



# Was uns bewegt – ein Potpourri der Logistik

Tagungsband 2024, Graz

07.05.2024



# **Was uns bewegt – ein Potpourri der Logistik**

Logistikwerkstatt Graz 2024

07.05.2024





**Herausgeber:**

Institut für Technische Logistik, Technische Universität Graz  
Christian Landschützer

**Redaktion:**

Petra Gasser  
Christian Landschützer

**Cover:**

Verlag der Technischen Universität Graz

**Coverbilder:**

Grazer Uhrturm: Graz Tourismus - Harry Schiffer  
TU Graz: Helmut Lunghammer  
Sonstige: Pixabay.com / Kein Bildnachweis nötig

2024 Verlag der Technischen Universität Graz  
[www.tugraz-verlag.at](http://www.tugraz-verlag.at)

**Reihe:**

Logistik Werkstatt Graz / ISSN 2411-3735

ISBN 978-3-85125-995-7  
DOI 10.3217/978-3-85125-995-7



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons  
Namensnennung 4.0 International (CC BY) Lizenz.  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Diese CC-Lizenz gilt nicht für das Cover, Materialien von  
Dritten (anderen Quellen zugeschrieben) und anderweitig  
gekennzeichnete Inhalte.

Sämtliche Präsentationsfolien (S. 1-168) sind nicht in der  
CC-Lizenzierung dieser Publikation enthalten.

# Vorwort - Christian Landschützer

Potpourri [ˈpɔtpuri], das, Substantiv, Neutrum: *Zusammenstellung verschiedener durch Übergänge verbundener (meist bekannter und populärer) Melodien. französisch potpourri, eigentlich = Eintopf (aus allerlei Zutaten)*<sup>1</sup>.

Ja, liebe Damen und Herren Teilnehmende und Vortragende der heurigen Logistikwerkstatt, ist nicht die Logistik auch ein Potpourri ganz vieler Disziplinen, die miteinander verbunden ein harmonisches Ganzes ergeben, von denen uns manch eine vertrauter und manche weniger vertraut vorkommt? Dann ist doch gerade unsere mittlerweile langjährig etablierte Veranstaltung der optimale Ort, um den Klang von Neuem, vielleicht sogar Fremdem aufzunehmen und in das eigene Verständnis von Logistik zu integrieren. Zumindest hat uns vom Organisationsteam der Gedanke bewegt, im Suchen um eine große Klammer über die 15 unterschiedlichen Vorträge, ebendiese Breite unseres Faches in den Vordergrund zu stellen.

Und so finden Sie geschätzte Damen und Herren heuer vier große Blöcke im Programm, die wir in der abschließenden „Werkstatt“ wieder interaktiv verbinden wollen:

- Aus der **Wissenschaft** erfahren Sie Ziele und Visionen der TU Graz mit konkreten Umsetzungsbeispielen, die Forschungserfolgsgeschichte zum marktreifen Produkt der Biomasse-logistik- und -verfahrenstechnik bis hin zu aktuellen Herausforderungen mit Nachhaltigkeit von unseren Top-Forscher:innen.
- **Innovative Technologien** und IT für performante Materialflüsse aus der industriellen Praxis führen uns über deren Einsatz im B2B und B2C hin zu Fragen, wie diese auch patentrechtlich zu schützen sind.
- Schon ein Fixpunkt im Programm der Logistikwerkstatt ist die **KEP- und E-Commerce-Branche**, der sich das Forschungsteam am ITL schon seit vielen Jahren besonders verbunden fühlt. Auch hier steht die Automatisierung bis hin zum dark warehouse im Vordergrund.
- Abschließend folgt ein für Sie gegebenenfalls unerwarteter Block mit **Holz im Maschinenbau**. Die Menschheitsgeschichte über hat ebendieser Werkstoff unser Bauen und Arbeiten dominiert und die Vortragenden werden das Interesse des Auditoriums, warum gerade jetzt und hier in Österreich ein guter Zeitpunkt ist, Holz wieder in den Vordergrund zu rücken, nicht nur wecken, sondern bestimmt auch alle Fragen dazu souverän beantworten.

---

<sup>1</sup> <https://www.duden.de/rechtschreibung/Potpourri> abgerufen am 16.4.2024

Und so klingt dieser Tag hoffentlich, auch durch das Vorliegen dieses Tagungsbandes, in Ihrem Kopf als Ganzes weiter und aus dem Potpourri wird durch unser aller kognitiven Fähigkeiten, die uns über kurz oder lang gewiss von jeder Maschine (KI) abheben werden<sup>2</sup>, eine Harmonie im Zusammenwirken; die Logistik braucht's – viel Spaß und ein aufrichtiges Danke für Ihr Kommen, Ihren Vortrag und an mein wunderbares Team, Ihr

Christian Landschützer, Assoc.Prof. DI Dr.techn. Prof.h.c.

Herausgeber der Schriftenreihe "Logistik Werkstatt Graz"

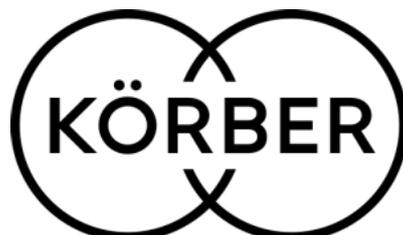
---

<sup>2</sup> Siehe dazu auch gerne das Vorwort zu KI und Intelligenz im Tagungsband 2023 der Logistikwerkstatt.





## Sponsoren







# Programm

START	
08:30	Empfang der Teilnehmerinnen und Teilnehmer
09:00	Begrüßung <i>Horst Bischof, Rektor der TU Graz &amp; Andrea Höglinger, Vizerektorin TU Graz</i> <i>Franz Haas, Dekan d. Fakultät für Maschinenbau &amp; Wirtschaftswissenschaften der TU Graz</i> <i>Domenik Kaefer, Professor am Institut für Technische Logistik der TU Graz</i> <i>Christian Landschützer, Professor am Institut für Technische Logistik der TU Graz</i>
Erkenntnisse und Projekte der Wissenschaft	
09:30	Beiträge der TU Graz: Andrea Höglinger, Vizerektorin TU Graz Domenik Kaefer, Institut für Technische Logistik Christian Landschützer, Max Cichocki, Institut für Technische Logistik, Eva Reitbauer, Institut für Geodäsie
10:20	Rupert J. Baumgartner, Institut für Umweltsystemwissenschaften, Universität Graz
10:50	Kaffeepause u. Networking
Innovative Technologien und IT für performante Materialflüsse	
11:15	Peter Stelzer, ivii GmbH
11:30	Gabriela Prelog Aigner, xalax GmbH
11:45	Markus Neumayer, Amazon Logistics
12:00	Oliver Schulze, Körper Supply Chain Logistics GmbH
12:15	Schnelle Fragerunde
12:30	Mittagessen u. Networking
KEP und E-Commerce - Automatisierung in der Intralogistik	
13:30	Robert Reithofer, SSI SCHÄFER IT SOLUTIONS GMBH
13:45	Sandra Lückmann, BEUMER Maschinenfabrik GmbH & Co. KG
14:00	Jan Sølling-Jørgensen, CALJAN GmbH
14:15	Franz Leitner, Österreichische Post AG
14:30	Schnelle Fragerunde
14:45	Kaffeepause u. Networking
Holz im Maschinenbau: Eine umfassende neue Vision	
15:15	Christoph Alt, ligenium GmbH Wolfgang Knöbl, Weitzer Woodsolutions GmbH Michael Schedler, LTW Intralogistics GmbH
16:15	Kurze Pause
WERKSTATT u. AUSKLANG	
16:30	Ein Potpourri, oder: Lässt sich das alles unter einen Hut bringen? Gemeinsame Erörterung - Podiumsdiskussion
17:15	Zusammenfassung und Ausklang

# Inhaltsverzeichnis

## Konferenzbeiträge

---

1. Smart, green, Logistik! .....	1
<i>Andrea Höglinger</i>	
2. Logistik, die uns bewegt.....	7
<i>Domenik Kaefer</i>	
3. Kompostwender 4.0: Ein Best-Practice Beispiel für die Automatisierung .....	33
<i>Christian Landschützer, Eva Reitbauer, Max Cichocki</i>	
4. Logistik und Nachhaltigkeit: Herausforderungen und Ansatzpunkte .....	43
<i>Rupert J. Baumgartner</i>	
5. BRIDGE THE REALITY GAP. Visuelle Intelligenz als Gamechanger für performante Materialflüsse.....	63
<i>Peter Stelzer</i>	
6. Patente in der Logistik .....	73
<i>Oliver Schulze</i>	
7. E-Commerce in der Lagerlogistik.....	81
<i>Robert Reithofer</i>	
8. Dark Depots - Zukunft oder Gegenwart?.....	91
<i>Sandra Lückmann</i>	
9. Automatic Loading & Unloading. Inbound and outbound automation with Caljan.....	101
<i>Jan Sølling-Jørgensen</i>	
10. Die Logistik-Revolution: Effizienz im KEP-Markt neu definiert .....	119
<i>Franz Leitner</i>	
11. Nachhaltige modulare Logistiklösungen für eine klimaneutrale und ressourcenschonende Produktion .....	131
<i>Christoph Alt</i>	
12. WOOD WORKS .....	143
<i>Wolfgang Knöbl</i>	
13. Holzregale in Silobauweise. Ein Erfahrungsbericht aus der Praxis.....	155
<i>Michael Schedler</i>	



## Volltextbeiträge

---

14. Simulationsbasierte Weiterentwicklung einer Berechnungsvorschrift für Taschensortersysteme ..... 169  
*Patrick Kröpfl, Alexander Ortner-Pichler, Andreas Siegl, Christian Landschützer, Jürgen Neugebauer*
15. Modellierung von forminstabilen Kleinsendungen mittels Multi Flexible Body Dynamics ..... 185  
*Gabriel Leitner, Dominik Stadlthanner, Alexander Ortner-Pichler*
16. Entwicklung einer Systematik zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Layouts für Paketverteilzentren ..... 203  
*Harald Steinkellner, Domenik Kaefer*
17. Methode zur Zuordnung des Energieverbrauchs eines Paketverteilzentrums zu einzelnen Paketen mittels ereignisdiskreter Materialflusssimulation ..... 217  
*Gerald Mahringer*





# Smart, green, Logistik!

Mag. Andrea Höglinger



Mag.

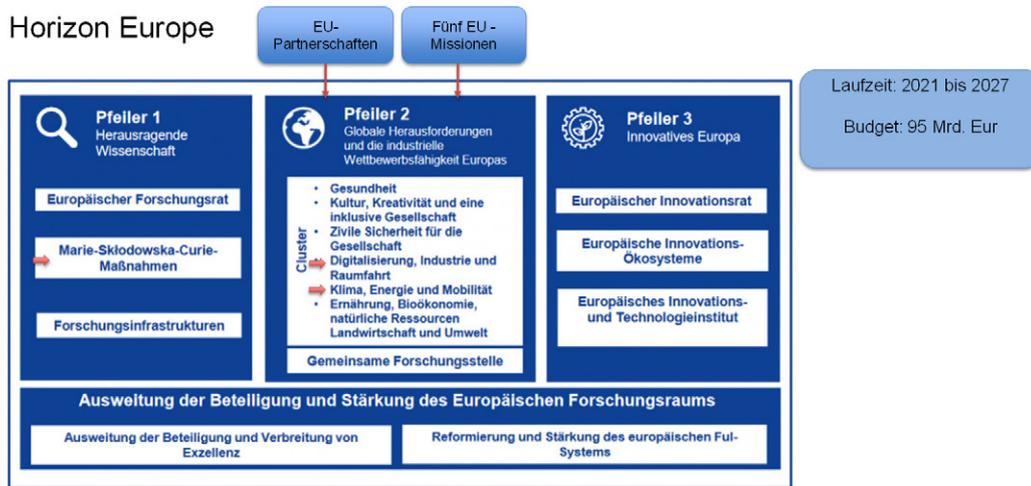
**Andrea Höglinger**

- Vizerektorin für Forschung an der Technischen Universität Graz
- „Die TU Graz liegt im Herzen des hervorragenden Forschungs- und Innovationsstandortes Europa.“

1

## Forschung und Innovation in Europe

### Horizon Europe



Logo bei Identifizierung des Marktes Fettes am Master anfügen (optisch links neben dem TU Graz Logo) und Pflichtenheft (Steuern, Rechte) am Master fügen. Hier könnte ihr Logo stehen.

2

## Österreich in Horizon Europe

Europa	Projekte: 10.370	Beteiligungen: 71.171	Förderungen 30 Mrd Eur
Österreich:	Projekte: 1.343	Beteiligungen: 2.117	Förderungen: 989,9 Mio Eur
	Österreich ist an 13,4% aller Projekte beteiligt	3% aller Beteiligungen	<b>Österreich ist im Bereich Forschung auf EU-Ebene „Nettoempfänger“</b>
	355 österreichische Koordinationen	Erfolgsquote Österreich: 22,2%	



Steiermark: bisher rund 200 Mio Förderungen

Logo bei Identifizierung des Marktes Fettes am Master anfügen (optisch links neben dem TU Graz Logo) und Pflichtenheft (Steuern, Rechte) am Master fügen. Hier könnte ihr Logo stehen.

3

## Und welche Rolle spielt die Logistik in Horizon Europe?

Logistikthemen insbesondere im Cluster 5 „Digital and Industry“

Themenbeispiele aus dem letzten Call

- Logistic aspects of Supply Chain
- Circular economy in process industries: Upcycling large volumes of secondary resources (Processes4Planet partnership)
- Manufacturing as a Service: Technologies for customised, flexible, and decentralised production on demand (Made in Europe Partnership)
- Technologies/solutions to support circularity for manufacturing (Made in Europe Partnership)
- Smart sensors for the Electronic Appliances market
- Innovative technologies for sustainable and decarbonised extraction
- Technologies for processing and refining of critical raw materials
- Drivers and success factors for progress towards Industry 5.0
- ....

Viele der Themen standen in Zusammenhang mit Rohstoffen, Produktionsprozessen und advanced materials sowie KI unterstützte Lieferketten für primäre und sekundäre Materialien

Logo bei Dekanatswahl des neuen Fakultätensprechers anfragen (gibt es hier als TU Graz Logo) und Platzhalter (Name, Rechte) eintragen

Hier könnte ihr Logo stehen

4

## Und welche Rolle spielt die Logistik im aktuellen Call?

Cluster 5 „Digital and Industry“ Callöffnung heute: **7. Mai 2024**

HORIZON-CL5-2024-D6-01-06: Optimising multimodal network and traffic management, harnessing data from infrastructures, mobility of passengers and freight transport

HORIZON-CL5-2024-D6-01-07: Scaling up logistics innovations supporting freight transport decarbonisation in an affordable way

HORIZON-CL5-2024-D6-01-08: Improved transport infrastructure performance – Innovative digital tools and solutions to monitor and improve the management and operation of transport infrastructure

HORIZON-CL5-2024-D6-01-09: Policies and governance shaping the future transport and mobility Systems

Lieferketten für Rohstoffe sowie Primär- und Sekundärmaterialien sind im aktuellen Call ebenso ein starkes Thema.

Transport-, Energie- und Datenlogistik sowie Produktion- und Recyclinglogistik stehen zudem im Fokus.

Logo bei Dekanatswahl des neuen Fakultätensprechers anfragen (gibt es hier als TU Graz Logo) und Platzhalter (Name, Rechte) eintragen

Hier könnte ihr Logo stehen







# **Logistik, die uns bewegt**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Domenik Kaever



Univ.-Prof. Dr.-Ing.

## Domenik Kaever

- Universitätsprofessor und Leiter des Instituts für Technische Logistik der Technischen Universität Graz

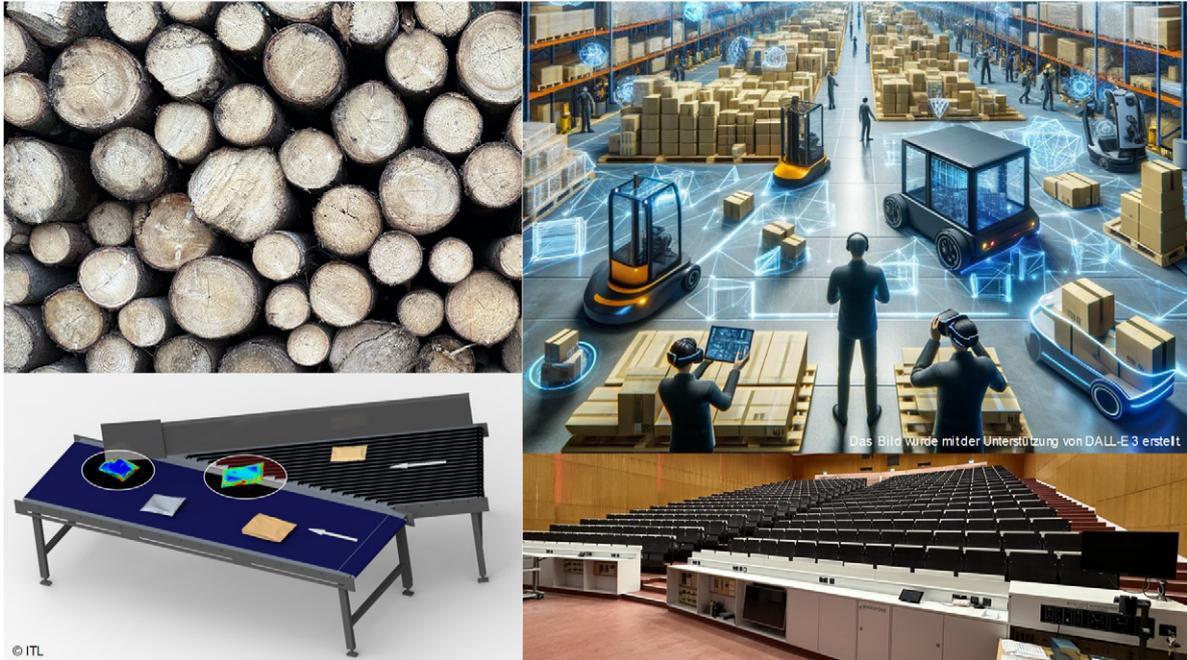


# Logistik, die uns bewegt



## Uns bewegen so viele Themen:

- Deshalb haben wir die Logistikwerkstatt Graz dieses Jahr mit dem Titel „Was uns bewegt – ein Potpourri aus der Logistik“ angesetzt.
- Ist eben ein Zeichen dafür, dass Logistik vielfältig ist.
- Automatisierung, KI, Mensch in der Logistik, Nachwuchs und Recruiting von neuen Studierenden, Holz im Maschinenbau, Digitaler Zwilling, Industrial Metaverse, ...



Ich habe mir für heute vier Themen ausgesucht:

- Holz im Maschinenbau (mittelfristig),
- Digitaler Zwilling (kurzfristig) – vernetzt mit dem Thema Holz (Vision der nachwachsenden Fördertechnik),
- Industrial Metaverse (langfristig) – vernetzt mit dem Thema Digitaler Zwilling als „Core Building Block“ des Industrial Metaverse,
- Lehre – Rückkehr der Studierenden in die Hörsäle nach der Corona-Pandemie.

# HOLZ bewegt uns



„Auf dem Holzweg zu sein heißt  
den Weg zu kennen“

Holztechnisches Kolloquium Dresden 2024

© BFW

nl

Einige ausgewählte Fakten zum Thema Holz (Thema passt so gut in die Steiermark):

- In Österreich wächst pro Sekunde ca. 1 m<sup>3</sup> Holz nach (entspricht ca. 2.000 Einfamilienhäusern pro Jahr)
- Ca. 48 % der Fläche in Österreich sind Wald (entspricht ungefähr der Fläche der Schweiz)
- Die Steiermark ist mit 1.006.000 Hektar das walddreichste Bundesland Österreichs, das entspricht 61,4 % der Fläche
- 1 m<sup>3</sup> Holz bindet 1 Tonne CO<sub>2</sub>



## Warum Holz?

**Ergonomisch**  
**Leicht**  
**Leise**  
**Nachhaltig**  
**Schonend**

...



### Gründe, die für den Einsatz von Holz sprechen:

- Ergonomisch
  - Verbesserung der Arbeitsbedingungen für den Menschen durch Optik, Haptik & Geruch
- Leicht
  - Realisierung von leichteren Konstruktionen im Vergleich zur Stahl-Bauweise
- Leise
  - Das Dämpfungsverhalten von Holz kann helfen, die Geräuschemissionen von Fördertechnik zu reduzieren und so die Arbeitsbedingungen für den Menschen zu verbessern.
- Nachhaltig
  - Ökologisch: Nachwachsende Fördertechnik mit besserer CO<sub>2</sub>-Bilanz als Stahl
  - Ökonomisch: Initiale Investitionskosten für Holzkonstruktionen nicht immer konkurrenzfähig (Bsp.: Fördertechnik), ggf. Verbesserung der Bilanz bei längerer Lebensdauer durch Modularität
  - Sozial: Verbesserung der Arbeitsbedingungen für den Menschen, siehe Ergonomie
- Schonend
  - Lagerung und Transport von kratzempfindlichen Bauteilen

## Zusammen Holz ins Gespräch bringen



Der neue Konferenztisch am Institut für Technische Logistik soll helfen, die Diskussion zum Thema „Holz in der Logistik“ anzuregen.



# „Holzköpfe“ Gemeinsam stark





Innovationszentrum  
W.E.I.Z.



HOLZCLUSTER  
Holzcluster



Weitzer  
Woodsolutions  
Wood works.



Institut für Technische Logistik (ITL)  
Institute of Logistics Engineering

Technische Universität Graz  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dominik Klauer  
Institute

Prof. Dr. Ing. Dominik Klauer  
z.H. Frau Mag. (FH) Bernadette Kauer  
Franz Postner-Gasse 10  
A-8160 Weiz

info@itl.tugraz.at  
www.itl.tugraz.at  
DIN 68874-1 UND ATU 1717/1209

Oct. 16.03.2024

**Letter of Intent**

Sehr geehrte Frau Mag. (FH) Kauer!

Mit diesem Schreiben dürfen wir unser besonderes Interesse an dem geplanten Vorhaben

**„Wood Vision“**

welches im Rahmen der Ausarbeitung „Mobilität und Luftfahrt 2023: Innovationskultur – Anwendung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft und des Designings in den Branchen der Mobilität“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie eingereicht wird, zum Ausdruck bringen.

