. In: Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference / ed. by K.-H. Bae et al., S. 1396-1407

**D: Konferenzbesuch**

**D1:** Elbert, Ralf; Lehner, Roland (2019): Influence of a reasonable allocation of pallets in the pallet exchange system. Anlass: 4. Interdisciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic (ICPLT). Dortmund, 28.03.2019.

**D2:** Elbert, Ralf; Lehner, Roland (2020): Simulation-based Analysis of a Cross-actor Pallet Exchange Platform. Anlass: Winter Simulation Conference (WSC), 17.12.2020.

## 6.2 Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens

Nach Abschluss des Projektes sind weitere Transfermaßnahmen geplant. Diese sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Unter der Tabelle werden die Transfermaßnahmen im Detail beschrieben.

*Tabelle 13: Durchgeführte und geplante Maßnahmen zum Ergebnistransfer nach Abschluss des Vorhabens.*

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Zeitraum
<b>E: Webbasierte Leitfaden und Simulationsmodell</b>	Freier Zugang zu Ergebnissen, breite Verteilung an potenzielle Anwender	E1: Internetseite der Forschungsstelle E2: ResearchGate E3: AnyLogic Cloud	1. Quartal nach Projektabschluss
<b>F: Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften</b>	Bekanntmachung der Ergebnisse und des Leitfadens	F1: Transportation Research Part E F2: Forschungskurzbericht	1. (F2) bzw. 2. Quartal (F1) nach Projektabschluss
<b>G: Bekanntmachung über Vereinigungen/ Verbände</b>	Bekanntmachung des Webportals, Verteilung an potenzielle Anwender	G1: IHK G2: LinkedIn	2. Quartal nach Projektabschluss
<b>H: Vorstellung der Ergebnisse auf Fachtagungen/ Messen</b>	Verbreitung der Vorgehensweise und Ergebnisse, Bekanntmachung des Leitfadens	H1: BVL H2: Tongji-Tage TU Darmstadt	1. (H2) bzw. 2. Quartal (H1) nach Projektabschluss

### **E: Veröffentlichung der Ergebnisse auf Internetportal**

Die zentralen Projektergebnisse, insbesondere das Simulationsmodell und der erarbeitete Abschlussbericht, werden nach Projektabschluss auf der Projektwebsite der Forschungsstelle zugänglich gemacht (**E1**). Weiterhin werden die Projektergebnisse und -dokumentationen auf ResearchGate (**E2**) veröffentlicht. Das Simulationsmodell zur Kostenvergleichsrechnung wird über die AnyLogic Cloud abruf- und verwendbar sein (**E3**).

### **F: Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften**

**F1:** Es wurde ein Artikel für das wissenschaftliche Journal Transportation Research Part E verfasst, welches sich aktuell noch im Reviewprozess befindet:

Lehner, Roland; Elbert, Ralf. (2021): Cross-actor Pallet Exchange Platform for Collaboration in Circular Supply Chains. In: noch nicht veröffentlicht

**F2:** Ein Forschungskurzbericht (2-Seitiges-Faltblatt) wird erstellt, um die wesentlichen Projektergebnisse schnell und einfach zu kommunizieren. Dieser wird ebenfalls über die ResearchGate veröffentlicht und z.B. über LinkedIn beworben.

Elbert, Ralf; Lehner, Roland (2021): SUPa – Simulationsbasierte Untersuchung von Handlungsalternativen im Palettentausch unter Berücksichtigung unterschiedlichen Akteursverhaltens, Report. In: ResearchGate

### **G: Transfer durch Verbände**

Die Projektergebnisse sollen über verschiedene Kanäle beworben werden. So soll die IHK entsprechende Informationen weiterleiten (**G1**). Weiterhin soll über LinkedIn-Beiträge eine große Anzahl an Interessierten aus der Praxis erreicht werden (**G2**).

### **H: Vorstellung der Ergebnisse auf Fachtagungen/ Messen**

**H1:** Die Veröffentlichung des Abschlussberichts erfolgt durch die Bundesvereinigung Logistik.

Die Vorstellungen der Projektergebnisse ist für weitere Fachtagungen geplant, wie z.B. bei einem Vortrag im Rahmen des Tongji-Tages, einer gemeinsamen Veranstaltung Tongji-Universität Shanghai und der Technischen Universität Darmstadt (**H2**).

## Literaturverzeichnis

Bartholomae, Florian W.; Wiens, Marcus (2016): Spieltheorie. Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch. Wiesbaden: Springer Gabler.

Beaufils, Bruno; Delahaye, Jean-Paul; Mathieu, Philippe (1997): Our Meeting with Gradual, A Good Strategy for the Iterated Prisoner's Dilemma. In: Proceedings of the International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems, S. 202–209.

Breen, Liz (2006): Give me back my empties or else! A preliminary analysis of customer compliance in reverse logistics practices (UK). In: *Management Research News* 29 (9), S. 532–551.

Carrano, Andres L.; Pazour, Jennifer A.; Roy, Debjit; Thorn, Brian K. (2015): Selection of Pallet Management Strategies Based on Carbon Emissions Impact. In: *International Journal of Production Economics* 164, S. 258–270.

Disponaut (2016): Wie der Palettentausch in Europa funktioniert. Online verfügbar unter <http://www.disponaut.de/verkehrstraeger/strasse/single-view/nachricht/wie-der-palettentausch-in-europa-funktioniert.html> (zuletzt geprüft am 01.12.2017)

Duraccio, Vincenzo; Elia, Valerio; Forcina, Antonio (2015): An activity based costing model for evaluating effectiveness of RFID technology in pallet reverse logistics system. In: Proceedings of the International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM): AIP Publishing LLC, 570005-1 - 570005-4.