Unter dem Dach der Wood Vision Lab GmbH soll aufwändig auf eine 10-jährige Forschungs- und Entwicklungsphase rund um Leitprojekte wie „Wood.A.R.“ (Comet, 2021-2022) und „CARPET“ (Comet, 2021-2022) ein neues Innovationslabor unter dem Titel „Wood Vision“ geschaffen werden, das wesentlich dabei unterstützen soll, die bisher aufgetane Wissen zu Holz und Holzbauteilen Materialen in neuen, höchlich Leichtbau-Anwendungen in der Mobilität nicht nur abzusichern, sondern fortlaufend zu vertiefen und zu erweitern. Das hier für angestrebte Innovationslabor soll als Katalysator für Innovationen und Wissensanreize dienen, sowohl in der wissenschaftlichen Gemeinschaft als auch in der industriellen Wirtschaft, aber in Vernetzung und in enger Zusammenarbeit mit bestehenden Branchen-, Industriellen- und Clusterorganisationen, um die Entwicklung nachhaltiger und technologisch fortschrittlicher Lösungen im Bereich des leistungsfähigen Leichtbaus rund um den nachwachsenden Rohstoff Holz weiter voranzutreiben.

Die Betreibern des geplanten Innovationslabors besetzt somit darin, entlang der gesamten Wertschöpfungskette für Holz- und Holzbauteile Materialien in neuen Anwendungen – insbesondere der Mobilität (begrenzt beim Fern- über die industriellen Wirtschaft bis zu den Anwendungsbereichen) – innovative, ökologische und kreislauffähige Produktlösungen aufzulegen und etablieren zu lassen, dafür

Die Welt der „Holzköpfe“ ist klein, Kooperation – auch über Landesgrenzen hinweg – sehr wichtig

- Zusammenarbeit Beispiel 1: Beteiligung des ITLs beim „Wood Vision Lab“
- Zusammenarbeit Beispiel 2: Produktion eines modularen Plattenwagens von ligenium aus Chemnitz bei der Firma Weitzer in Weiz

# Holz in der Logistik Alles andere als neu

Quelle: Siemens Logistics

© picture alliance/dpa | Rolf Vennenbernd

Quelle: Flughafen München

Quelle: Fachvortrag auf dem 17. Holztechnologischen Kolloquium (28.-29.04.2016) in Dresden Eichhorn et al. Verwendung von Holzwerkstoffen in Fördertechnik der Automobilfertigung

Holz kommt bereits in vielen Teilen der Logistik zum Einsatz:

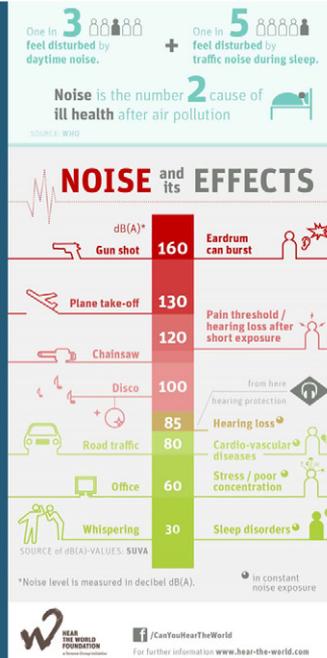
- Kippschalensorter
- Ladungsträger aus Holz
- Rutschen und Endstellen
- ...

# „VarioBelt“

Quelle: Körber Supply Chain Logistics

# Logistikzentren im Zeitalter von Industrie 5.0

## Nachhaltigkeit Menschzentrierung Resilienz



Industrie 5.0 ist eine Definition der Europäischen Kommission als Weiterentwicklung von Industrie 4.0 mit dem Fokus auf:

- Nachhaltigkeit,
- Menschzentrierung,
- Resilienz.

Am 24.04.24 war „International Noise Awareness Day“.

Akustische Simulation ist in diesem Kontext ein spannendes, vielversprechendes Feld – wie bauen wir Fördertechnik aus Holz, damit sie leise ist und den Menschen weniger belastet (Psychoakustik).



Am 25. April 2024 fand der „Autofreier Tag“ am Campus Inffeldgasse statt – gute Aktion, die zum Nachdenken bewegt.



## Der DIGITALE ZWILLING bewegt uns



Diskrete-Elemente-Methode (DEM)

Ereignisdiskrete Materialflusssimulation



Finite-Elemente-Methode (FEM)

Mehrkörpersimulation (MKS)

Multi-Flexible-Body-Dynamics (MFBD)

Akustische Simulation



Die Expertise für Simulation steckt in der „DNA“ des ITLs.

Vielleicht kommt bald auch noch die akustische Simulation hinzu – wie müssen wir Technik aus Holz bauen, damit sie leiser ist als heute („Psychoakustik“).



Horst Bischof hat es angesprochen, dass das ITL regelmäßig aufhorchen lässt:

- Zuletzt mit dem Forschungsprojekt „ISAAK“
- Simulation von biegeschlaffen Postsendungen („Polybags“)
- Beteiligung der Konsortialpartner Österreichische Post, Körber und TU Graz



## „Demokratisierung der Simulation“



„Demokratisierung der Simulation“ meint, dass auch außerhalb des Simulationsexperten-Teams in einem begrenzten Umfang Simulationen durchgeführt werden können (Bsp.: Konstrukteure, denen Simulationsfunktionalität in den verwendeten CAD-Programmen zur Verfügung gestellt wird) – automatisierte Workflows für wiederkehrende, standardisierte Simulationen aufgeben.

Für die Logistik-Branche heißt das bspw. die Durchführung von Materialflusssimulationen in einer „gekapselten“ Simulationsumgebung mit nutzerfreundlicher GUI.

# Das METAVERSE bewegt uns



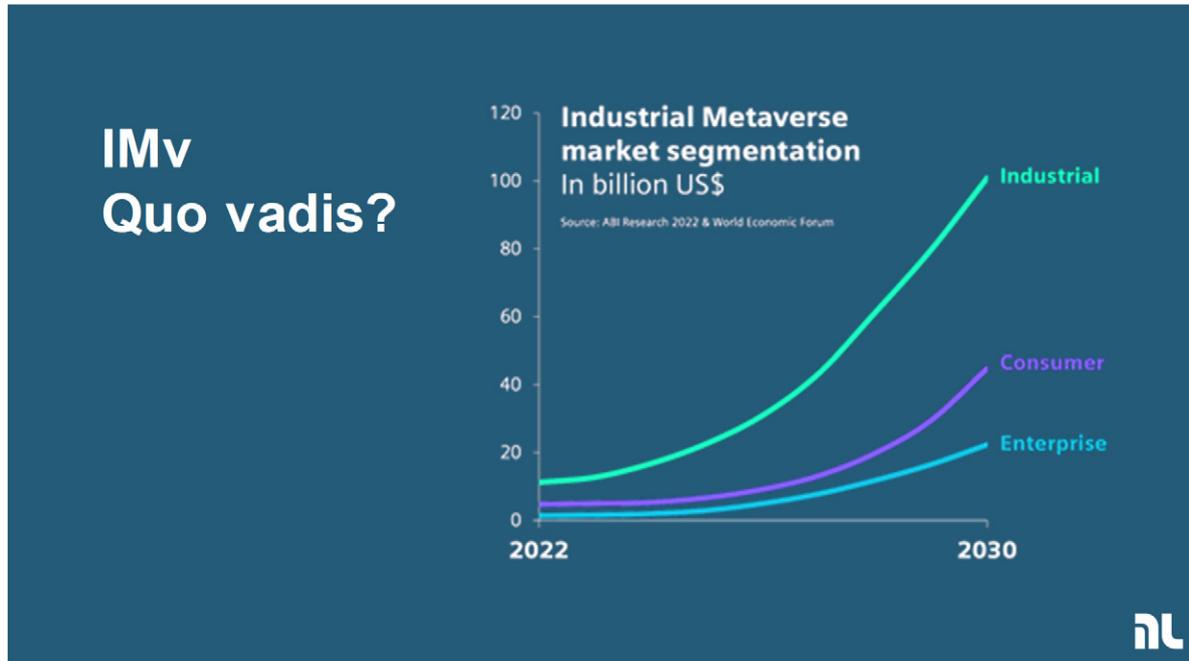
Strenggenommen, gibt es „das Metaverse“ nicht, es sind viele verschiedene.



**Immersiv**  
**Interaktiv**  
**Intuitiv**  
**Kollaborativ**  
**Nachhaltig**

...





Unterschied zwischen den 3 Marktsegmenten des Industrial Metaverse:

- Enterprise
  - Virtuelle Umgebung für Geschäftsanwendungen
  - Konsequente Weiterentwicklung der digitalen Arbeitswelt
  - Kommunikation innerhalb des Unternehmens und zwischen Unternehmen
  - Abwicklung von Geschäftsprozessen
- Consumer
  - Gaming
  - Shopping, Weiterentwicklung des Online-Shoppings
  - Besuch von virtuellen Konzerten
- Industrial
  - Immersiver Zugang zu Industrieanlagen durch fotorealistische Abbildung
  - Interaktion von mehreren Personen als Avatare in einer virtuellen Umgebung
  - Zugriff auf historische und Echtzeitdaten durch virtuelle Dashboards

22 FORUM DES TAGES **LogiMAT Daily**

# Hype oder „großes Ding“?

**INDUSTRIAL METAVERSE**  
Eine Expertendiskussion über ein (teilweise) totgeglaubtes Thema mit dem Potenzial eines 100-Milliarden-Dollar-Marktes.

Man muss gar nicht tief recherchieren, dann stößt man bei der Suche nach dem Stichwort „Industrial Metaverse“ im Netz unter anderem über das Foto eines Grabsteins mit der Inschrift: „R.I.P. Industrial Metaverse“. Blickt man auf aktuelle Studien, dann sieht man, dass der Markt für Industrial Metaverse prognostiziert bis 2030 auf 100 Milliarden Dollar ansteigen soll. Dazu passt, dass große Unternehmen, wie zum Beispiel Siemens, Millionenbudgets gerade in diese Technologie investieren. Was steckt dahinter?

Diese Frage diskutieren Experten, wie sie unterschiedlicher nicht sein können, auf dem Forum am heutigen Donnerstag ab 11:00 Uhr – als da wären: Prof. Dr.-Ing. Domenik Kaewer, Universitätsprofessor für Technische Logistik und Leiter vom Institut für Technische Logistik (ITL), Technische Universität Graz; Markus Neumayer, Regional Director bei Amazon Logistics; Theo Papadopoulos, Program Manager Simulation and Digital Twin und Head of Siemens Industrial Metaverse Lab, sowie Karin Gabriel, Innovation and Trends Research Manager, TGW Logistics Group.

**Intralogistics Metaverse?**  
Stellen wir uns eine Umgebung vor, die uns den immersiven, also eingebetteten, Zugang zu den digitalen Zwillingen von industriellen Assets ermöglicht, wie interaktiv erlebbar und kollaborativ bearbeitbar macht. Stellen wir uns dann die Frage: Welche Chancen hat das Industrial Metaverse für die Intralogistik heute? Wo wird es bereits erfolgreich angewendet? Wer profitiert am Ende? Und: Sollten wir dann auch den Mut zu

neuen Begriffen haben? Zu: Intralogistics Metaverse?

Auf dem Forum wird nicht nur die Frage gestellt (und beantwortet), weshalb Siemens Millionen in dieses Thema investiert, sondern auch, ob beim bekanntermaßen niedrigen R&D-Budget von Amazon Logistics überhaupt etwas für dieses Thema abbitt. Viel wichtiger wird aber der Blick in die Intralogistik sein. Stillverstand für viele Unternehmen wird am Beispiel TGW Logistics gezeigt, ob und wenn ja in welchem Maße dieses Thema in unserer Branche bereits eine Rolle spielt. Darüber hinaus blicken die Diskutanten auf Punkte wie:

- Zugang zum Industrial Metaverse
- Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung
- Rechtssicherheit im Industrial Metaverse
- Ethik und Verhaltenskodex

Die Moderation des Forums, die mit einem Blick in das Jahr 2030 enden soll, übernimmt Jan Kaulfuhs-Berger, Chefredakteur des Fachmagazins „Technische Logistik“, HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin. Die Veranstaltung wird simultan ins Englische übersetzt.

**LogiMAT Arena – Atrium, Eingang Ost**  
**Ab 11:00 Uhr referieren Experten über das Thema „Industrial Metaverse – Buzzword oder Chance?“**

**11:00 – 11:50 Uhr**  
**Hype um das „Industrial Metaverse“**  
Diskussion über ein Thema mit Millionen-Dollar-Potenzial

**Es diskutieren:**  
Prof. Dr.-Ing. Domenik Kaewer, Universitätsprofessor für Technische Logistik & Leiter des Instituts für Technische Logistik (ITL), Technische Universität Graz  
Markus Neumayer, Regional Director, Amazon Logistics  
Theo Papadopoulos, Program Manager Simulation & Digital Twin und Head of Siemens Industrial Metaverse Lab  
Karin Gabriel, Innovation & Trends Research Manager, TGW Logistics Group

**Moderation:**  
Jan Kaulfuhs-Berger, Chefredakteur „Technische Logistik“, HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin

Nächster Vortrag/Next lecture: 11:00 - 11:50 Uhr  
**Expert Forums**

**HYPE UM DAS INDUSTRIAL METAVERSE – BUZZWORD ODER ECHTE CHANCE?**  
**HYPE AROUND THE INDUSTRIAL METAVERSE – BUZZWORD OR GENUINE OPPORTUNITY?**

Moderation/Chaired by: **Jan Kaulfuhs-Berger**, Chefredakteur, Technische Logistik, HUSS-MEDIEN GmbH

# Industrial Metaverse @ Siemens



## Siemens investiert sehr viel Geld in die „Wette“ auf das Industrial Metaverse

- Zuletzt Ankündigung einer Investition von 500 Mio. € am Standort Erlangen
- Siemens hat eigene Werke, die als „Customer Zero“ für das IMv-Business eingesetzt werden.
- Siemens verkauft Software für die Erstellung von Digitale Zwillingen, dem „Core Building Block“ des Industrial Metaverse.

Siemens Process Simulate (links) ist mit NVIDIA Omniverse (rechts) verbunden, um einen fotorealistischen, digitalen Zwilling mit voller Designtreue in Echtzeit zu ermöglichen.



# LEERE HÖRSÄLE bewegen uns



Gründe, warum viel weniger Studierende in die Vorlesung kommen als eingeschrieben sind:

- Es gibt Überlappungen von Lehrveranstaltungen.
- Studierende nutzen die Zeit zur Prüfungsvorbereitung.
- Viele sind aus der Corona-Zeit das Studieren von zu Hause aus gewohnt; zu Hause ist es bequem.
- Es gibt keinen Grund in die Vorlesung zu gehen, weil die Prüfung jedes Jahr gleich ist und alle Informationen online verfügbar sind.

Einige "Haushaltsmittel", um die Studierenden in den Hörsaal zu „locken“:

- Dozent:innen, die für ihr Fach „brennen“, begeistern und aus dem aktuellen Berufsalltag „plaudern“
- Themen mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad in der Vorlesung erklären
- Hinweise zur Prüfung geben, die so nicht online sind



An dieser Stelle darf ich Sie und euch herzlich zu meiner Antrittsvorlesung einladen:

- 18.10.24
- 16:00
- Ort: Aula der TU Graz (Campus Alte Technik)

**ITL - Institut für Technische Logistik @ TU Graz**  
https://www.tugraz.at/institute/itl/home  
Hochschulen und Universitäten · Graz, Styria · 333 Follower:innen · 11-50 Beschäftigte

Nachricht Follower:in

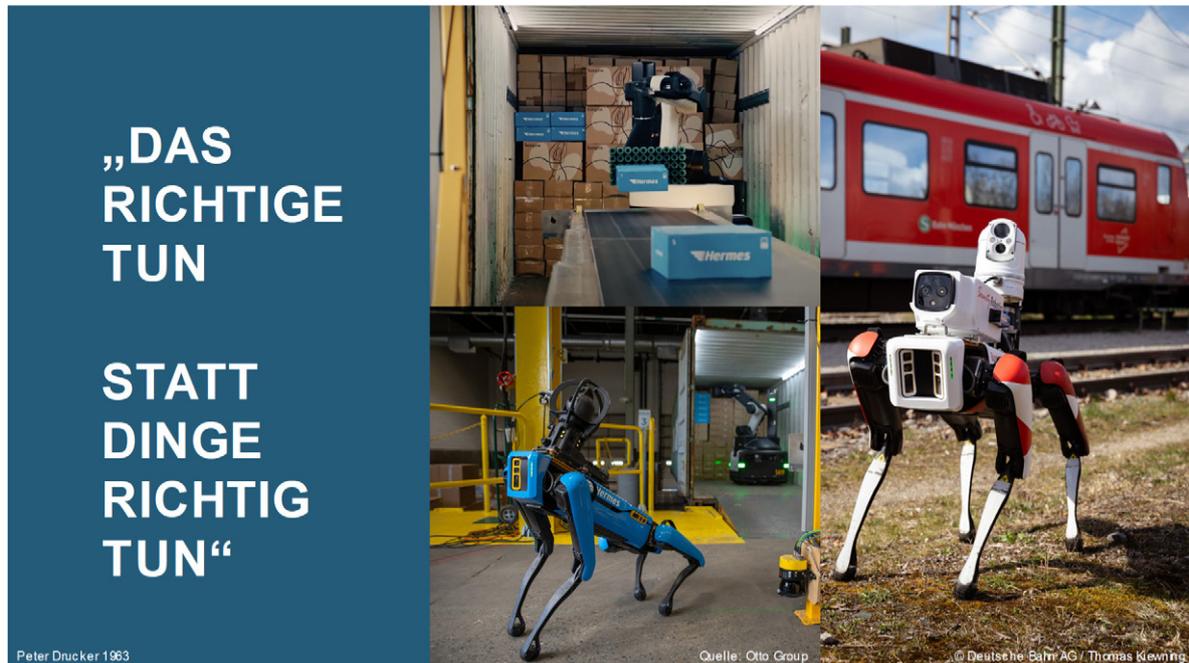
Start Info Beiträge Jobs Personen

**Info**

Welcome to the Institute of Logistics Engineering at Graz University of Technology!

Our research focus is mainly on engineering activities in the field of technical logistics. Our expertise covers the area of technical systems and processes with a focus on intralogistics. This involves the implementation and application of system/product development and optimization, supported by digital methods. Our way of working is based on fundamentals and experience. So we combine scientific principles with industrial applications in order to open up new horizons in the field of technical logistics and to achieve our objectives in the areas of science, sustainability, optimization and innovation.

Wer auch weiterhin verfolgen will, was uns als ITL bewegt, ist herzlich eingeladen unserem LinkedIn-Kanal zu folgen.



Peter Drucker:

- US-amerikanischer Ökonom
- Österreichischer Herkunft (geboren in Wien)
- Gilt als Pionier der modernen Managementlehre

Spot soll digitale Instandhaltung bei der DB unterstützen, Tests im Instandhaltungswerk Mainz-Bischofsheim laufen:

- Welleninspektion in der „Grube“
- Identifikation der Gleiswagen (Überprüfung, ob und in welcher Reihenfolge stehen)

Spot patrouilliert bei der S-Bahn in München und versucht, Graffiti-Täter auf frischer Tat zu ertappen.





# **Kompostwender 4.0: Ein Best-Practice Beispiel für die Automatisierung**

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Prof.h.c. Christian Landschützer

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Eva Reitbauer, BSc

Dipl.-Ing. Dr.techn. Max Cichocki, BSc



Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Prof.h.c.

## Christian Landschützer

- Associate Professor am Institut für Technische Logistik an der Technischen Universität Graz



Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.

## Eva Reitbauer, BSc

- Assistenzprofessorin für integrierte Navigation und Navigationssysteme am Institut für Geodäsie an der Technischen Universität Graz



Dipl.-Ing. Dr.techn.

## Max Cichocki, BSc

- Universitätsassistent am Institut für Technische Logistik der Technischen Universität Graz



# Kompostwender 4.0: Ein Best-Practice Beispiel für die Automatisierung

Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer

07.05.2024



2

## Gewerbliche Kompostierung – Status Quo

- Gängigste Form: Mietenkompostierung [1]



[1] Quelle: F. Amlinger, S. Peyer, U. Hildebrand, J. Mücken, C. Cuhls, J. Clemens (2005): Stand der Technik der Kompostierung – Grundlagenstudie.

Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

3

## Herausforderungen beim Kompostwenden

- Hohe Temperaturen
- Vibrationen
- Dämpfe
- Gase
- Unangenehme Gerüche
- Monotone Arbeit

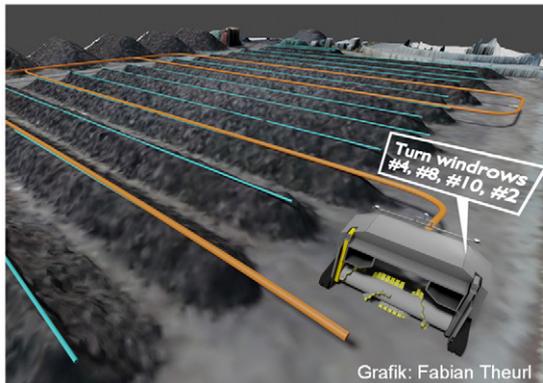


Bildquelle: Sonnerde ([Youtube](#))

Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

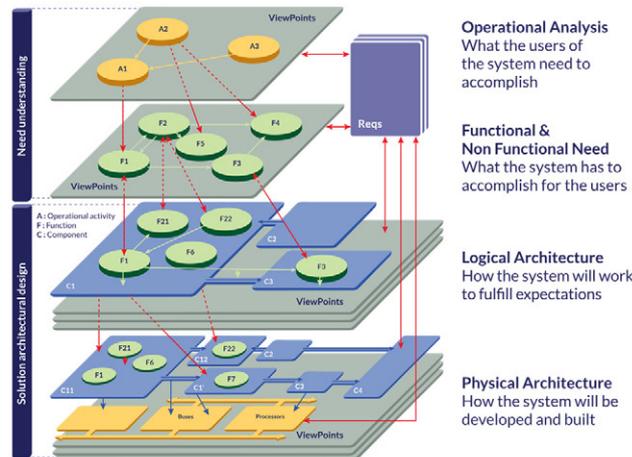
4

## Vision: Autonomer Kompostwender



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

5 Model-Based Systems Engineering (MBSE)



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

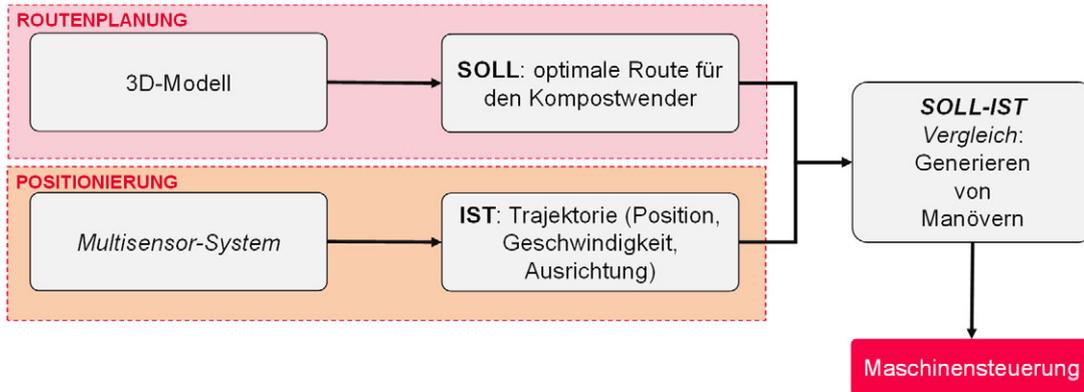
6 Anforderungen an den autonomen Kompostwender

- Robuste und hochgenaue Positionierung
- Automatisches Erkennen der Kompostmieten
- Berechnung der optimalen Routen durch die Kompostmieten
- Berechnung von Steuerbefehlen → Kompostmieten automatisiert wenden (inkl. Ausweichen von Hindernissen)



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

## 7 High-Level Logical Architecture für den autonomen Kompostwender



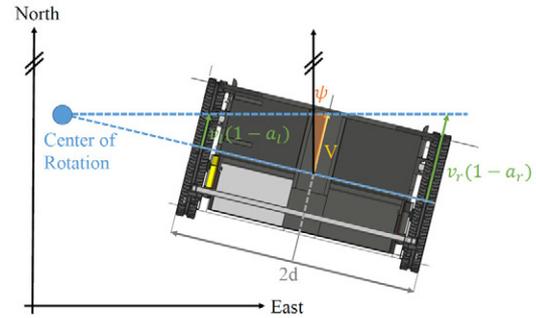
Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024



9

## Robuste und hochgenaue Positionierung

- Algorithmen speziell angepasst für
  - Kettenantrieb
  - Langsame Geschwindigkeiten
  - Hohe Vibrationen



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

10



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024



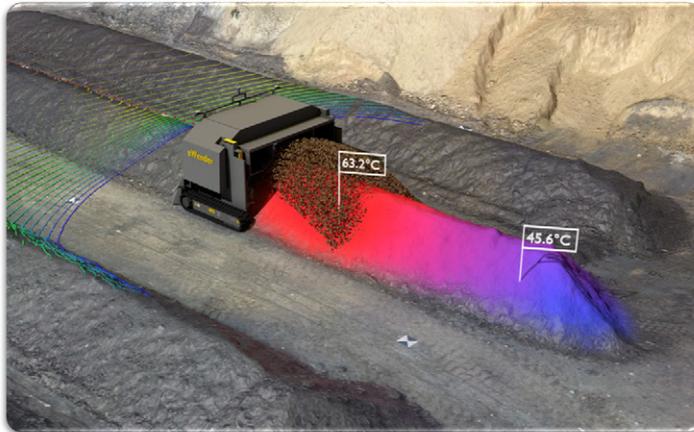
12 Aus Sicht des Kompostwenders



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

14

## Kompostierung 4.0



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024

15

## Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

### Forschungsprojekte

- ANTON (09/2019-11/2021)
- ANDREA (10/2021-09/2023)
- CONCLUSION (10/2023 – 09/2025)



### • Projektpartner



Christian Landschützer, Max Cichocki, Eva Reitbauer  
07.05.2024





# **Logistik und Nachhaltigkeit: Herausforderungen und Ansatzpunkte**

Univ.-Prof. Dr. Rupert J. Baumgartner

Univ.-Prof. Dr.

## Rupert J. Baumgartner

- AsCD-Labor für nachhaltiges Produktmanagement in einer Kreislaufwirtschaft
- Institut für Umweltsystemwissenschaften der Universität Graz



Sustainable Circularity

## Logistik und Nachhaltigkeit: Herausforderungen und Ansatzpunkte

Univ.-Prof. Dr. Rupert J. Baumgartner  
CD-Labor für nachhaltiges Produktmanagement in einer Kreislaufwirtschaft  
Institut für Umweltsystemwissenschaften der Universität Graz  
7. Mai 2024

*We work for*  
**tomorrow**

[www.uni-graz.at](http://www.uni-graz.at)



## Agenda



- Herausforderung Nachhaltigkeit und Klimawandel
- Was bedeutet Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext?
- Ansatzpunkte für eine nachhaltige Logistik



## Forschungsthemen Gruppe Prof. Rupert Baumgartner (1)



- Nachhaltigkeitsstrategien und nachhaltige Geschäftsmodelle
  - Strategisches Nachhaltigkeitsmanagement, Organisationskultur und Veränderungsprozesse (z.B. großer Kurierdienstleister)
  - Treiber, Barrieren und Erfolgsfaktoren von nachhaltigen Geschäftsmodellen
- Nachhaltigkeitsbewertung
  - LCA, SLCA und LCSA von Produkten, Technologien oder Organisationen
  - Second-order sustainability assessment



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

3

## Forschungsthemen Gruppe Prof. Rupert Baumgartner (2)



- nachhaltige Produktgestaltung
  - Integration von Nachhaltigkeit in frühe Produktentwicklungsphasen (z.B. heavy duty powertrains)
  - Checklist Sustainable Product Development
  - Circular Product Design
- Circular Economy und sustainable supply chain management
  - Circular business models (circular sprint guide)
  - Regionale Geschäftsmodelle
  - Rolle von social enterprises
  - Digitale Produktpässe (z.B. Batterie Elektrofahrzeuge)



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

4



## Christian-Doppler-Labor für nachhaltiges Produktmanagement in einer Kreislaufwirtschaft

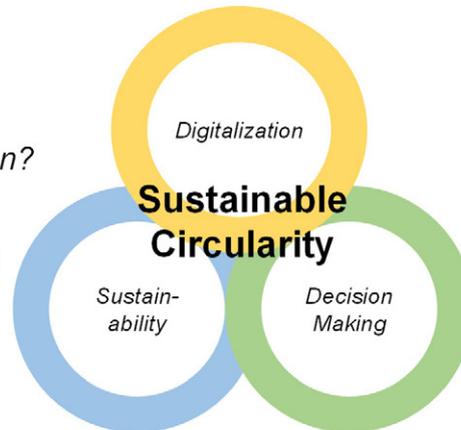


### Forschungsfrage:

*Wie können mittels digitaler Methoden Produkte nachhaltiger gestaltet werden?*

### Unternehmenspartner:

- iPoint Systems
- AVL List GmbH



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

5

## HERAUSFORDERUNG NACHHALTIGKEIT UND KLIMAWANDEL



6

# Europäische Gesetzgebung

## European Green Deal



- Klima und Energie
  - bis 2030 minus 55% THG im Vergleich zu 1990 & bis 2050 Klimaneutralität (Österreich strebt bis 2040 Klimaneutralität an)
  - Mind. 40% erneuerbare Energie bis 2030
- Kreislaufwirtschaft (weit über Abfallwirtschaft hinaus!)
  - Recyclingquoten (65% Haushaltsabfälle und 70% Verpackungsabfälle bis 2030)
  - Vorgaben zu Produktgestaltung (detailliert in SPI), öffentliche Beschaffung, Produktion oder Einbeziehung von Konsumenten
  - Sektoren: Elektronik, Fahrzeuge und Batterien, Textilien, Verpackungen, Kunststoffe, Bau/Gebäude, Lebensmittel



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

7

# Europäische Gesetzgebung

## European Green Deal



- Sustainable Product Initiative (SPI)
  - Geht über Energieeffizienz weit hinaus, right to repair, digitale Produktpässe
- Sustainability Reporting
  - CSRD ab 2024 bzw. 2026 für KMU
- Taxonomieverordnung
- Richtlinie zu Corporate Sustainability Due Diligence („EU-Lieferkettengesetz“)



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

8



## Rauchende Schloten = Wohlstand



Denscher (2012)



Stiftung Ruhr Museum



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

9

## Umweltschäden und -katastrophen



- Carson's „Silent Spring“ (Pestizideinsatz 1962)
- Abbau der stratosphärischen Ozonschicht/Ozonloch (seit 1974)
- Verschmutzung Flüsse und Grundwasser (Mur als „Europameister“)
- Saurer Regen und Waldsterben (1976-2003)
- Smog (London, 1952; China, 2013)
- Industrieunfälle: Seveso (Dioxin, 1976), Bhopal (Chemieunfall, 1984), Basel (Brand Sandoz, 1986)
- AKW-Unfälle (Three Mile Island 1979, Tschernobyl 1986, Fukujima 2011)

➤ *Versuch, diese Probleme mit Einzelmaßnahmen zu lösen*



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

10

# Lösung von Umweltproblemen



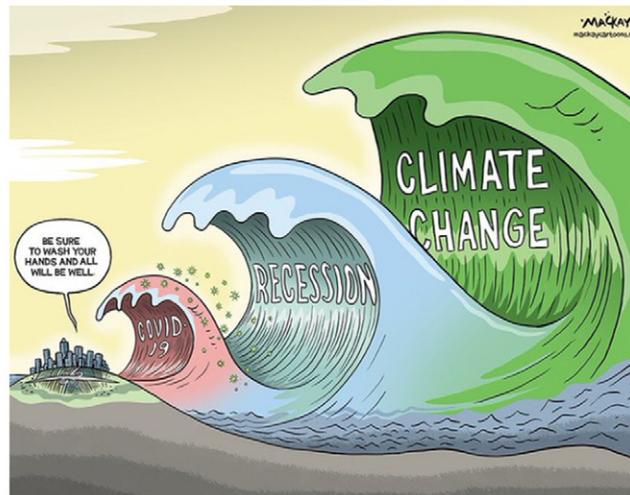
- Verdünnung ist die Lösung
- Emissionskontrolle ist die Lösung
- Emissionsvermeidung ist die Lösung
- Produktionsintegrierter Umweltschutz / Cleaner Production ist die Lösung
- Nachhaltige Produktions- & Konsummuster von Produkten und Dienstleistungen innerhalb von Ökosystemgrenzen ist die Lösung



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

11

# Krisen überlagern sich...

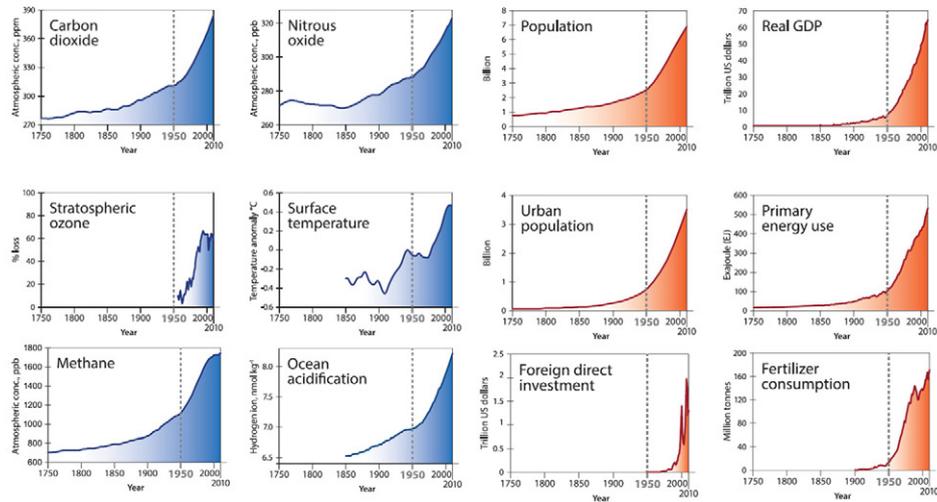


Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

12



# Earth system & socio-economic trends

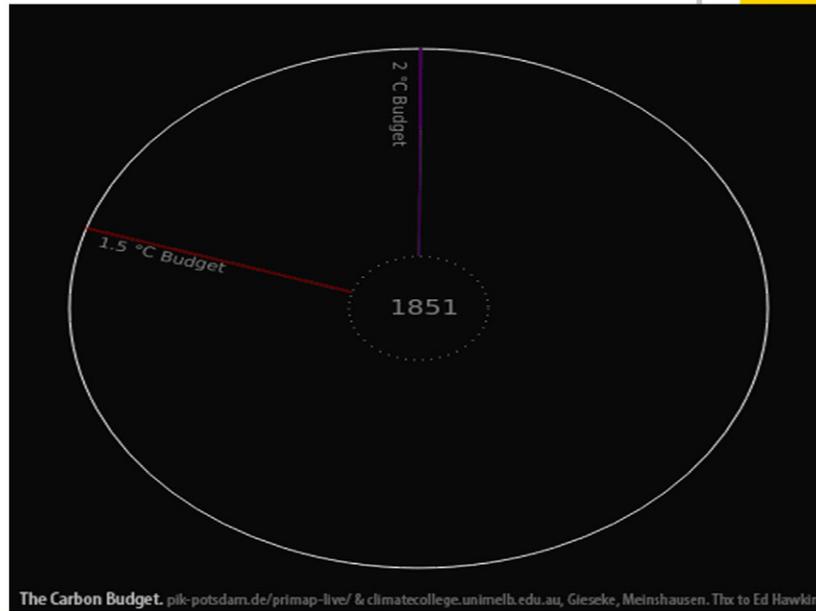


Source: Steffen et al., 2015



Institute of Environmental Systems Sciences  
 Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

## CO<sub>2</sub>-Budget



The Carbon Budget. [pik-potsdam.de/primap-live/](http://pik-potsdam.de/primap-live/) & [climatecollege.unimelb.edu.au](http://climatecollege.unimelb.edu.au), Gleseke, Meinshausen. Thx to Ed Hawkins

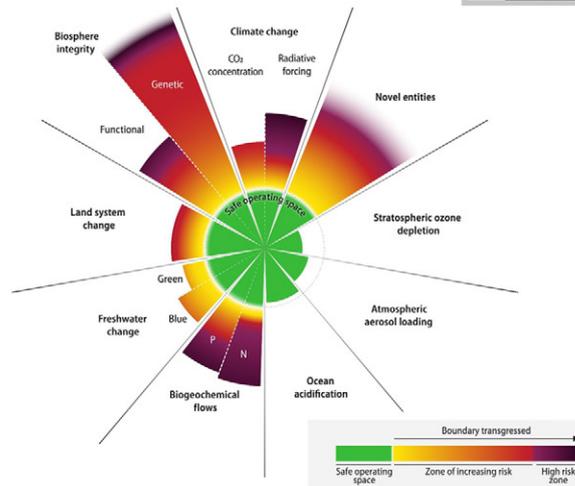


Institute of Environmental Systems Sciences  
 Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

# Planetary Boundaries



- System von 9 Grenzwerten für anthropogene Veränderungen des Ökosystems Erde
- Die Grenzwerte definieren den sicheren Bereich für Folgen anthropogener Aktivitäten, in dem es zu keinen abrupten oder irreversiblen Umweltveränderungen in den Kategorien kommt
- 6 von 9 Grenzwerten wurden überschritten



Source: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458> & Steffen et al., 2015



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

15

# Megatrend



- Globale Entwicklungen werden unübersichtlicher und weniger planbar
  - ...werden in ihrer Vernetzung (z.B. Krieg & Klima-Biodiversität-Migration) deutlicher
- **Hot, Flat, Crowded and Unpredictable**  
(in Anlehnung an Thomas Friedman\*)

\*Was zu tun ist: Eine Agenda für das 21. Jahrhundert (Suhrkamp)



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

16



# Anthropozän



- Neue erdgeschichtliche Epoche
- Menschheit wurde zu einem der wichtigsten Einflussfaktoren auf die biologischen, geologischen und atmosphärischen Prozesse

➤ ***We are the stewards of planet earth!***  
(Prof. Andrew Hoffman, University of Michigan))



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

17

# UN-Nachhaltigkeitsziele



The 17 Sustainable Development Goals positioned in relation to the biosphere foundation and the safe operating space for humans on Earth. Redrawn from Rockström and Sukhdev (2014) as presented at the 2016 EAT Forum (<http://eatforum.org/event/eat-stockholm-food-forum-2016/#program>).



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

18



# Nachhaltigkeit ist eine systemische Eigenschaft...

...und nicht eine Eigenschaft eines einzelnen Objekts (z.B. Material, Produkt, Unternehmen,...)!

- **Physikalische Einbettung**
  - Rohstoffe, Energie
- **Gesellschaftlich-soziale Einbettung**
  - MitarbeiterInnen
  - Rechtsicherheit
  - Akzeptanz
  - Finanzielle Ressourcen

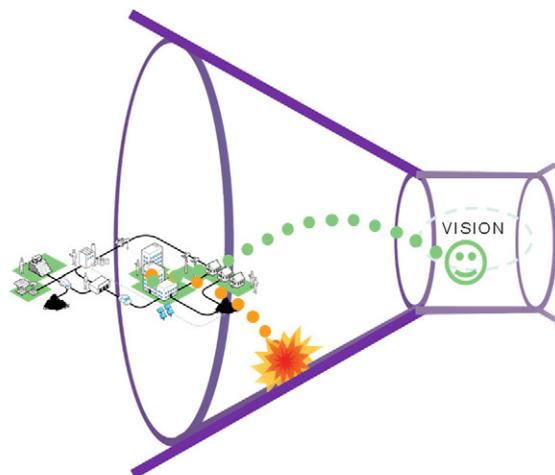
Baumgartner (2019)



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

19

# Moderner Nachhaltigkeitsbegriff (FSSD)



Sustainability principles help to stay within the funnel:

- 1) ... concentrations of substances extracted from the Earth's crust.
- 2) ... concentrations of substances produced by society.
- 3) ... degradation by physical means.
- 4) ... health or health and safety.
- 5) ... influence.
- 6) ... competence.
- 7) ... impartiality.
- 8) ... meaning making.

FSSD=Framework for Strategic Sustainable Development

Robèrt 2016; Broman & Robèrt, 2017



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

20



---

# WAS BEDEUTET NACHHALTIGKEIT IM UNTERNEHMENSKONTEXT?



21

## Zentrale Frage



Wie können Unternehmen in einem turbulenten globalen Umfeld kurz-, mittel- und langfristig erfolgreich agieren?

- Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft als zentrale strategische Ziele gerade in turbulenten Zeiten



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

22

# Strategische Ansatzpunkte



- Interne Aktivitäten und Prozesse – Unternehmen erbringt seine Leistungen möglichst **nachhaltig**
- Produkte und Dienstleistungen – Unternehmen ermöglicht es seinen **KundInnen, nachhaltiger** zu sein
- Beides – Unternehmen erbringt **seine Leistungen** möglichst nachhaltig und ermöglicht es **seinen KundInnen, nachhaltiger** zu sein

**Vision:** Nicht weniger schlecht zu sein, *sondern positive Wirkungen auf Menschen und Natur zu entfalten, muss das Ziel sein!*

Baumgartner (2014)

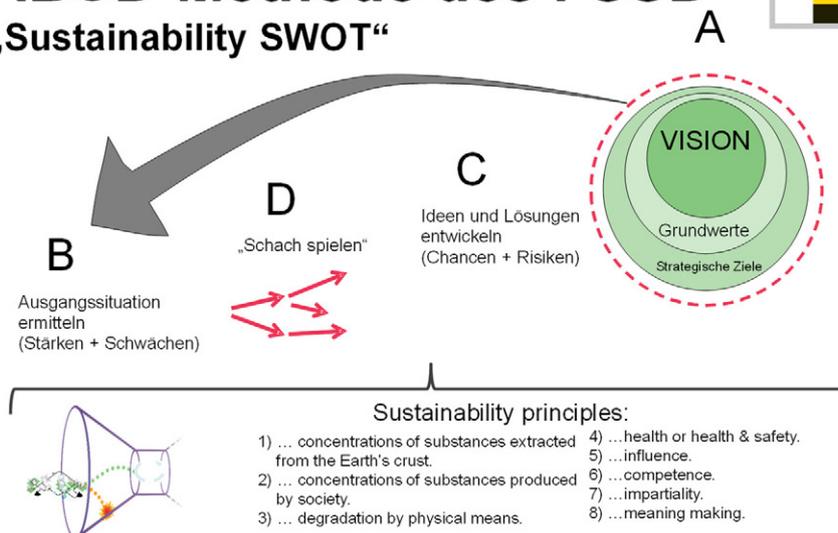


Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

23

# ABCD-Methode des FSSD

„Sustainability SWOT“



In Anlehnung an Eroman & Robiert, 2017

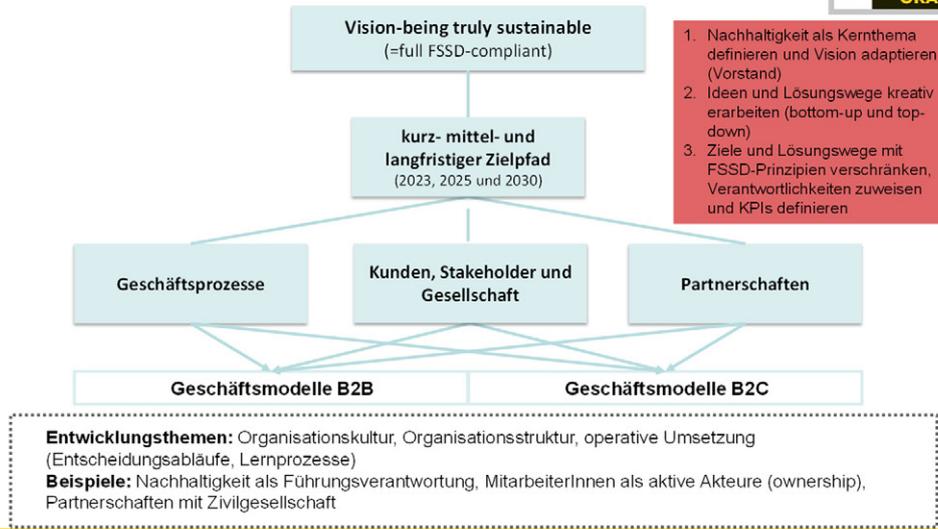


Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

24



# Strat. Nachhaltigkeitsmanagement



Institute of Environmental Systems Sciences  
 Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

## ANSATZPUNKTE FÜR EINE NACHHALTIGE LOGISTIK



# Nachhaltigkeitsstrategie

## Leitfragen



Was bedeutet Nachhaltigkeit für ihr Unternehmen?