Glock, Christoph H. (2017): Decision Support Models for Managing Returnable Transport Items in Supply Chains. A Systematic Literature Review. In: *International Journal of Production Economics* 183, S. 561–569.

Gnoni, M. G.; Lettera, G.; Rollo, A. (2011): A simulation comparison analysis of effective pallet management scenarios. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), S. 1228–1232.

Grimm, J.; Hofstetter, J. S. (2011): Optimierungspotenzial: Palettentausch. In: *Handelszeitung Special* 21.04.2011, S. 48.

Grimm, Jörg; Hofstetter, Joerg S.; Stölzle, Wolfgang (2010): EUR/EPAL-Paletten-Marktstudie Schweiz. Die St. Galler Paletten-Studie. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier.

GS1: Putting Blockchain to the Test. Key Findings from Germany's Largest Cross-Company Pilot Project. Report. Online verfügbar unter [https://www.gs1-germany.de/service/datei-download/?tx\\_gs1base%5Baction%5D=processDownload&tx\\_gs1base%5Buid%5D=84791&tx\\_gs1base%5Bfilename%5D=putting\\_blockchain\\_to\\_the\\_test.pdf&tx\\_gs1base%5Bsource%5D=fa](https://www.gs1-germany.de/service/datei-download/?tx_gs1base%5Baction%5D=processDownload&tx_gs1base%5Buid%5D=84791&tx_gs1base%5Bfilename%5D=putting_blockchain_to_the_test.pdf&tx_gs1base%5Bsource%5D=fa) l (zuletzt geprüft am 20.04.2020)

Guzman-Siller, Cristina; Twede, Diana; Mollenkopf, Diane (2010): Differences in the Perception of Pallet Systems between U.S. and Canadian Grocery Retailers. In: *Journal of Food Distribution Research* 41 (3), S. 84–97.

Hagenlocher, S.; Wiltling, F.; Wittenbrink, P. (2013): Schnittstelle Rampe - Lösungen zur Vermeidung von Wartezeiten. Schlussbericht für das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/laderampe-schlussbericht-schnittstelle-rampe.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/laderampe-schlussbericht-schnittstelle-rampe.pdf?__blob=publicationFile) (zuletzt geprüft am 14.01.2021)

Hector, Bernhard; Knorre, Jürgen; Becker, Alexander (2015): Paletten-Handbuch. Tausch - Rechtspraxis - Trends. 3., komplett überarbeitete Auflage (DVZ-Praxis).

Hung Lau, Kwok; Wang, Yiming (2009): Reverse logistics in the electronic industry of China. A case study. In: *Supply Chain Management* 14 (6), S. 447–465.

Iassinovskaia, Galina; Limbourg, Sabine; Riane, Fouad (2017): The Inventory-Routing Problem of Returnable Transport Items with Time Windows and Simultaneous Pickup and Delivery in Closed-Loop Supply Chains. In: *International Journal of Production Economics* 183, S. 570–582.

Jüngst, I. (2018): Pläne für die Palette: Effizientes Palettenmanagement bei Dachser – neue Plattform für alle Beteiligten in der Logistik. In: *Trans aktuell*, Nr. 16/17, S. 11.

Lange, V.; Hoffmann, J. (2009): Empirische Kostenanalyse des Tauschverfahrens im Europalettenpool. Online abrufbar unter [https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20150/Flyer1/Produktblatt\\_Palettenstudie.pdf](https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20150/Flyer1/Produktblatt_Palettenstudie.pdf) (zuletzt geprüft am 20.04.2020)

Law, Averill M. (2013): Simulation modeling and analysis. 5. ed. New York, NY: McGraw-Hill Education (McGraw-Hill series in industrial engineering and management science).

Löw, M. (2008): Analyse zum Zug-um-Zug Palettentausch. Köln: GS1 Germany GmbH.

Manuj, Ila; Mentzer, John T.; Bowers, Melissa R. (2009): Improving the Rigor of Discrete-Event Simulation in Logistics and Supply Chain Research. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 39 (3), S. 172–201.

Qinghua, Zhang; Jun, Wei; Guoquan, Cheng; Zhuan, Wang; Dawei, Yan; Shanshan, Zhao (2009): Pallet rental information system based on RFID. In: Proceedings of the Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), S. 886–891.

Twede, Diana; Mollenkopf, Diane; Guzman-Siller, Cristina (2007): A Market-Driven Investigation of Pallet Trends in Grocery Chains. In: *Journal of Food Distribution Research* 38 (1), S. 161–169.

Wang, Y.; Li, Y.; Liang, Q.; Sheng, J.; Shang, W. (2016): A hybrid evaluation method for pallet quality evaluation. In: Proceedings of the International Multi-Conferences on Complexity, Informatics and Cybernetics (IMCIC) / Society and Information Technologies (ICSIT). S. 96–100

Wild, Claudia (2015): Palettentausch. Den Warenträger im Blick behalten. In: *Eurotransport*, 2015 (EuroTransportMedia Verlags- und Veranstaltungs-GmbH). Online verfügbar unter <https://www.eurotransport.de/artikel/palettentausch-den-waretraeger-im-blick-behalten-6761049.html> (zuletzt geprüft am 20.04.2020)