- Wie möchte man sich in Bezug auf Nachhaltigkeit positionieren?
- Was ist besonders wichtig?



Welche Lücken gibt es noch?



Welche strategischen Maßnahmen können diese schließen?



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

27

# Nachhaltige Logistik - Ansatzpunkte



- Logistik optimiert und verbindet Systeme - wie kann das möglichst nachhaltig getan werden?
  1. Als Logistikunternehmen selbst nachhaltig agieren
  2. Als Logistikunternehmen dem Kunden helfen, nachhaltiger zu sein



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

28



# Bsp.-Faktoren für nachhaltige Logistik



## Umweltfaktoren

- Luftqualität, Lärmbelästigung, Klimawandel & Treibhausgasemissionen (THG), Energieverbrauch

## Abfallwirtschaft

- Abfallmenge und -management, Recycling, Reverse-Logistics-Anwendungen.

## Transport- und Lagermanagement

- Routenoptimierung, Ausnutzung des Laderaums, Technologie, intermodaler Transport, Lager- und Bestandsmanagement

## Soziale Faktoren

- Anzahl und Qualität der Arbeitsplätze, Arbeitsbedingungen, Beschäftigung von Frauen und gleiche Bedingungen, Weiterbildung

## Interne Faktoren

- Logistikkostenoptimierung, Unternehmensgröße, Komplexität des Managements, Einsatz fortschrittlicher Technologie und Software in der Logistik

## Externe Faktoren:

- Subventionen, Gesetze & Verordnungen (EU und national), technologische und rechtliche Unsicherheiten, Kundenprioritäten, Verkehrssicherheit

## Logistische Performance

- Zoll, Tracking & Tracing, Pünktlichkeit, Logistikkompetenz, Infrastruktur, Organisation von Sendungen

Quelle: Yontar (2022)



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

29

# Leistungsmessung mit KPIs



## Soziales

- **MitarbeiterInnenzufriedenheit**
- **MitarbeiterInnen-Engagement**
- Beschäftigungsentwicklung
- Verhältnis Männer-Frauen
- **Ausgaben für Fort- und Weiterbildung**
- Arbeits- und Sozialstandards bei Zulieferern
- Ausgaben für soziales Engagement
- MitarbeiterInnenbeschwerden
- **Nachhaltige Systempartner – Transport** (Einfluss auf Routenoptimierung und Energie-effiziente Fahrzeuge/LKWs)
- **Arbeitssicherheit** (z.B. Unfallquote pro 20.000 Arbeitsstunden)
- KundInnenzufriedenheit

## Ökologie

- Energieverbrauch absolut
- Wasserverbrauch
- **Abfallmenge**
- Abfallmenge (toxisch)
- Abwassermenge
- Materialverbrauch absolut
- **Energieverbrauch je Leistungseinheit [Stück]**
- **THG\*-Emissionen**
- Materialverbrauch je Leistungseinheit
- Anteil an recycelten Materialien
- **Investitionssumme [in T €] in nachhaltige Technologien**
- Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergiebedarf
- Sicherheit der Kühlsysteme (Zertifizierung)

\*THG= Treibhausgasemissionen

<https://nrole.de/2021/01/25/nachhaltigkeit-im-unternehmen-fortschritte-mit-kpis-messen/>



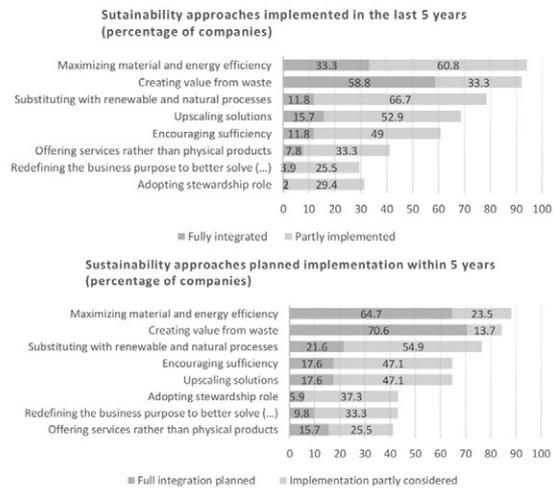
Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024

30



# Ready for disruption?

Companies in Austria plan to **use the same sustainability management approaches in the future**, supporting the **same sustainability management themes and outcomes**.



Kiesnere & Baumgartner (2019)



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024



Univ.-Prof. Dr. Rupert J. Baumgartner  
+43 316/380/3237  
[rupert.baumgartner@uni-graz.at](mailto:rupert.baumgartner@uni-graz.at)

Universität Graz  
Christian-Doppler-Labor für nachhaltiges  
Produktmanagement  
Institut für Umweltsystemwissenschaften,  
Merangasse 18, 8010 Graz  
[circular.uni-graz.at](http://circular.uni-graz.at)



Institute of Environmental Systems Sciences  
Baumgartner: Logistik und Nachhaltigkeit / 07.05.2024



# Literaturquellen



- Baumgartner, Rupert J. (2014): Managing Corporate Sustainability and CSR: A Conceptual Framework Combining Values, Strategies and Instruments Contributing to Sustainable Development. In: Corporate Social Responsibility and Environmental Management. Vol. 21, Nr. 5, S. 258-271
- Baumgartner, Rupert J. (2019): Sustainable Development Goals and the Forest Sector - A Complex Relationship. In: Forests. Vol. 10, 152
- Broman, G., Robèrt, K.-H. (2017): A framework for strategic sustainable development. In: Journal of Cleaner Production. Vol. 140, Teil 1, S. 17-31
- Kiesnere, Aisma L.; Baumgartner, Rupert J. (2019): Sustainability Management in Practice: Organizational Change for Sustainability in Smaller Large-Sized Companies in Austria. In: Sustainability. Vol. 11, Nr. 12, S. 572-612
- Robèrt, Karl-Henrik (2016): Sustainability-biggest challenge since dawn of civilization 10000 years ago. Presentation at Summerschool DK Climate Change.
- rSteffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. and Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. In: The Anthropocene Review. Vol. 2, Nr. 1, S.81-98.







# **BRIDGE THE REALITY GAP**

## **Visuelle Intelligenz als Gamechanger für performante Materialflüsse**

Peter Stelzer BAKK. Techn., MBA

**Peter Stelzer**, BAKK. Techn., MBA

- Geschäftsführung der ivii GmbH



**ivii** A MEMBER OF KNAPP GROUP

# BRIDGE THE REALITY GAP

Visuelle Intelligenz als Gamechanger für performante Materialflüsse

ivii.eu

**ivii**

## PETER STELZER

BAKK. Techn, MBA

- Telematik-Studium TU Graz
- Executive MBA Krems
- Selbstständigkeit
- 2007 Eintritt KNAPP AG
- **2016** Gründung ivii GmbH (100% Tochter der KNAPP AG) Geschäftsführung



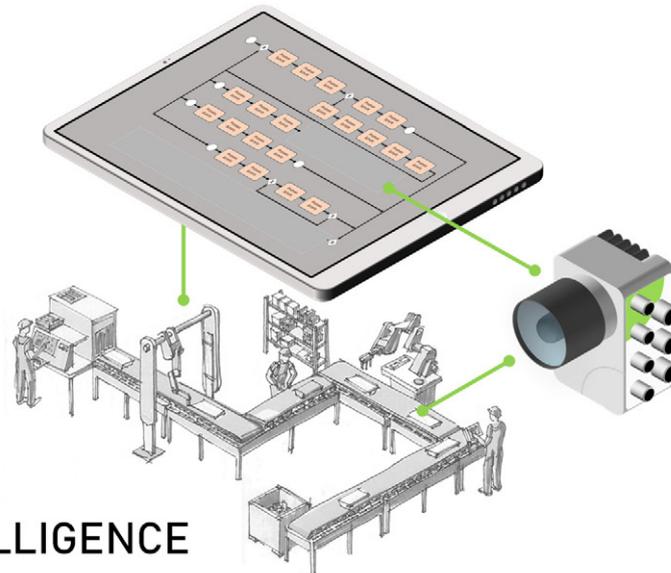
QR-Code für Kontaktdaten ->



ivii entwickelt innovative, KI-basierte Produkte zur Qualitätsprüfung bzw. zur Sicherstellung der Qualität für die Fertigungs- und Logistik-Industrie.



Schwarze Folie: Worum geht es heute? Richtig, wir sehen kaum, was hier steht. Und darum geht es heute: Digitalisierung und Automatisierung haben in der Logistik und der Fertigung zu erstaunlichen Effizienz- und Produktivitätssteigerungen geführt. Im Zeitalter der Digitalisierung ist es leicht zu glauben, dass wir der Prozessperfektion und der ultimativen Effizienz nahe sind. Ausschlaggebend ist aber trotzdem das, was in der realen Welt passiert. Dort werden Produkte hergestellt, montiert, Aufträge verpackt und versandt, Lieferungen entgegengenommen und gelagert etc. Und wie wir wissen, ist die reale Welt unberechenbar. Schäden, Schmutz und nicht zuletzt menschliches Versagen sind nur einige der Risikofaktoren, die in der digitalen Welt nur schwer vorhersehbar sind. Murphy's Law: „Whatever can go wrong, will go wrong.“ Soll heißen: Die besten digitalen Pläne und Abläufe sind immer noch anfällig, wenn etwas Unvorhergesehenes passiert. Es sei denn, man kennt seine blinden Flecken... Diese gilt es zu eruieren und zu eliminieren. Oder wie wir als ivii sagen: BRIDGE THE GAP. WIE?



## VISUAL INTELLIGENCE

4

ivii.eu

Mit ivii Visual Intelligence, einem auf KI basierten Kamerasystem, schließen wir für Unternehmen die Lücke zwischen Plan und Wirklichkeit – damit in Fertigung und Logistik garantiert alles nach Plan läuft. Wie funktioniert das? Indem wir die kritischen Momente in Produktions- und Logistikprozessen überwachen, vergleichen wir das, was passieren soll, mit dem, was in der realen Welt tatsächlich passiert. ivii Visual Intelligence identifiziert potenzielle Fehler, ergreift entsprechende Maßnahmen und garantiert so fehlerfreie Lieferungen. Die Installation erfolgt nach dem Plug & Play Prinzip. Es sind keine Vorkenntnisse zu KI, Kamera oder Bildverarbeitung erforderlich. Einfach nach Anleitung installieren und in kürzester Zeit mit der Qualitätsprüfung starten.

## BRIDGE THE REALITY GAP

IDEAL	REALITY GAP	HOW WE SEE IT
Smart Factory	Complex black-box	An easy-to-use problemsolver
Digital efficiency	Process blind spots	Detail-rich visual data creates new impactful KPIs
Agile investment	Vendor lock-in	Open system for customizing and extension
Global workforce	Culture clash	Empowering people through clarity and simplicity

5

ivii.eu

© 2024 ivii gmbh



Auszug aus Referenzliste – ivii smartdesk im Einsatz bei:

### **RIKA**

Bereich: Industrielle Produktion/Lohnfertigung

Herausforderung: Fachkräftemangel, Qualitätsprüfung/-Sicherung, 100% fehlerfreie Lieferungen.

Umsetzung:

- Manuelle Prozesse digitalisieren
- Teile-Erkennung
- Montage-Anleitung
- Montage-Check
- Korrektur bei Bedarf
- Fehlerfreie Assemblierung
- 

### **KNAPP AG**

Bereich: Industrielle Produktion und Ersatzteilmanagement

Herausforderung: Qualitätsprüfung und –Sicherung, korrekte Konsignationslagerstände

Umsetzung:

- Manuelle Prozesse digitalisieren
- Teile-Erkennung
- Montage-Anleitung
- Montage-Check
- Korrektur bei Bedarf
- Fehlerfreie Assemblierung



### **JERICH INTERNATIONAL**

Bereich: Logistik/Automobilzulieferer

Herausforderung: 100% fehlerfreie Lieferungen

Umsetzung:

- Teile-Check
- Teile-Erkennung
- Fehlerfreie Ein- und Auslagerung
- 

### **PANKL RACING SYSTEMS**

Bereich: Industrielle Produktion/Getriebeassemblierung

Herausforderung: Fachkräftemangel, 100% fehlerfreie Montagen/Lieferungen

Umsetzung:

- Manuelle Prozesse digitalisieren
- Teile-Erkennung
- Montage-Anleitung
- Montage-Check
- Korrektur bei Bedarf
- Fehlerfreie Assemblierung
- 

Interessante Zahlen & Fakten zu Pankl Racing Systems:

**2017** Produktionsstart mit ivii smartdesk

**17.000** Getriebe

**2022 -> Getriebe 150.000**

Mit 3,000.000 Mio. Teile/Prüfungen jährlich

# NEUGIERIG?

- BUCHEN SIE WEBINARE – FÜR SIE UND IHR TEAM
- ERLEBEN SIE ONLINE LIVE-VORFÜHRUNGEN
- TESTEN SIE UNSERE SYSTEME VOR ORT IN IHREM BETRIEB



Sofortkontakt  
+43 676 8979-7777  
sales@ivii.eu

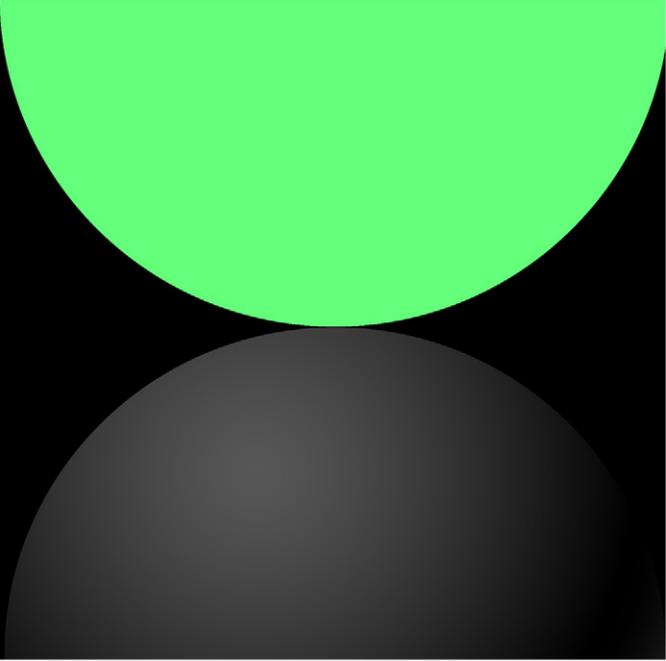
7 ivii.eu © 2023 ivii gmbh



**ivii** A MEMBER OF KNAPP GROUP

# STAY TUNED!

ivii.eu









# Patente in der Logistik

Oliver Schulze

## Oliver Schulze

- Körber Supply Chain Logistics GmbH

## Körper Supply Chain Parcel Logistics



Die Körper Supply Chain Parcel Logistics mit Hauptsitz in Konstanz (Deutschland) bietet Komplettlösungen für Kurier-, Express- und Paketdienstleister. Mit über 1000 Mitarbeitern weltweit wird ein umfangreiches Portfolio an Sortiertechnik und digitalen Lösungen für Paket und Brief angeboten. Über 400 aktive Patente schützen dabei einzigartige technische Funktionen der Produkte und Systeme.

## Geschichte des Patentwesens



Vor der Einführung des Patentwesens konnten Erfindungen nicht vor Nachahmungen geschützt werden, weshalb Forschungsergebnisse so lange wie möglich geheim gehalten wurden. Ein Wissenstransfer zwischen Forschenden fand daher nur langsam statt und es gab wenig Anreiz eine neue Technologie als erstes zu erforschen. Um dem entgegenzuwirken, wurden erstmals im 15. Jahrhundert in Venedig Patente erteilt, die das geistige Eigentum an einer Erfindung schützen sollen. Erfinder erhielten damit das Recht, andere von der Nutzung der Erfindung für einen befristeten Zeitraum auszuschließen.

In Deutschland kam es 1871 zur Diskussion über Einführung eines Patentgesetzes, das im gesamten deutschen Reich gültig ist. Patentgegner wie Otto von Bismarck verhinderten zunächst die Einführung, da sie Patente als schädlich für den allgemeinen Wohlstand hielten. Befürworter, wie Werner von Siemens hingegen warben für ein einheitliches Patentgesetz, da es sich gezeigt hatte, dass Staaten mit einem funktionierenden Patentsystem (z.B. Großbritannien oder die USA) technologisch fortgeschritten und wirtschaftlich erfolgreich waren. Deutsche Produkte hingegen galten in der Welt als „billig und schlecht“.

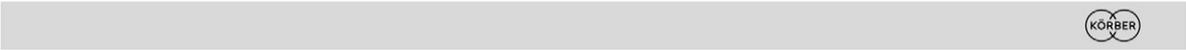
1877 konnten sich die Befürworter durchsetzen und es wurde ein modernes Patentsystem eingeführt, das in weiten Teilen bis heute Bestand hat. Im Jahr 1899 führte auch Österreich ein ähnliches Patentgesetz ein.

Moderne Patentsysteme geben einem Erfinder die Möglichkeit sein Wissen über die Erfindung mit der Öffentlichkeit zu teilen, um einen Wissensaustausch und damit einen beschleunigten technischen Fortschritt zu ermöglichen. Damit dem Erfinder dadurch kein Nachteil entsteht, erhält dieser ein zeitlich befristetes Recht, Dritten die Nutzung seiner Erfindung zu verbieten.

4

Geschichte des Patentwesens

Ohne Patentwesen		Mit Patentwesen
Geheim	<b>Forschungsergebnisse</b>	Öffentlich
Häufig	<b>Doppelentwicklungen</b>	Selten
Unmittelbar	<b>Nachahmungen</b>	Verzögert
Gering	<b>Forschungsanreiz</b>	Hoch
Geheim	<b>Dokumentation</b>	Öffentlich



5

Gründe für eine Patentanmeldung

Grund einer Patentanmeldung	Privatperson / Start-Up	KMU / Universitäten	Großkonzerne
Vorstellung einer Idee bei Partnern, Kunden oder Lieferanten	+	+	+
Vermarktungsargument	+	+	+
Schutz von Investitionen in Forschung und Entwicklung	o	+	+
Generierung von Lizenzeinnahmen	o	o	+
Steigerung der Unternehmensbewertung	-	o	+
Strategische Abdeckung neuer Technologien	-	-	+



Bei der wirtschaftlichen Abwägung, ob eine Patentanmeldung vorgenommen werden soll, gibt es verschiedene Faktoren, die dafür oder dagegensprechen. Je nach Unternehmensgröße können die Gründe unterschiedlich relevant sein. Neben den Kosten für die Patentanmeldung sollte immer bewusst sein, dass eine Durchsetzung eines Patents im Falle einer Patentverletzung langwierig und kostenintensiv sein kann.

6 Patentwesen in der Logistik



In der Logistik finden wir ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Technologien. Patente sollten vor allem im Bereich der eigenen Kernkompetenzen angemeldet werden. Weiterhin ist die Logistik geprägt von einer hohen Innovationsrate, die mit einer Vielzahl an Patentanmeldungen einhergehen. Durch die regelmäßige Beobachtung von neuen Patentanmeldungen Dritter können Doppelentwicklungen und mögliche, spätere Patentverletzungen frühzeitig vermieden werden. Bei Neuentwicklungen ist zudem eine Durchführung von Patentrecherchen absolut notwendig. Im Falle eines Patentkonflikts stellt eine außergerichtliche Lösung oft eine einfache und günstige Option dar.

7 Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!









# **E-Commerce in der Lagerlogistik**

Ing. Robert Reithofer



Ing.

**Robert Reithofer**

- Direktor IT Sales Consultancy, Marktsektor Fashion bei SSI Schäfer IT Solutions GmbH



# E-Commerce in der Lagerlogistik

Best Practice: Taschensortersysteme  
Reithofer R.

Aus Gründen der besseren Verständlichkeit und dem Redefluss wird bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptbegriffen größtenteils die männliche Form verwendet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter.



## Kennzahlen: E-Commerce Markt Nach Sektoren, 2022



## Herausforderungen für die Intralogistik

...im Vergleich zum stationären Handel



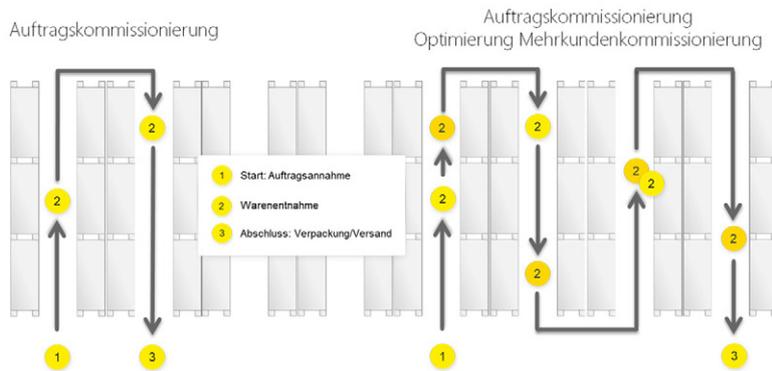
- Kleine Auftragsgrößen**  
(Fashion: 3-4 Stk. Auftrag, 10-20% Einzelstückauftrag, <1,1 Stk. pro Auftragszeile)
- Höhere Produktvielfalt**
- Kurze Durchlaufzeit (same/next day delivery)**
- Spitzen (Black Friday, Cyber-Monday, ...)**
- VAS (Value Added Services)**
- Omni-Channel Logistik**
- Kundenretouren**



Resultat: Massiver Handlungsbedarf in der (Lager-) Logistik. Aus Prozesssicht (unmittelbar) und der Wahl der eingesetzten Komponenten, in Abhängigkeit vom Geschäftsfeld, den Beständen, Durchsätzen, usw.

## Kommissioniervarianten

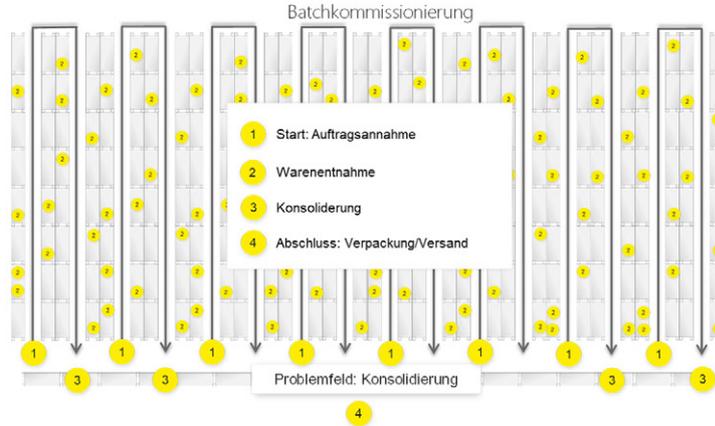
... im manuell bewirtschafteten Lager





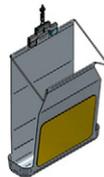
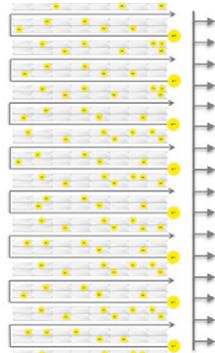
## Kommissioniervarianten

... im manuell bewirtschafteten Lager



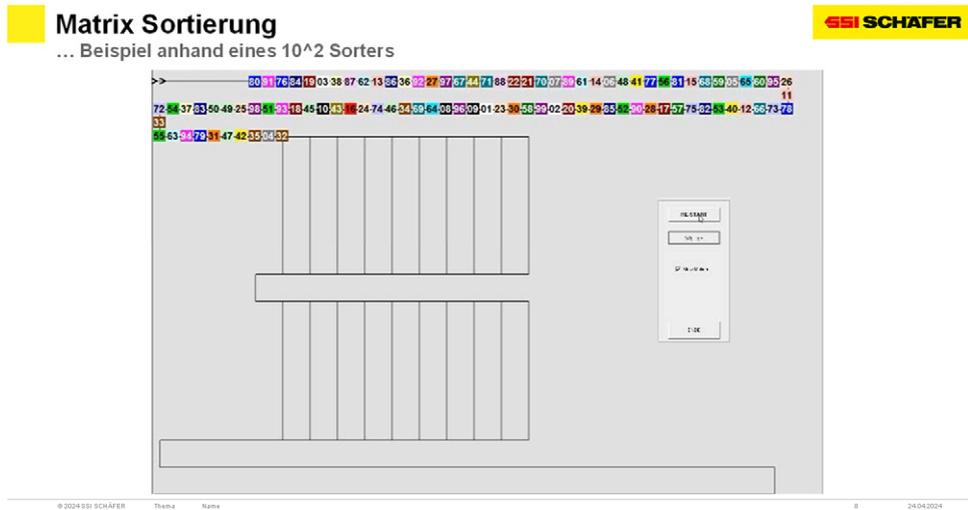
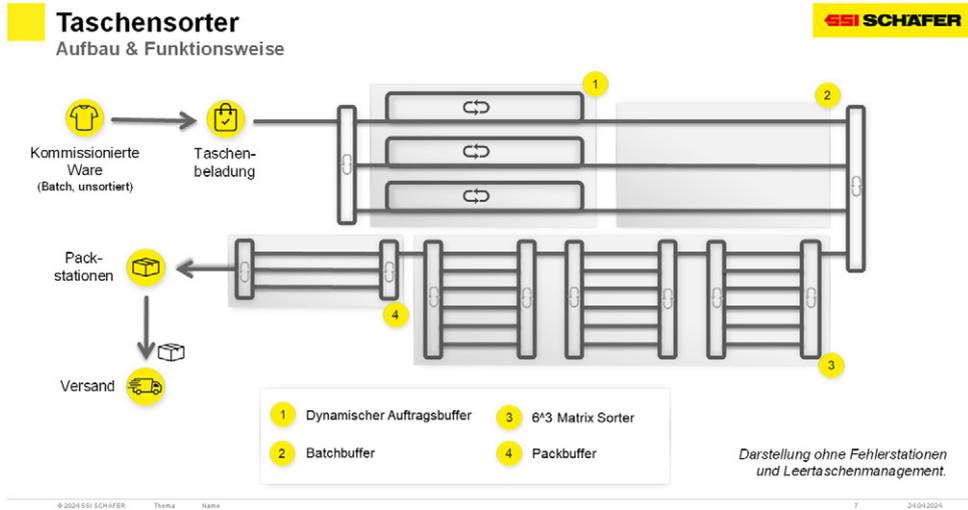
## Konsolidierung & Sortierung

... mit Taschensortersystemen im Fashion Segment



Ein Taschensorter ist in der Basisausprägung eine Systemkomponente mit einer Reihe unterschiedlicher funktionaler Module zur automatischen Auftragskonsolidierung und Sortierung bei Durchsätzen von ~ 7.500 Stk./Taschen pro Stunde und Sortiermodul.

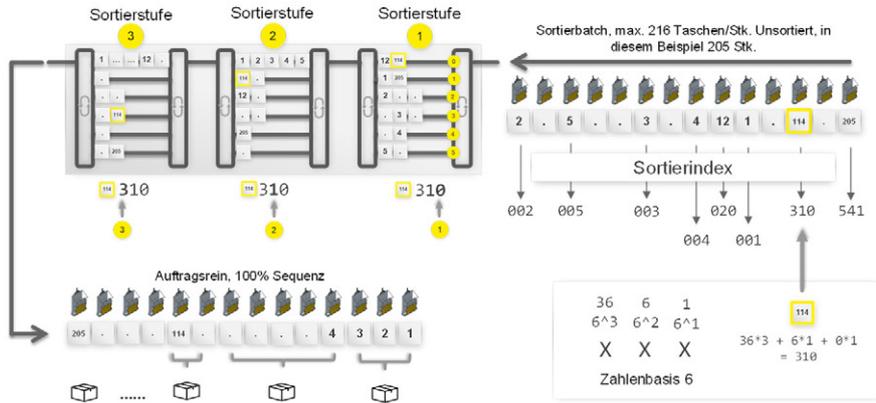
Produktgewicht: < 2,5kg  
 Produktdimensionen: < 450x350x150mm





## Matrix Sortierung

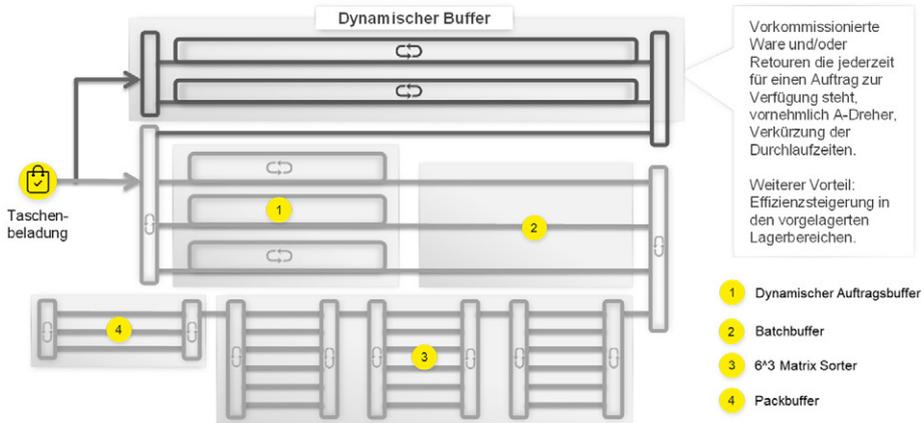
6<sup>3</sup> Ansatz zur Steigerung des Durchsatzes



© 2024 ESI SCHAFFER Thema Name 9 24.01.2024

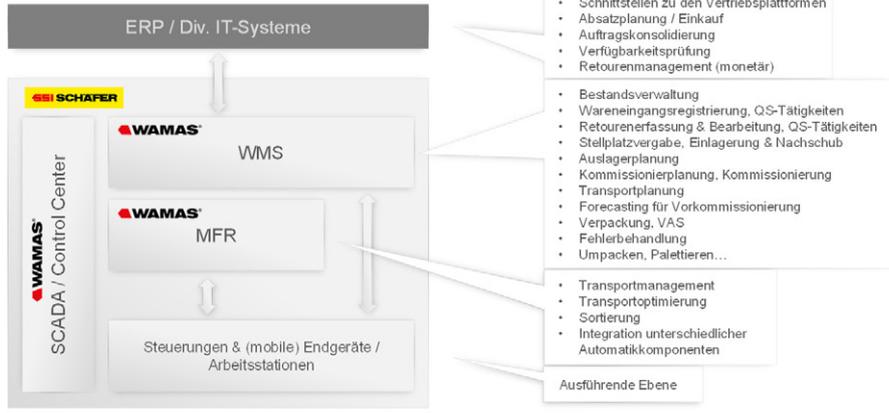
## Erweiterter Taschensorter

... Vorkommissionierung und Retourenhandling



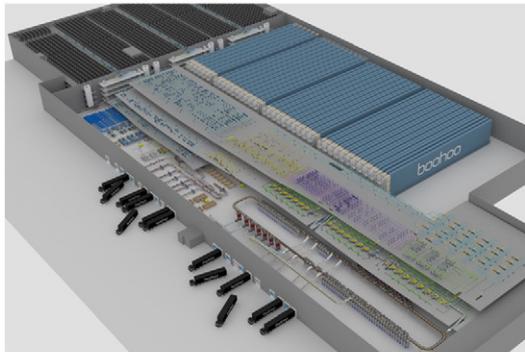
© 2024 ESI SCHAFFER Thema Name 10 24.01.2024

**IT**  
Übersicht & Prozessabgrenzung



© 2024 ES I SCHAFER Thema Name 11 24.04.2024

**Best Practice: Boohoo PLC (UK)**  
... E-Commerce Verteilzentrum Sheffield



Britischer Fast-Fashion E-Commerce Händler, Kernmarkt England & US. Zielgruppe 16 bis 35-Jährige die über unterschiedliche Brands und online-Auftritte sehr gezielt angesprochen werden:

Umsatz 2023, alle Brands:	~2 Mrd. €
Wachstum, basierend auf 2020:	43%
Aktive Kunden:	18.000.000
Marktpotential, Kunden:	500.000.000

Standort Sheffield:  
Bestandsgebäude, Durchsatzsteigerung durch massive Automatisierung & IT Ablöse, Multi-Brand, größtes Segment: „PLT“

<b>Kennzahlen:</b>	
• Eehälterlager:	566.000 STP
• Shuttles:	1.073
• 6 x 6' Matrix Sorter Module:	>40.000 Teile/h
• Dynamischer Buffer:	150.000 Taschen
• Manueller Lagerbereich:	1.200.000 St
• Aktive Artikel:	>600.000
• Personalstärke Logistik, Spitze:.	300 / Schicht
• Versandaufträge:	18.000/h
• Retouren (maximal / Spitze):	15.000 Teile/h

IT: WAMAS WMSMFS & Lighthouse, Server, Backup, DB: ORACLE, OS: RHEL

Impressionen der Anlage auf YouTube:  
<https://www.youtube.com/watch?v=dLj0c9mVJgo>

© 2024 ES I SCHAFER Thema Name 12 24.04.2024



## Copyright

© 2024 SSI SCHÄFER, alle Rechte vorbehalten

Diese Veröffentlichung darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung von SSI SCHÄFER weder vervielfältigt, noch weitergeleitet, noch in einem Datenabfragesystem gespeichert werden; das beinhaltet, wenn auch nicht ausschließlich, Schriftstücke, Druck, Lochkarten, Filme, Mikrofilme oder Mikrofiche, Tonbänder oder CDs oder jede andere Form elektronischer Medien einschließlich optisch lesbare Tonbänder oder CDs, Laser CDs und jede andere Form der elektronischen Speicherung.

Offenbarte Gegenstände und/oder Konzepte der vorliegenden Dokumentation sind oder werden noch durch gewerbliche Schutzrechte geschützt.







# **Dark Depots - Zukunft oder Gegenwart?**

Sandra Lückmann



## Sandra Lückmann

- Head of Sales CEP bei der BEUMER Maschinenfabrik GmbH & Co. KG

**Logistic Systems**  
**Logistikwerkstatt Graz**

# Dark Depots - Zukunft oder Gegenwart?

07.05.2024 Sandra Lückmann

MADE  
DIFFERENT

## Agenda

- BEUMER – Familienunternehmen: Symbiose aus Tradition und Innovation
- Dark Depots – ein Beispiel aus der ‚Smalls‘ Sortierung
- Transformation – wie Software unterstützt
- Zusammenfassung

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group/2

## BEUMER Group auf einen Blick



100 Prozent unabhängiges Familienunternehmen

Gegründet 1935

Hauptsitz in Beckum, Deutschland

Umsatz: 1,25 Milliarden Euro

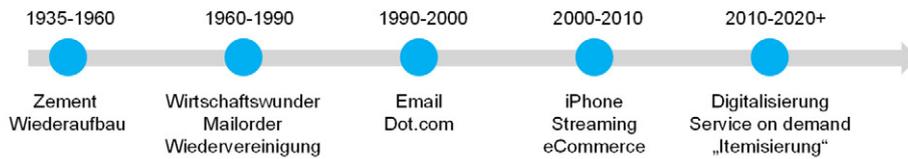
Mitarbeiter: 5.600

40 Standorte weltweit

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group / 3

## BEUMER Group Familienunternehmen - Symbiose aus Tradition und Innovation



Conveying & Loading | Packaging & Palletising

Sortation Systems Logistics | Airports

Digitalisierung | Robotic

Dark?

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group / 4

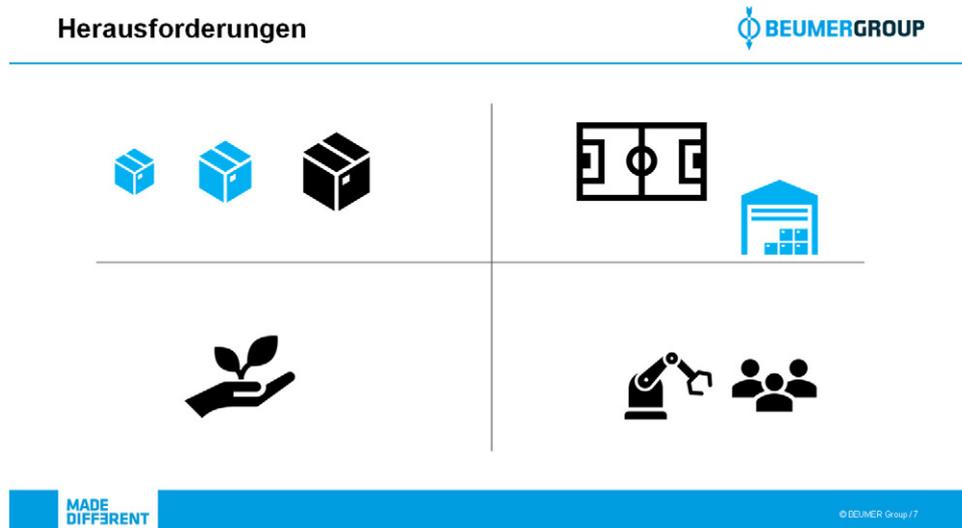
# Dark Depots — ein Beispiel aus der ‚Smalls‘ Sortierung

MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 5

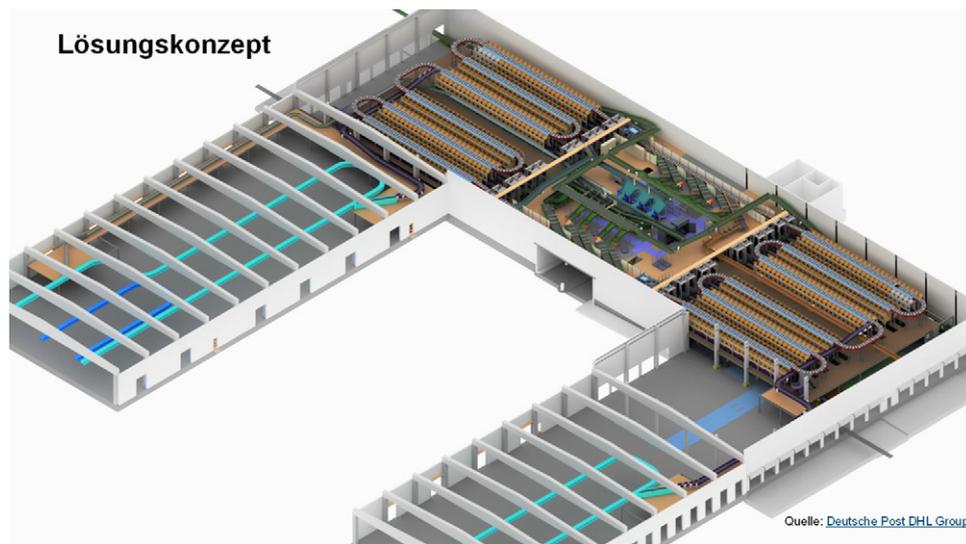


Konkretes Beispiel: der bundesweit erste Mittelformatsorter im DHL-Paketzentrum Greven  
Anbau an das ursprüngliche U-Gebäude mit Durchfahrt für die Fahrzeuge.



Herausforderungen:

- Wachsende Paketmengen, insbesondere kleine und mittelgroße Formate nehmen zu
- Geringer Footprint – Anpassung auf bestehendem Grundstück
- Nachhaltigkeit – Photovoltaikanlage auf dem Dach
- Hoher Automatisierungsgrad und weitere Arbeitsplätze für die Region



Am Standort wurden vorher 32.000 Pakete pro Stunde sortiert, jetzt insgesamt 46.000 Pakete pro Stunde wobei 14.000 Pakete pro Stunde über den BEUMER Sorter laufen.

Weitere Kennzahlen:

- 6 Kippanlagen
- 2 Roboter
- 509m Sorter (2,25m/s)
- 576 Speicherendstellen = 288 Ziele
- 28 Befüllstationen

Anbaufläche von nur 4410m<sup>2</sup> (126x35m)

100 MA im Anbau, 550 Mitarbeiter gesamt

## Transformation mit Hilfe von BEUMER Insight



MADE  
DIFFERENT

© BEUMER Group / 9

### Voraussetzung für weitere Automatisierung: Daten

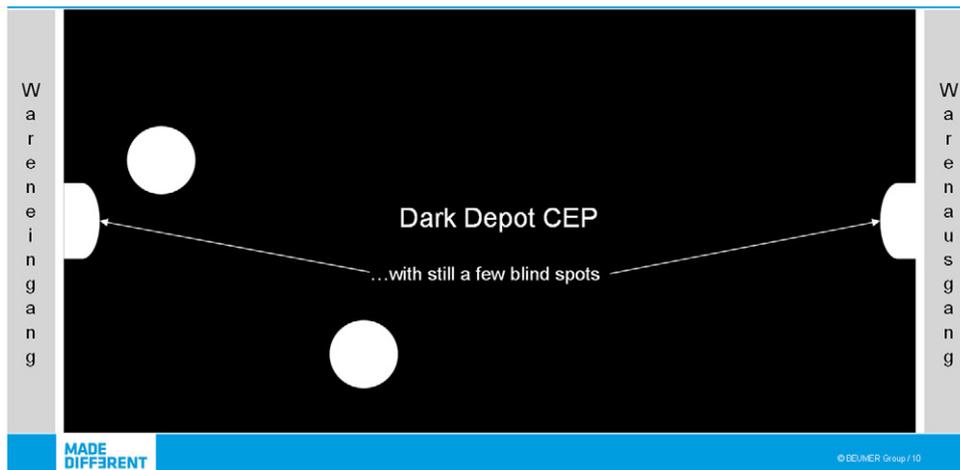
- Daten alleine helfen nicht weiter, die benötigte Verarbeitung, Verknüpfung und Interpretation ist entscheidend
- BEUMER Insight ist ein webbasiertes Analysetool, das Informationen und Statistiken bereitstellt und mit Hilfe des BEUMER Flow Twin in die Zukunft blicken kann

### Vorteile:

- Effizienterer Einsatz der Mitarbeiter
- Verkürzte Wartezeiten
- Verknüpfung von Standorten und Abbilden des gesamten Netzwerks



## Dark Depot - Zusammenfassung



- Auch heutzutage sind viele Sortier- und Verteilzentren noch in einem komplett manuellen Betrieb.
- Im Vergleich sind wir mit der Automatisierung schon sehr weit gekommen.
- Ein paar weiße Spots gibt es noch, aber auch diese werden immer kleiner.
- Wichtig ist die richtige Balance zu finden und Zeit für den Wandel einzuräumen (neue Technologien, Ausbildung der MA, Kosten, Prozesse,...)



## Logistic Systems Logistikwerkstatt Graz







# **Automatic Loading & Unloading**

## **Inbound and outbound automation with Caljan**

Jan Sølling-Jørgensen

## Jan Sølling-Jørgensen

- Sales Director bei der Caljan GmbH
- Verantwortlich für Caljan in der DACH-Region im Bereich manuelle Be- und Entlade-systeme.
- Verantwortlich für die Caljan Sparte „Automatic Loading & Unloading“ länderübergreifend.



Handling loose cargo efficiently since 1963



## Automatic Loading & Unloading

Inbound and outbound automation with Caljan

Caljan is increasingly specialising in full- and semi-automatic loading and unloading system providing solutions to the arising need of a higher degree of automation in this area of the logistic process.



Two solutions will be presented, the AutoLoader a fully automatized loading technology based on a telescopic conveyor with a articulating belt as well as the AutoUnloader offering a semi- or fullauto-matic unloading solution.



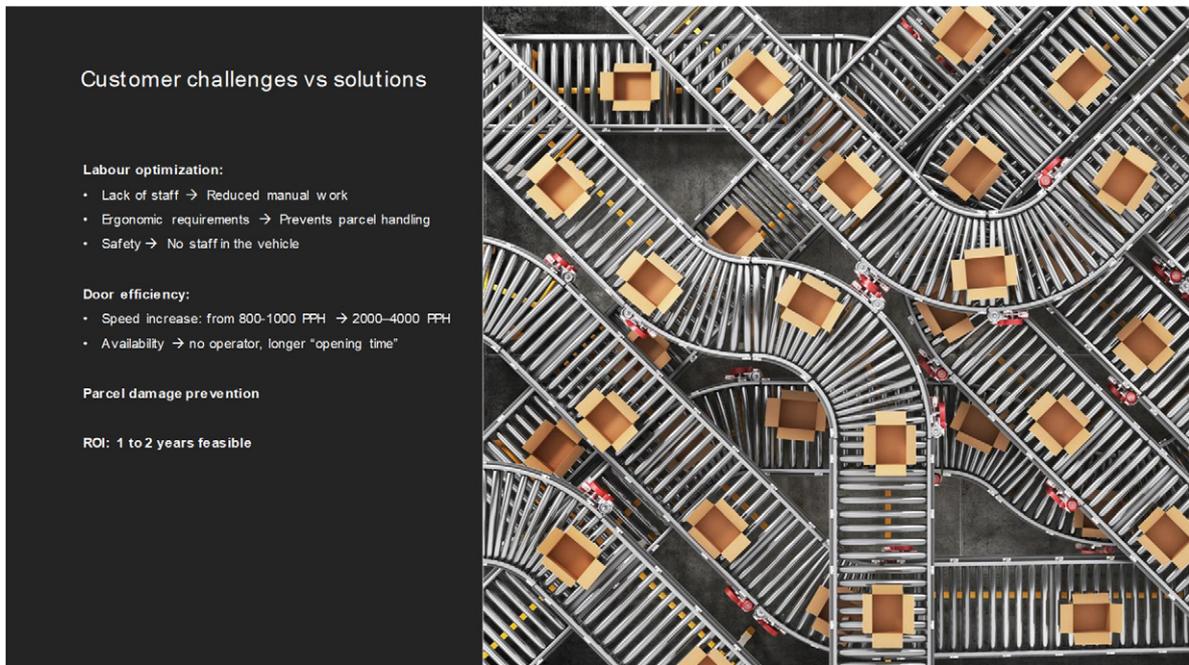
An important contributor to the development of the automatized unloading solution was the Austrian Post.



01

## Customer challenges





The intra logistic business is facing increasing challenges which can be solved by increasing the degree of automation.

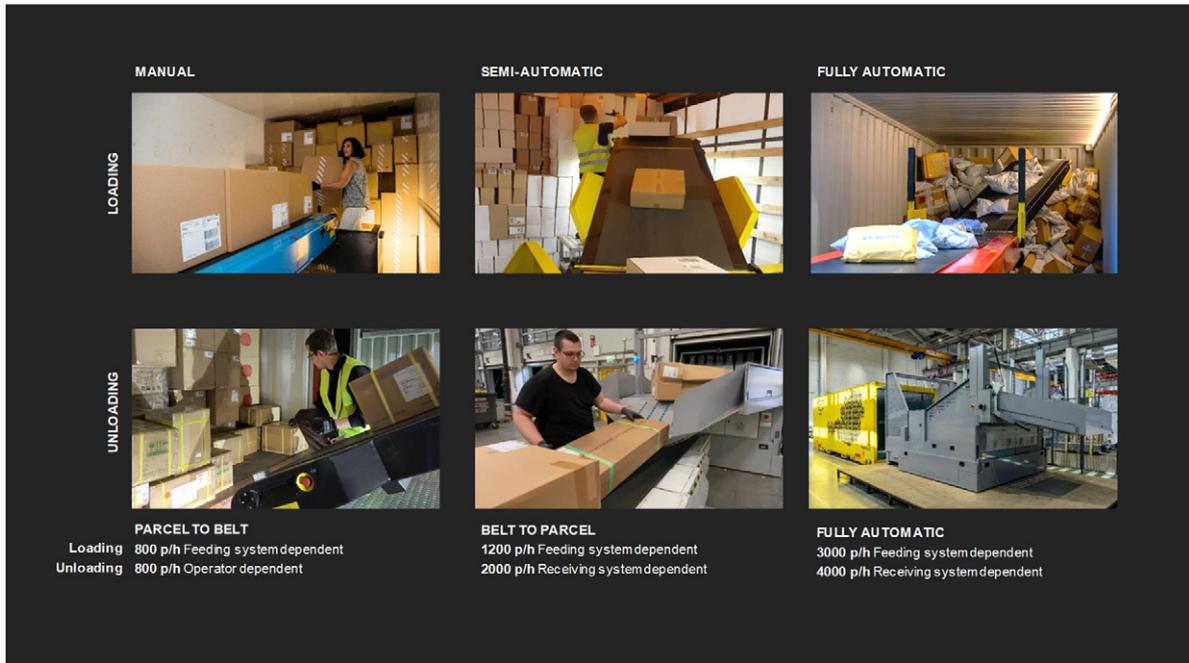
1. Labor scarcity, -fluctuation, -increase of cost etc. makes it attractive to implement technologies reducing the labor intensiveness. Work ergonomics and –safety are equally hot topics which can be resolved in this way.
2. To get new capex approved for enlarging capacity and acquiring new land is challenging to acquire, increasing capacity per door is the ultimate solution to this challenge. An increase from 1000 to 2000 or even 4000 parcels per hour is meanwhile possible. If no or limited staff is required, working hours for the loading and unloading process can be extended.
3. Parcels need to be handled with care as damages are not acceptable. The AutoLoader and AutoUnloader are offering a state-of-the-art gentle 3D-bulk handling process.

Depending on the business case a return-on-investment of only 1-2 years can easily be achieved through the labor cost and capex savings achieved.



From **Manual** to **Automatic**





Manual: with the traditional automatized loading prinziples using a telescopic conveyor or an articulating belt unloading manually an average volume handled per hour is usually 800-1000 parcels.

Semi-automatic: with an Express Snoot where the articulating belt is being moved to the parcel reducing the handling distance 1200 pph is easily feasible. Or with the AutoUnloader using an operator to turn parcels even 2000 pph is reachable.

Full-automatc: a further development step is the AutoLoader enabling to load approx. 3000 pph and using the AutoUnloader in the full automatic mode without operator and coupled with a singulator at least 4000 pph are achievable.



02

## AutoLoader





The AutoLoader video shows the whole loading process starting with a short scanning of the truck compartment to define the accessible work area.

Consequently the truck is automatically filled with parcels no matter if polybags or boxes carefully placed on top of the pile with a limited falling height to assure no parcel damages.

A light curtain at the entrance prevents unauthorized personel to enter the loading area otherwise the process is instantly cut-off.

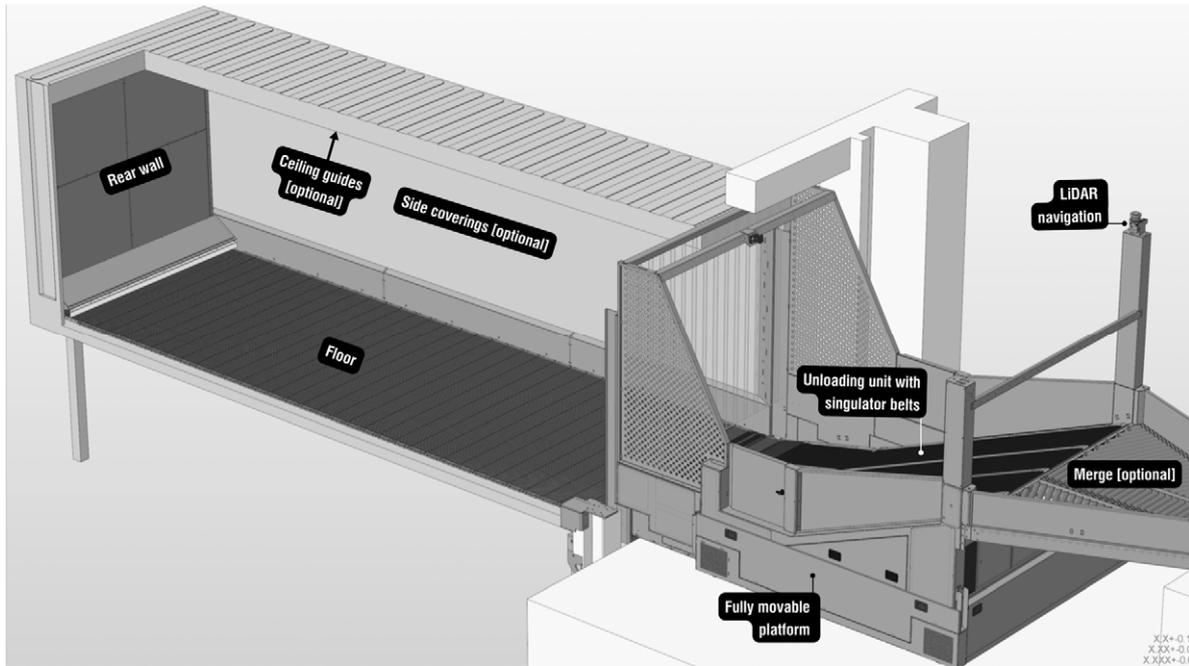
At the end of the loading process the AutoLoader returns into park position in front of the door.



03

AutoUnloader





The AutoUnloader system consists of two main units, a) the unloading shuttle and b) the modified swap body.

The shuttle is maneuvering automatically from the park position between two doors toward the door entrance in a pre-programmed path. The coupling with the pre-installed floor of the swap body is also done automatically with the support of sensors to guarantee the right position.

The swap body from standard suppliers is modified with a) rigid, aluminium profile floor enabling any kind of trafficking even with forklift if needed, b) wall covering with steel plates + c) roof membrane covering to assure parcels are not stucked at the door frame / hinges as well as d) a back wall attached to the floor moving outwards with the parcel pile assuring parcels are not falling down backwards.

The floor is teared out of the swap body rolled into the unloading shuttle compartment and pushed back into the swap body after completion of the loading process.

Various belts guided by sensors are steering the parcel flow on the unloading shuttle toward the exit managing the amount of parcels to avoid jams and assure a singulation from a 3D- to 2D pile.

The exit of the shuttle has a funnel design by the semi-automatic version allowing to reduce the unloading width from the door width to the width of the telescopic conveyor. The telescopic conveyor allows a dual purpose use of the door (manual or semi-automatic).

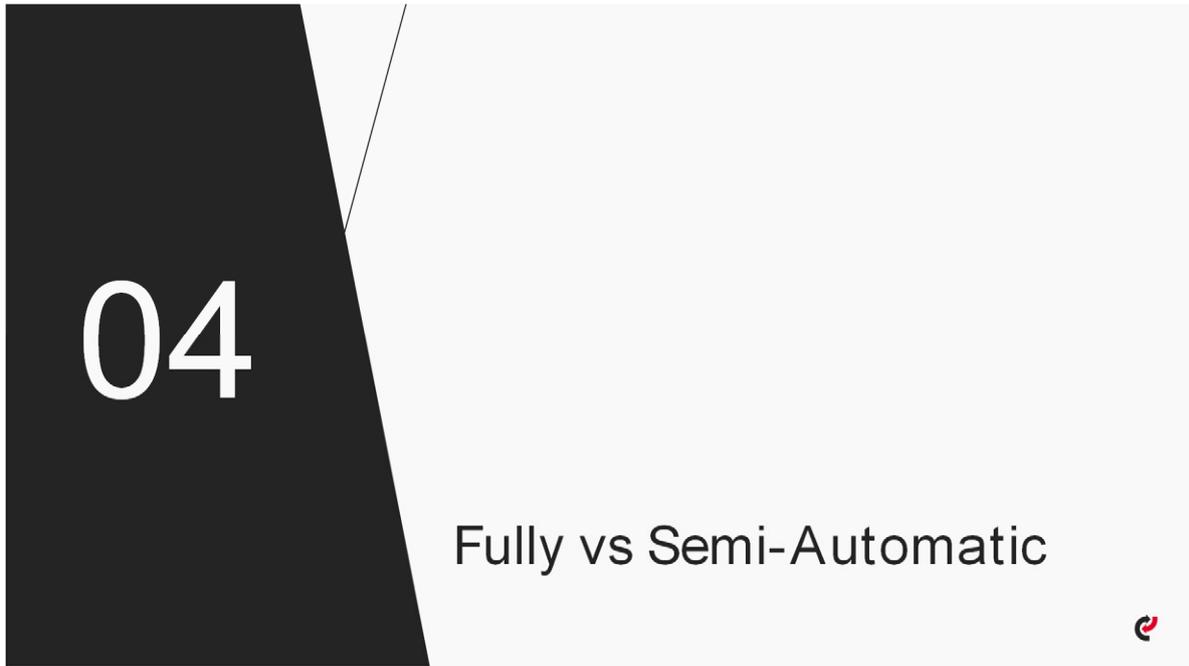
The full automatic shuttle unit is only minorly being reduced in width at the exit enabling a 1,5 meter wide singulator capture the full range of parcels. The attached singulator enables to convert the 2D stream into a 1D flow of parcels.



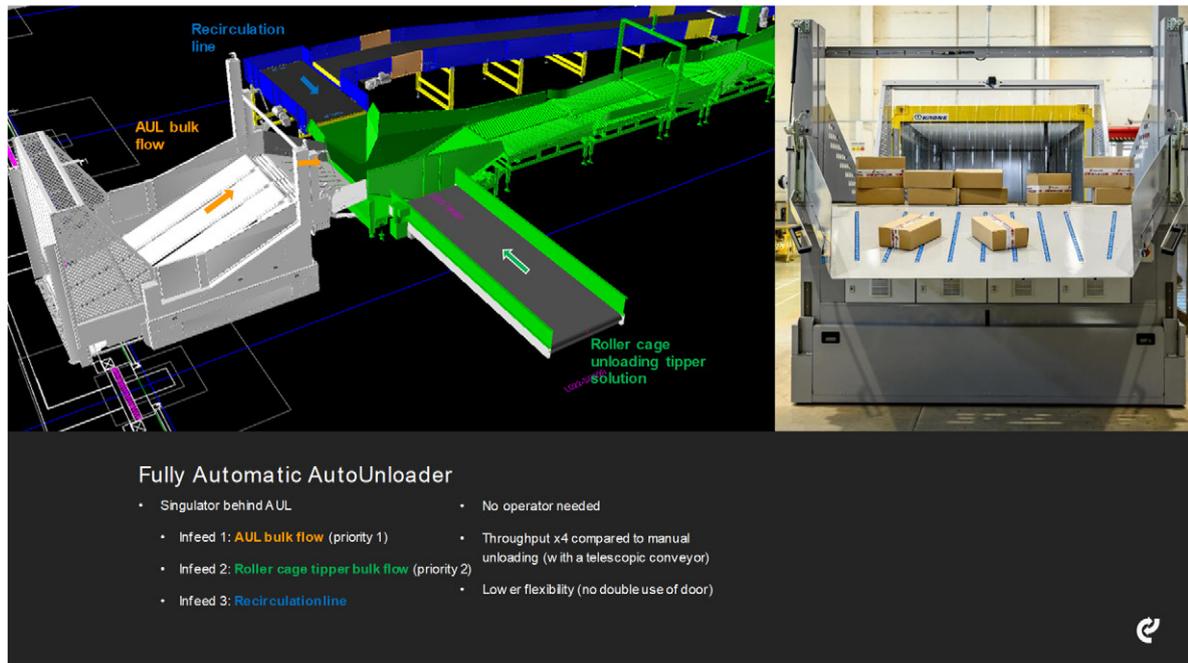
Various impressions of the shuttle and modified swap body.



The video shows the entire process during unloading of a semi-automatic system where an operator is involved in the process.



As previously mentioned the AutoUnloader is being offered in two versions illustrated on the next couple of slides.



The wide exit of the shuttle is clearly visible enabling a higher throughput.

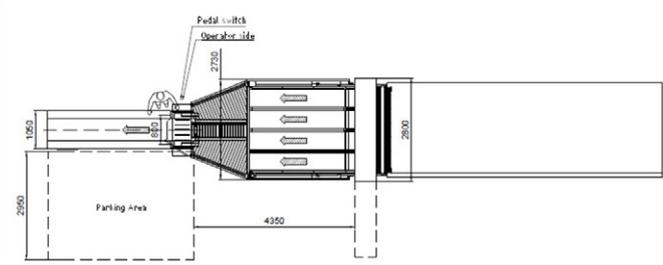
The green conveying line behind the shuttle shows the singulator.

The green line on the right side enables to unload roller cages as well.

The blue belt is the re-circulation belt for e.g. non-conveyables or no-reads which could be re-introduced in the process.

The sorter infeed capacity and no. of sorter infeed lines determines the amount of parcels which can be received from the singulator.

01



The technical drawing shows a side view of the semi-automatic auto-unloader. It features a funnel-shaped hopper at the front, followed by a telescopic conveyor system. Labels include 'Pedal switch' and 'Operator side' pointing to the hopper area. Dimensions are provided: 1053 for the hopper height, 2750 for the hopper length, 2900 for the conveyor width, 4350 for the total length of the hopper and conveyor, and 2050 for the distance from the hopper to the start of the conveyor. A 'Parking Area' is indicated by a dashed line in front of the hopper.



A photograph shows a worker in a dark jacket operating the auto-unloader. The worker is positioned behind the hopper, and the machine is discharging cardboard boxes onto a conveyor belt. One of the boxes has the 'enge' logo visible.

### Semi-Automatic AutoUnloader

- Telescope behind AUL
- Operator needed
- Throughput x2 compared to manual unloading (telescopic conveyor)
- Double use of door (AUL can be parked, and telescope used instead)



This sketch shows the semi-automatic version with an operator behind the funnel. The space for the parking position and needed space in front of the door is shown on the drawing as well.



Handling loose cargo efficiently since 1963

Conclusion: the proven concepts implemented on full scale presented provides an answer to the challenges stated in the beginning hereby solving the problems listed successfully and efficiently. This applies both to the need to solve the staffing issues, to increase door capacity, assure gentle parcel handling offering a very attractive return on investment.





# **Die Logistik-Revolution: Effizienz im KEP-Markt neu definiert**

Ing. Mag. Franz Leitner

Ing. Mag.

**Franz Leitner**

- Geschäftsfeldleiter Logistikzentren & Transport, Prokurist bei der Österreichische Post AG

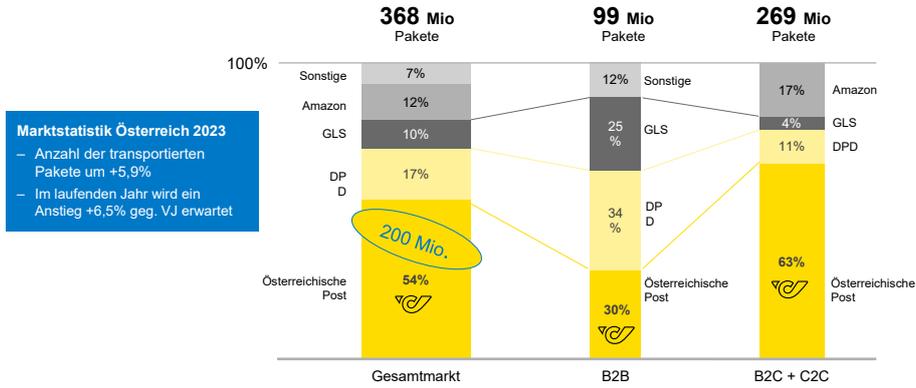


**AGENDA**

1. KEP-Markt 2024
2. Schwerpunkte der Österreichischen Post AG
3. Ausblick

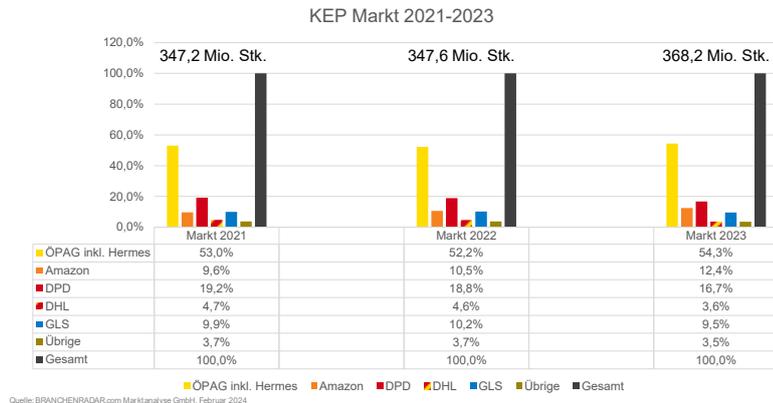


### MARKTANTEILE DES ÖSTERREICHISCHEN PAKETMARKTS 2023



3

### KEINE EINFACHE AUFGABE IN DEN JAHREN 2021-2023



4



SCHWERPUNKTE



5

**1** AUSBAU DER LOGISTIKINFRASTRUKTUR

Logistikzentrum  
Steiermark



Erweiterung

Logistikzentrum  
Oberösterreich



Erweiterung

Logistikzentrum  
Tirol



Neubau

Logistikzentrum  
Wien



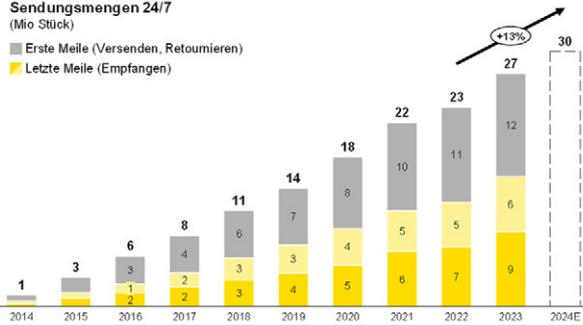
Fertigstellung



### 2 24/7 SB-LÖSUNGEN BEI KUND\*INNEN SEHR BELIEBT

Sendungsmengen 24/7  
(Mio Stück)

■ Erste Meile (Versenden, Retournieren)  
■ Letzte Meile (Empfangen)



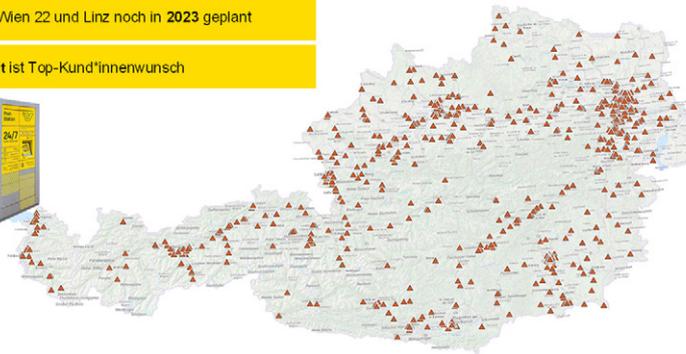
-  **654**  
Versandgeräte
-  **73.443**  
Post Empfangsboxen
-  **113.731**  
Fächer in Abholstationen
-  **581**  
Abholstationen



## 2 ÖSTERREICHWEIT ÜBER 1.000 ZUSÄTZLICHE SB-STANDORTE MÖGLICH



- Ca. 1.000 Standorte in Österreich möglich
- Pilotstandorte in Wien 22 und Linz noch in 2023 geplant
- 24/7 Verfügbarkeit ist Top-Kund\*innenwunsch



9

## 3 STRATEGIE POST: VORWÄRTS IN DIE ZUKUNFT



**1** Verteidigung der Marktführerschaft und Profitabilität im Kerngeschäft



Nachhaltigkeit, Diversität und Kund\*innenorientierung als Leitlinie für alle Aktivitäten

**2** Profitables Wachstum in nahen Märkten



**3** Ausbau des Filial- und Digitalangebots für Privatkund\*innen und KMU

10

### 3 MASTERPLAN NACHHALTIGKEIT 2030 – WESENTLICHE THEMEN

#### Wirtschaft & Kund\*in

- 1 Nachhaltige Präsenz & Privatkund\*innenangebote
- 2 Nachhaltige Brief- & Paketprodukte
- 3 Nachhaltige Beschaffung
- 4 Nachhaltige Governance & Compliance
- 5 Stakeholder Value

**Ausbau bank99**  
Sicherstellung landesweite Versorgung mit Bankdienstleistungen für 245.000 Kund\*innen

**Nachhaltigkeitsbericht:**  
CO<sub>2</sub>-Kennzahlen mit Reasonable Assurance bestätigt



#### Umwelt & Klima

- 6 Grüne & effiziente Mobilität
- 7 Grüne & effiziente Immobilien
- 8 Ressourceneffiziente Prozesse
- 9 Kreislaufwirtschaft

**Grünes Graz:** zu 100% realisiert, CO<sub>2</sub>-freie Brief- und Paketzustellung

**PV-Anlagen:**  
3,5 Megawatt Peakleistung bisher installiert



#### Mensch & Soziales

- 10 Unternehmens- & Arbeitskultur
- 11 Integriertes Diversitätsmanagement
- 12 Arbeits- & Gesundheitsschutz
- 13 Digitale Verantwortung
- 14 Gesellschaftlicher Dialog & Kooperationen

**Kulturprojekt:**  
Programm zur Verbesserung der Unternehmens- und Arbeitskultur

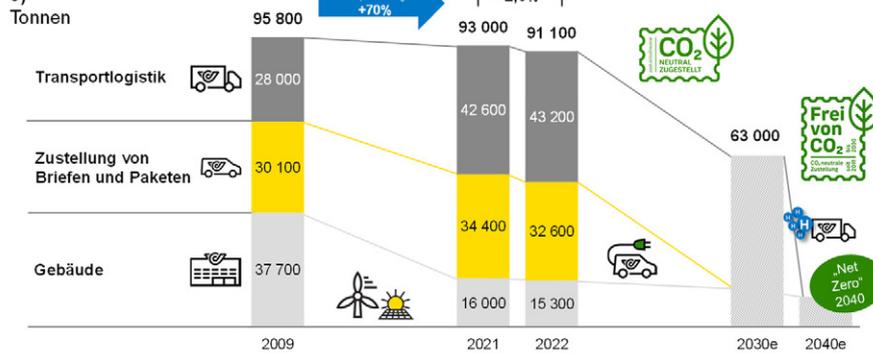
**Gender-Balance-Projekt:**  
Stetiger Anstieg von Frauen in Führungspositionen (aktuell: 35,1% Anteil)



11

### 3 DEKARBONISIERUNG – ROADMAP ÖSTERREICH BIS 2040

CO<sub>2</sub>-Emissionen Österreich (Scope 1–3)





### 3 GRÜNE ZUSTELLUNG IN LANDESHAUPTSTÄDTEN



**Graz**

Umsetzung






**Innsbruck**

Umsetzung






**Salzburg**

In Umsetzung

**2024**





**Wien**

Umsetzung bis

**2025**



**Verbundzustellung & Grünes Paket 1220 bis Juni 2023**

### 3 EFFIZIENTE NEUE TECHNOLOGIEN IM SCHWERVERKEHR



#### LNG-LKW und HVO-Treibstoff im Test

- Wichtige Übergangstechnologie bis zum CO<sub>2</sub>-freien Schwerlastverkehr:
- **LNG (Liquefied Natural Gas)**, verflüssigtes Erdgas, abgekühlt auf minus 162 Grad Celsius
- **HVO**: erneuerbarer Treibstoff aus Pflanzenöl



#### Wasserstoff-Kooperationen

- Zusammenarbeit von Post und OMV bei Entwicklung von Produktion, Infrastruktur und Integration von **grünem Wasserstoff**
- Breite Initiative auch für andere Interessent\*innen
- Ziel: Einsatz des 1. Post Wasserstoff-LKW bis spätestens 2023



- Mitglied des Konsortiums H2-Mobility Austria zur Förderung der **Wasserstoffmobilität**
- Ziel: 2.000 Wasserstoff-LKW in Österreich bis 2030

### 3 EFFIZIENTE NEUE TECHNOLOGIEN IM SCHWERVERKEHR



#### BEV – LKW 2024

- Q2/2024 : ersten beiden BEV-LKW im Osten im Einsatz
- 100% zero emission
- 100% Ersatz von Diesel LKWs
- 2x150 kW Ladeinfrastruktur



- Nutzung der ENIN-Förderung für LKW und Ladeinfrastruktur
- positive Business Case!

15

#### 4 TECHNISCHE INNOVATIONEN

Auflege-Roboter

LED-Abnahmeunterstützung

Unterstützende Systeme für Instandhaltung



**4 HIPO – 2024 IN ALLEN PAKET-LOGISTIKZENTREN**

**WIESEL**

**HALLE**

**PFORTE**

**LEITSTAND**

**HIPO oder Hoflogistik in der Post**

- Klare Prioritäten
- Mehr Überblick
- Bessere Qualität
- Liveberichte

HERZLICHEN DANK.





# **Nachhaltige modulare Logistiklösungen für eine klimaneutrale und ressourcenschonende Produktion**

Dipl.-Ing. Christoph Alt

Dipl.-Ing.

**Christoph Alt**

- Geschäftsführer der ligenium GmbH



**ligenium**  
next level productivity

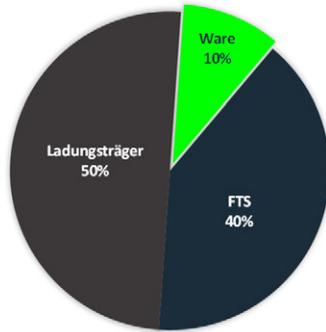
Nachhaltige modulare Logistiklösungen für eine klimaneutrale und ressourcenschonende Produktion

# Nachhaltigkeits-Problem

## Hohes Gewicht von Ladungsträgern für den Transport Konventionelle Metallbauweise

Um wenige kg Ware zu bewegen, wird häufig ein vielfaches Leergewicht (bis zu 90% Tara) an Fördertechnik bewegt.



Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) inkl. Ladungsträger und Transportgut



 **ligenium**  
next level productivity

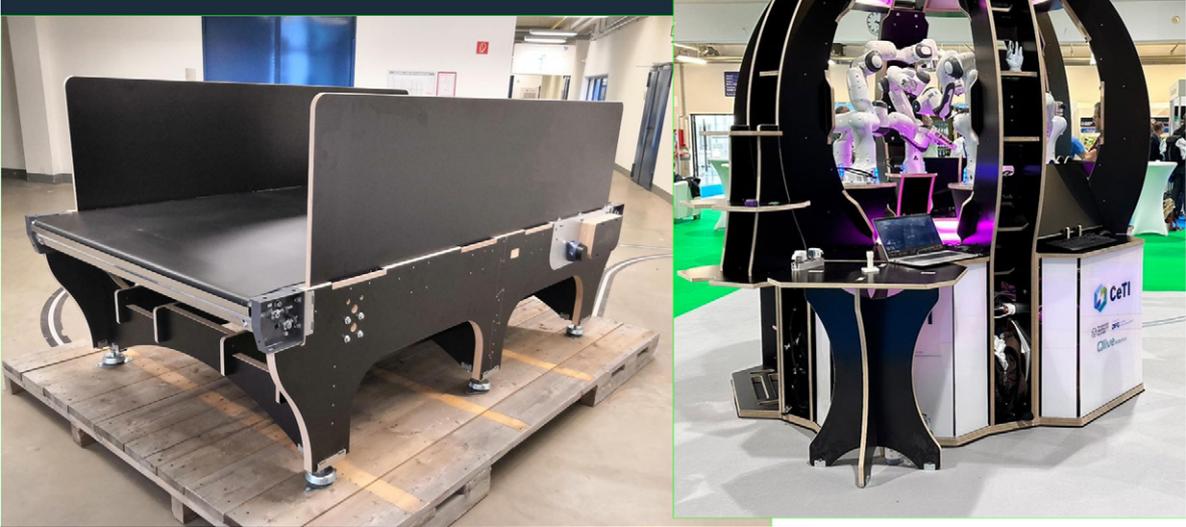
# Nachhaltigkeits-Lösung

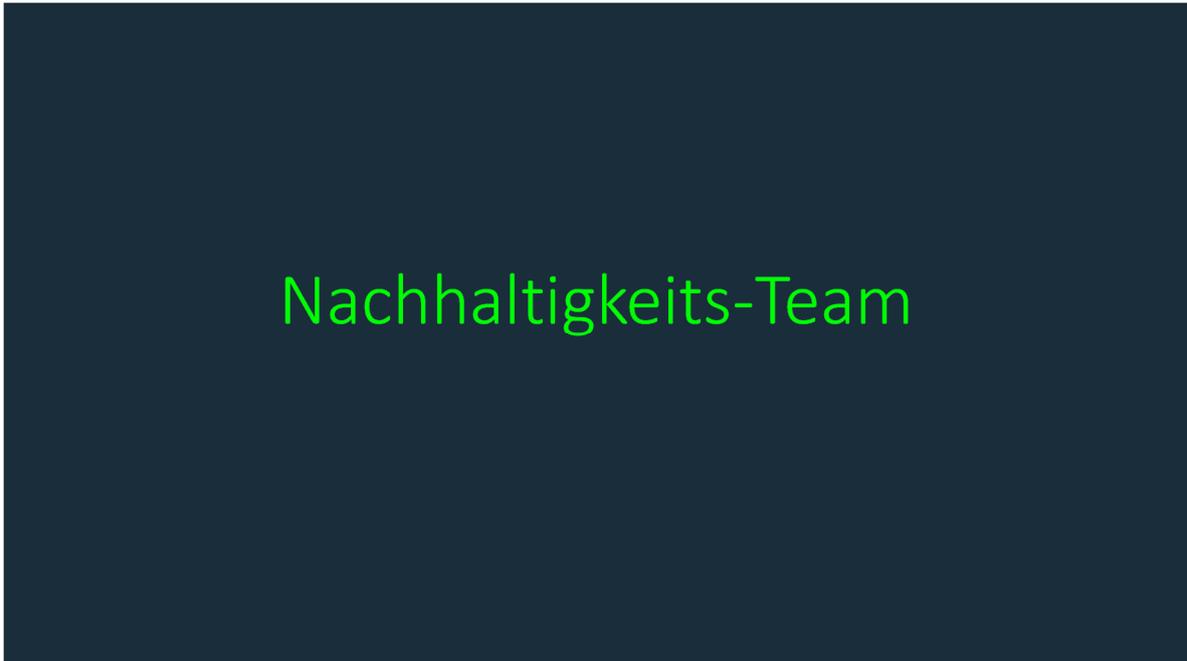


50% Gewichtsreduktion durch nachhaltige Logistiklösungen  
in ligenium Holzbauweise



ligenium – wooden future  
Fördertechnik und Anlagentechnik







**ligenium – Team**  
Die Evolution der Holzbauweise für Maschinenbau und Logistik

**Christoph Alt**  
GF/Vertrieb/Gründer

**Dr. Romy Eckardt**  
Entwicklung/Gründer

**Tree(m)Team**  
21 Mitarbeiter:innen  
1,75 Mio Umsatz (2023)

**Tom Zezulka**  
Finanzen

**Dr. Sven Eichhorn**  
Forschung/Gründer

# Nachhaltigkeits-Vorteile

## Vorteile von Holz in technischen Anwendungen

Ökologisch – Ökonomisch – Sozial – Technisch

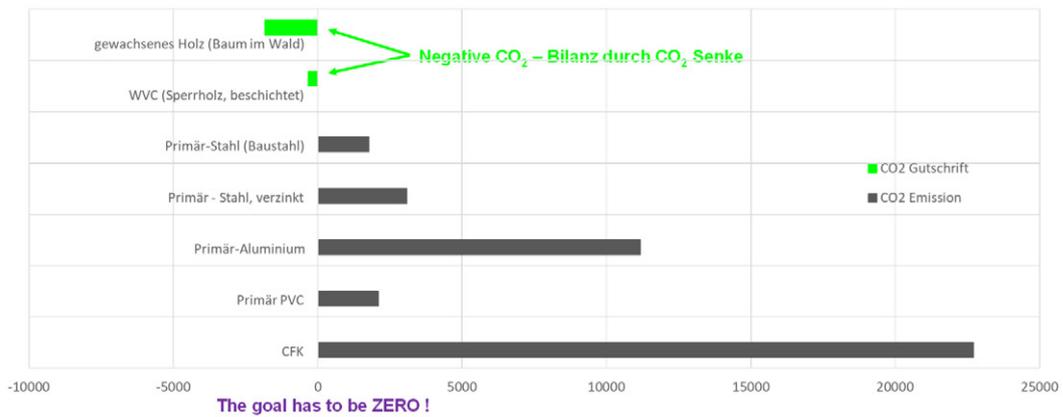
- |   |  |   |
|---|--|---|
|  Klimapositiv (CO <sub>2</sub> ) |  Lärmreduktion                      |  Füllgradoptimierung |
|  Leichtbau                       |  Elektrische Isolation              |  Modularität         |
|  Kreislaufwirtschaft             |  Thermische Isolation               |  Ergonomie           |
|  Kostenreduktion                 |  Elektromagnetische Verträglichkeit |  Bauteilschutz       |
|  Wartungsarmut                   |  Elektrostatische Entladung (ESD)   |  Flexibilität        |
|  Corporate Social Responsibility |  Antibakteriell                     |  Hohe Beständigkeit  |



## Treibhauspotential: CO<sub>2</sub> Bilanz

Klimawirksamkeit von Holz und Holzwerkstoff im Vergleich zu Stahl, Aluminium, Kunststoff, Carbon

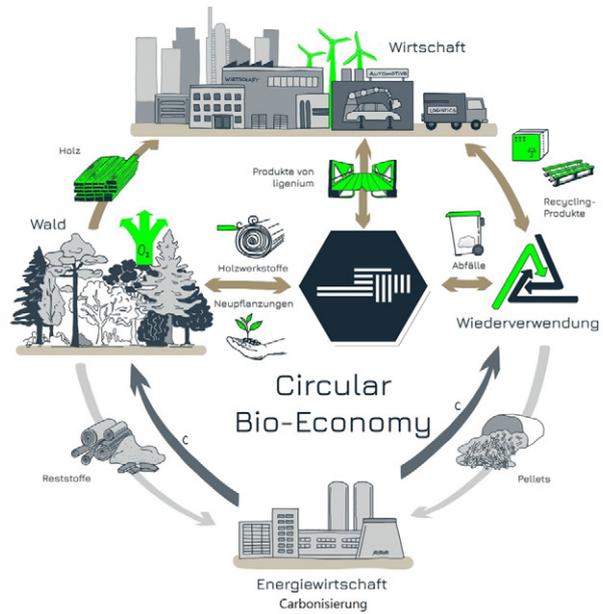
CO<sub>2</sub>-eqv. Emissionen pro Tonne





# Nachhaltigkeits-Vision

**Circular Bio-Economy**  
Holz im Wertschöpfungskreislauf



### What's next: Digitalisierung auf dem Holzweg

#WIRMACHEN HOLZDIGITALKLIMANEUTRAL



- EU-Taxonomie
- Kreislaufwirtschaft
- Materialsubstitution
- CO2-Finanzdaten
- Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz

**ligenium**  
next level productivity

### Kontakt

ligenium GmbH  
Annaberger Straße 240  
09125 Chemnitz  
[www.ligenium.de](http://www.ligenium.de)

Christoph Alt  
Geschäftsführer | Gründer  
Tel.: +49 176 4079 2881  
[christoph.alt@ligenium.de](mailto:christoph.alt@ligenium.de)  
LinkedIn: [www.linkedin.com/in/christoph-alt](https://www.linkedin.com/in/christoph-alt)









# **WOOD WORKS**

Ing. Wolfgang Knöbl, BSc MA



Ing.

**Wolfgang Knöbl**, BSc MA

- Head of Division bei der Weitzer Woodsolutions GmbH



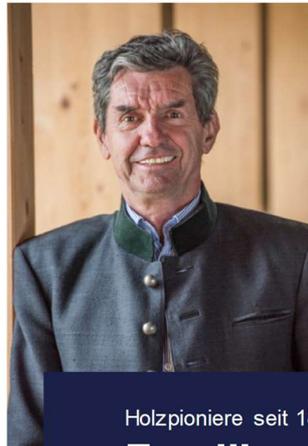
WOODWORKS

Logistikwerkstatt Graz  
2024.05.07

Dr. Nicola Weitzer



Wilfried Weitzer



Mag. Alexandra Decker-Weitzer



Holzpioniere seit 1831

**Familiengeführte  
Unternehmensgruppe**



Committed to finding  
**ANSWERS  
MADE OF WOOD.**



WOOD IF  
WE REDEFINED  
WOOD?

## Leistungsfähigkeit von Holz

- Brandschutzzertifikat Railway DIN EN 45545 R7 (HL2)
- Beschusstest Railway (600J)
- Langzeitverhalten (Wöhlerkurven)
- Klima-Wechsel-Test erfolgreich absolviert
- Standard Verbindungstechnologien anwendbar
- Prozesssicherheit, Prozessstandardisierung
- 3D geformte Teile können prozesssicher und reproduzierbar hergestellt werden
- OEM und Zertifizierungstellen unabhängig überprüft durch externe Ingenieur- und Ziviltechnikerbüros



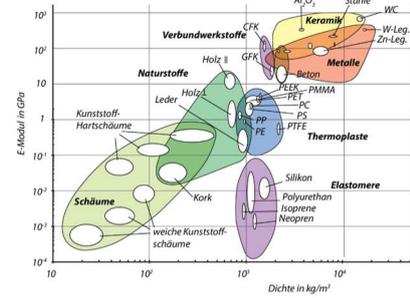
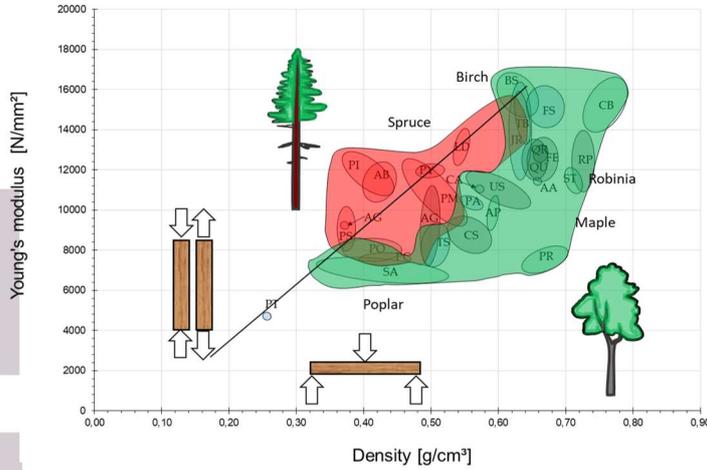
## Hauptholzarten und Hauptbezugsländer

- In Österreichs Wäldern stehen zu 70,9 % Nadelhölzer und zu 29,1 % Laubhölzer.
- Fichte ist die häufigste Baumart (55,8 %), gefolgt von Buche (12,6 %).  
Quelle: Österreichische Waldinventur, BFW, waldinventur.at Baumarten
- In den letzten 25 Jahren (Waldinventur 1992-96 bis 2016-21) hat sich die Baumartenverteilung deutlich zugunsten höherer Vielfalt verändert.
  - Laubhölzer haben um 4,7 % zugenommen,
  - Nadelhölzer entsprechend abgenommen.
  - Vor allem der Anteil der Fichte ist kleiner geworden. Dennoch bleibt Fichte die mit Abstand häufigste Baumart in Österreichs Wäldern.
- Die Anteile der häufigsten Baumarten bezogen auf die Waldfläche haben sich wie folgt verändert:
  - Fichte - 5 Prozent,
  - Lärche + 1 Prozent,
  - Weißkiefer - 1,4 %,
  - Tanne + 0,4 Prozent,
  - Buche + 2,5 %,
  - Eiche +/- 0 %





## Einordnung der Holzarten

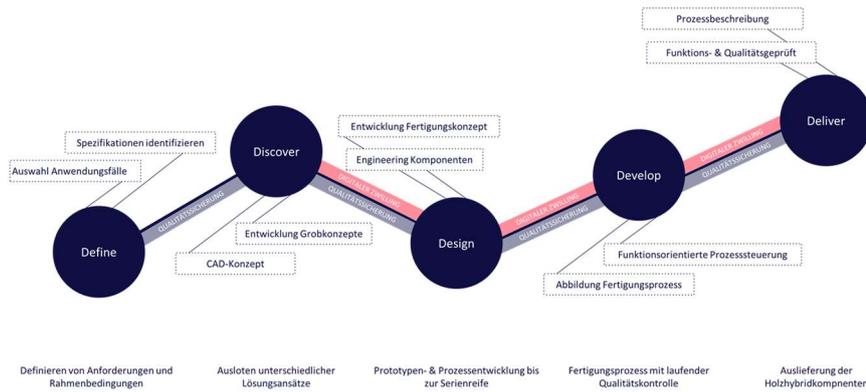


Weißbach, Dahms, Jaroschek (2018) Überlegungen zur Materialauswahl

Huber, Prameiter, Stadlmann, Langmaier, Grabner, Grabner, Krenke, Müller (2021) Wood species properties and their impact on utilization – A Review; to be published



## Digitaler Engineering Prozess



Definieren von Anforderungen und Rahmenbedingungen    Ausloten unterschiedlicher Lösungsansätze    Prototypen- & Prozessentwicklung bis zur Serienreife    Fertigungsprozess mit laufender Qualitätskontrolle    Auslieferung der Holzhybridkomponenten



## Digitaler Engineering Prozess

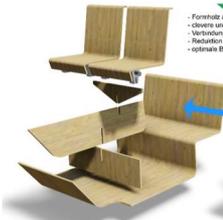
WOODWORKS



©Weitzer Woodsolutions



©WoodC.A.R. / Institut für Fahrzeugsicherheit



©Weitzer Woodsolutions



©CARpenTIER. / WEI.Z.



©CARpenTIER. / WEI.Z.



## Digitaler Fertigungsprozess





Vergleich der Ladungsträger – Palettenwagen  
 Holz-Hybridbauweise vs. Stahlbauweise – (Trumpf)



Quelle: Tech Days Trumpf – Marcel Schröder

Gewicht: (nur Rahmen)  
 ca. 33,4 kg (-39%) ca. 55 kg

Aufbau:  
 Modular/flexibel fest

CO2 Bilanz (GWP\*)/Emissionen:  
 ca. 20 kg (-88%) ca. 169kg

Nachhaltigkeit:

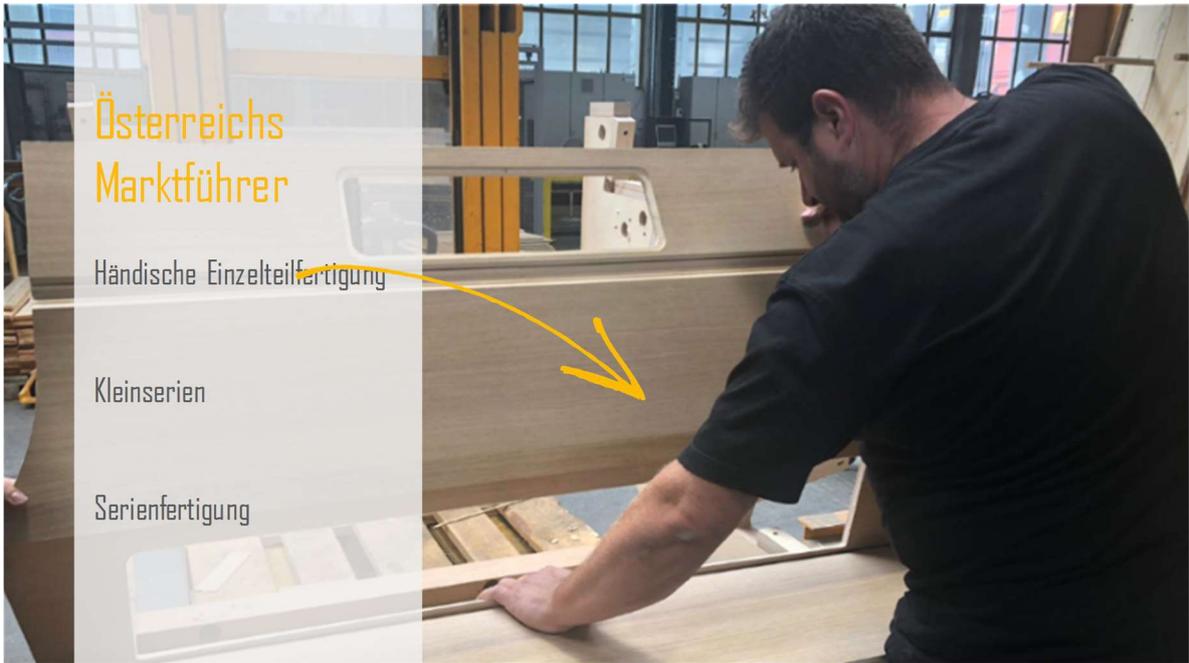
- Ökologisch:
  - CO2 Bindung
  - Ressourceneffizienz
- Ökonomisch:
  - Niedrige Betriebskosten
  - Niedrige Investitionskosten
- Sozial:
  - Ressourcenschonung
  - Ergonomie (leicht, „warm/Haptik“)



Quelle: Office Discount

Sustainable Lightweight Logistics Solutions

\* GWP - Global warming potential





# Aufbereitung / Wiederverwertung / Circular Economy Wood



## Wood VISION LAB

# Forschungs- und Entwicklungsreise

- Cluster-Initiative & Qualifizierung für erste Förderprojekte
- Erste anwendungsorientierte Projekte
- Produktentwicklung ohne OEM
- Business Plan

- Start Kompetenzaufbau am W.E.I.Z.
- Kritische Bereiche wie Batteriespeicher
- Marktumfeld
- Bewertung

- Identifizierung von neuen Anwendungsgebieten
- Nachhaltige Produkte
- Ausgangssituation
- Bewertung

- Machbarkeitsstudie
- Aufbau des Technikum

2013

**Vorstudie**

2015

- Holz wurde berechenbar
- Digitaler Zwilling für Holzprodukte
- Erste ökologische Vergleiche

2016

**WoodC.A.R.**

2019

- Holz wurde berechenbar
- Digitaler Zwilling für Holzprodukte
- Erste ökologische Vergleiche

2021

**MoveWood**

2021

- Digitaler Zwilling des Prozesses
- Neues Sicherheitskonzept
- Industrialisierung der Manufakturprozesse
- Qualifizierung von Technologien

2021

**BioLiB**

2022

- Materialqualifizierung
- Alternative Verbindungstechnologien

2023

**Stitch!**

2023

- Materialqualifizierung
- Alternative Verbindungstechnologien

2023

**CarryMeHome**

2024

- Aktive Mobilität fördern
- Holzprodukte für ein Roboter-Carrier
- Erste Teststrecken im öffentlichen Verkehr

2024

**EFRE-Infrastruktur**

2024

- Innovationenlabor
- Aufbau Accelerator
- Digital Tools for Wood Industry
- Aufbau Wissensplattform
- Aufbau Leadership
- Qualifizierung von Personen

2024

**Wood Vision Hub**

**WoodC.A.R.**

**COMET-Projekt CARpenTIER**

**BioLiB**

**Stitch!**

**CarryMeHome**

**Wood Vision Hub**

**EFRE-Infrastruktur**

## Wood | VISION LAB

Schafft Technologie-/Techniklösungen in der  
**Entwicklung und Anwendung von  
ökologischen Leichtbau-Hybrid-Werkstoffen**  
unter besonderer Berücksichtigung regionaler  
Wertschöpfung









# **Holzregale in Silobauweise**

## **Ein Erfahrungsbericht aus der Praxis**

DI Dr.techn. Michael Schedler



DI Dr.techn.

## Michael Schedler

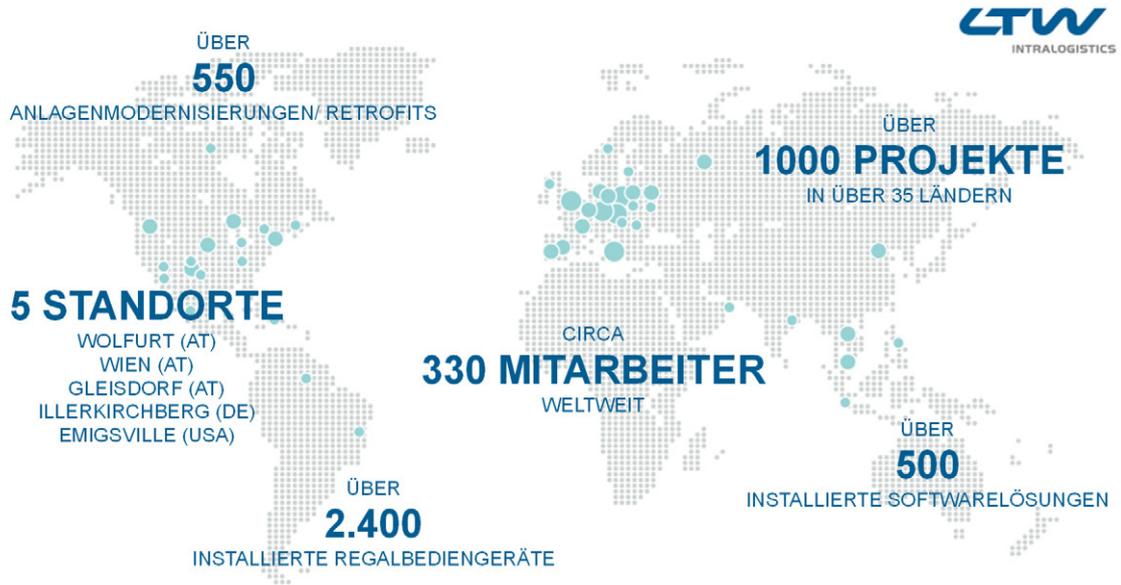
- Produktmanagement, F&E bei der LTW Intralogistics GmbH
- „As gaut alls, wenn ma werkle wett! Blos macha muss mas!“ - Eine Lebensweisheit aus dem Bregenzerwald



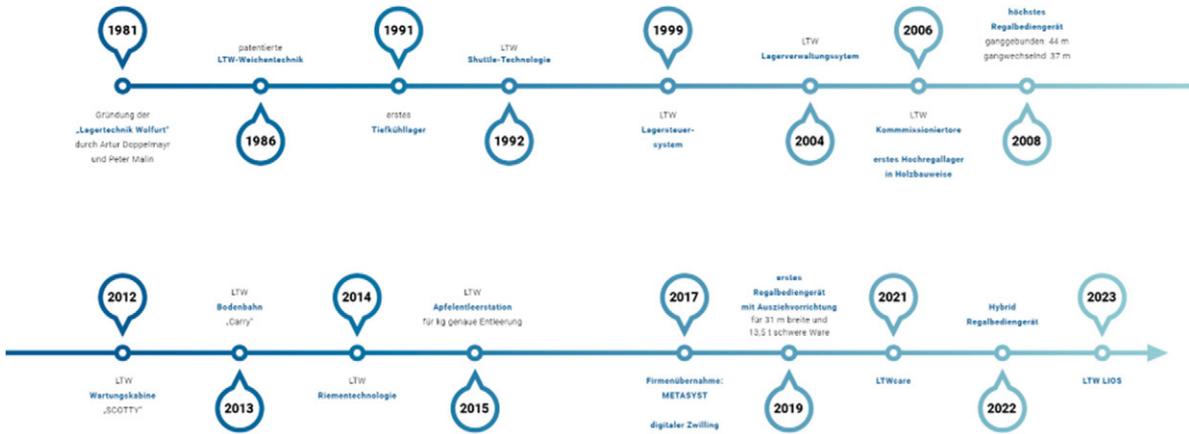
# CTW

INTRALOGISTICS





LTW INTRALOGISTICS ENTWICKLUNGEN





## FERTIGUNGS- QUALITÄT

- Fertigung nach Seilbahnstandard
- Konsequente Qualitätssicherung
- Präzise Fertigungsprozesse
- Hohe Fertigungstiefe
- Zusammenbau / Vorinbetriebnahme



© LTW INTRALOGISTICS GMBH, LTWAT



**BRANCHENNEUTRAL  
VIELFÄLTIG & FLEXIBEL  
IMMER IN BEWEGUNG.**





SCHLÜSSELFERTIGE INTRALOGISTIKSYSTEME.



## KOMPLETTANBIETER

### INTRALOGISTIKLÖSUNGEN

- Alles aus einer Hand
- Weltweit & branchenunabhängig
- Schnittstellenfreier Materialfluss
- Experte für individuelle Lösungen
- Profunde Softwarekompetenz
- Maximale Anlagenverfügbarkeit
- Kundenoptimierter Service / Lifecycle



ENGINEERS OF FLOW

9

© LTW INTRALOGISTICS GMBH, LTWAT

SCHLÜSSELFERTIGE INTRALOGISTIKSYSTEME.



## KOMPLETTANBIETER

### INTRALOGISTIKLÖSUNGEN

- Zusatzleistungen
  - Regalanlage
  - Dach- und Wandverkleidung
  - Brandschutz
  - Tore (z.B. Brandschutz-, Schnellauftore)



**ALLES AUS EINER HAND.**

ENGINEERS OF FLOW

10

© LTW INTRALOGISTICS GMBH, LTWAT

# HOLZREGALE IN SILOBAUWEISE

EIN ERFAHRUNGSBERICHT AUS DER PRAXIS

LOGISTIKWERKSTATT GRAZ 2024

**LTW**  
INTRALOGISTICS

## ÜBERBLICK

### Aus der Praxis:

- Weltweit etwa 16 Holzregale in Silobauweise
- Bei drei Stück war LTW beteiligt
  - Offsetdruckerei Schwarzach, Salinen Austria, Josera

### Aus der Wissenschaft:

- Wissenschaftlich sind Holzregale sehr gut untersucht
- 2016 Forschungsprojekt TUM „Wirtschaftliche und ökologische Potenziale von Hochregallagern aus Holz“
- LTW war als Industriepartner beteiligt



Abb.: Weltweit größtes Hochregal aus Holz: Alnatura mit Swisslog, BJ 2014  
(Quelle: [https://www.holzkuierer.com/holzbau/2014/05/groesstes\\_holz-hochregallagereroeffnet.html](https://www.holzkuierer.com/holzbau/2014/05/groesstes_holz-hochregallagereroeffnet.html))



## PROJEKT: OFFSETDRUCKEREI

Bauherr: Offsetdruckerei Schwarzach  
 Logistikplaner: LTW Intralogistics GmbH  
 Fördertechnik: LTW Intralogistics GmbH  
 Holzbau: Kaufmann Bausysteme GmbH

Eckdaten	
Baujahr	2009
Breite / Länge / Höhe	25 / 56 / 30 m
Anzahl Stellplätze	10.500 kg
Max. Palettengewicht	1.000 kg
Bauform	Silo, doppeltief, 3 Gassen, 16 Ebenen
Werkstoff	Brettschichtholz Fichte, Baustahl



ENGINEERS OF FLOW

## PROJEKT: OFFSETDRUCKEREI



ENGINEERS OF FLOW

## PROJEKT: SALINEN AUSTRIA

Bauherr: Salinen Austria AG  
 Logistikplaner: LTW Intralogistics GmbH  
 Fördertechnik: LTW Intralogistics GmbH  
 Holzbau: Kaufmann Bausysteme GmbH

Eckdaten	
Baujahr	2005
Breite / Länge / Höhe	21 / 110 / 23 m
Anzahl Stellplätze	11.600 kg
Max. Palettengewicht	1.000 kg
Bauform	Silo, doppeltief, 6 Gassen, 12 Ebenen
Werkstoff	Brettschichtholz Fichte



ENGINEERS OF FLOW

15

© LTW INTRALOGISTICS GMBH, LTWAT

## PROJEKT: SALINEN AUSTRIA



ENGINEERS OF FLOW

16

© LTW INTRALOGISTICS GMBH, LTWAT



## FEEDBACK DER KUNDEN

### Salinen Austria (BJ 2005)

- „Stahl-Regalkonstruktion wegen korrosiver Atmosphäre nicht wirtschaftlich“
- „Salz gelangt durch undichte Verpackungen direkt auf Holz → kein Problem“

### Offsetdruckerei Schwarzach (BJ 2009)

- „Holzkonstruktion weniger als 10% teurer als Stahl-HRL“
- „durch Hybridbauweise nur halb so viel Stahl benötigt“
- „Hochregal wird im Winter befeuchtet (50% relative Luftfeuchte)“

### Josera (BJ 2010)

- „Holzkonstruktion nur 5-10% teurer als Stahl-HRL“
- „Holzkonstruktion sehr robust / massiv → mehr Sprinkler benötigt“

## ERFAHRUNGEN DER LTW AUS DER PRAXIS

### Aus technischer Sicht:

- Max. Regalhöhe auf etwa 30 m begrenzt
  - Wenn höher, dann sind komplizierte Stöße im Hochstab notwendig
  - Transport von längeren Elementen wie 30 m nicht mehr sinnvoll möglich
- Nicht für jedes Klima im Lager geeignet (Luftfeuchte, Temperatur usw.)
- Schnellere Montage (Modulbauweise)

### Aus Sicht des Vertriebs:

- Bis dato nur für Firmen mit tiefgreifendem Bewusstsein für Nachhaltigkeit von Interesse
  - Ausnahme: Salinen Austria
- Bewusstsein vieler Kunden fehlt
  - Vielen Kunden ist gar nicht bewusst, dass es Holzregale in Silobauweise gibt.
- Darstellung der ökologischen Nachhaltigkeit nur schwer oder gar nicht möglich
- 10 – 20 % teurer als Variante mit Stahl

## FORSCHUNGSPROJEKT TU MÜNCHEN (2016)

- Diskussion rechtlicher Vorgaben, Normen und andere Richtlinien
  - Brandschutzrichtlinien usw.
- Interviews
  - Betreiber und ver. Herstellern
- Berechnung von Hochregallagern aus Holz
  - Entwurfsgrundlagen usw.
- Einsatzgrenzen von Regalwerkstoffen aus Holz
  - Umwelteinflüsse, Biologische und Chemische Einflüsse usw.
- Untersuchung der Nachhaltigkeit
  - Ökologische Nachhaltigkeit
  - Ökonomische Nachhaltigkeit



### FORSCHUNGSBERICHT

W. A. Günthner · S. Winter ·  
C. Ludwig · P. Glaser

Wirtschaftliche und ökologische Potenziale  
von Hochregallagern aus Holz

Das Projekt ist Teil des Verbundprojektes „Stahl – Umwelt – Qualität“ (StUQ) im Rahmen des BMBWF-Förderprogramms „Stahl – Umwelt – Qualität“ (StUQ) im Rahmen des BMBWF-Förderprogramms „Stahl – Umwelt – Qualität“.

## FAZIT

- Wir können Hochregale aus Holz erfolgreich zu bauen.
- Wir haben die Werkzeuge ein Hochregal aus Holz zu bewerten.
- Wir sind Stahl „gewohnt“ – Holz ist (noch) ein unüblicher Exot in der Branche.

### Es mangelt an...

- Erfahrung der Regalbauer für Holzregale sowie weiterführende Entwicklungen und Optimierungen.
- Willen des Kunden höhere Kosten zu tragen – Holzregal rechnet sich (meist) nicht!
- Werkzeugen zur Ermittlung bzw. Darstellung von Vorteilen im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit.



# DANKE.



**LTW Intralogistics GmbH**

Achstrasse 53

6922 Wolfurt, Österreich

+43 (0) 5574 6829-0

[office@ltw.at](mailto:office@ltw.at)

**LTW.AT**



# Simulationsbasierte Weiterentwicklung einer Berechnungsvorschrift für Taschensortersysteme

Patrick Kröpfl<sup>1</sup>, Alexander Ortner-Pichler<sup>1</sup>, Andreas Siegl<sup>2</sup>, Christian Landschützer<sup>1</sup> und Jürgen Neugebauer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Graz - Institut für Technische Logistik, <sup>2</sup>Beumer Group Austria GmbH

DOI: 10.3217/978-3-85125-995-7-01

## Abstract

Vor allem getrieben durch einen Anstieg im Bereich des E-Commerce, erhöhen sich die Sendungszahlen in der Kurier-, Express- und Paketdienstbranche, mit einem durchschnittlichen Wachstum von 4,84%. Durch die entstehenden Anforderungen im E-Commerce-Fulfillment und durch die zunehmende Integration von Einzelhandel und Direct-to-Consumer (D2C) gewinnen dabei Taschensortersysteme zunehmend an Bedeutung. Angesichts der wachsenden Größe und Komplexität dieser Anlagen wird ein tiefgreifendes Systemverständnis immer wichtiger, um auch in Zukunft energieeffiziente und ressourcenschonende Systeme zu entwickeln.

Als ein weltweit führender Anbieter von Taschensortersystemen sieht sich auch die Beumer Group Austria GmbH dieser Herausforderung gegenüber. Um ihr gerecht zu werden, ist eine kontinuierliche Verbesserung unumgänglich. Dazu beitragen soll eine Weiterentwicklung der bestehenden Berechnungsvorschrift für das Taschensortersystem – BG Pouch System. Der Fokus liegt dabei auf der Analyse der Einflüsse von dynamischen Wechselwirkungen der Systemkomponenten.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Logistik der Technischen Universität Graz erfolgt dazu eine breit angelegte Untersuchung des Taschensortersystems. Mit Hilfe von Mehrkörpersimulationen werden dabei dynamischen Wechselwirkungen quantifiziert, um diese in die bestehende Berechnungsvorschrift aufzunehmen. Die so gewonnenen Erkenntnisse sind von entscheidender Bedeutung, um das Systemverständnis zu vertiefen und energieeffiziente sowie ressourcenschonende Systeme zu entwickeln. Dies trägt zur Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele der Beumer Group Austria GmbH bei und festigt ihre Position in einem zunehmend anspruchsvollen Marktumfeld.

*Keywords: Taschensorter, E-Commerce, Berechnungsvorschrift, numerische Simulation, Mehrkörpersimulation, Energieeffizienz, Nachhaltigkeit*

# 1 Einleitung

Die Kurier-, Express- und Paketdienstbranche erlebt in den letzten Jahren einen kontinuierlichen Anstieg der Sendungszahlen, der vor allem durch das Wachstum im Bereich des E-Commerce angetrieben wird. Laut einer Studie des Bundesverband Paket & Express Logistik, aus dem Jahr 2023 verzeichnet dieser Sektor ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 4,84%. [1] Besonders im E-Commerce-Fulfillment und durch die wachsende Integration von Einzelhandel und Direct-to-Consumer (D2C) gewinnen Taschensortersysteme zunehmend an Bedeutung. Diese spezialisierte Form der Hängefördertechnik wird für den Transport und die Zwischenlagerung von kleinen bis mittelgroßen Artikeln mit geringer Masse eingesetzt. Ihre Vorteile zeigen sich insbesondere im Retourenmanagement, da die dynamische Pufferung den erneuten Lager- und Kommissioniervorgang überflüssig macht. Durch das steigenden Sendungsvolumen des Online-Handels wächst auch die Anzahl der Retouren und wird insbesondere für Online-Händler zu einer finanziellen Belastung, was wiederum zu einer erhöhten Attraktivität und einem steigenden Bedarf an Taschensortersystemen führt. [2]

Angesichts des Trends zu zunehmend größeren und komplexeren Anlagen in diesem Bereich erhöhen sich auch die Anforderungen an die Planung von Taschensortersystemen. Die Beumer Group Austria GmbH hat dabei die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung ihrer Berechnungsvorschrift<sup>1</sup> erkannt. Ziel ist es ein noch besseres Systemverständnis zu erlangen und den steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Insbesondere die Berücksichtigung dynamischer Wechselwirkungen<sup>2</sup> in der Berechnungsvorschrift sind ein zentraler Schwerpunkt. Die zunehmende Größe und Komplexität dieser Anlagen unterstreichen die Notwendigkeit eines vertiefenden Systemverständnisses, um auch zukünftig energieeffiziente, ressourcenschonende und betriebssichere Systeme entwickeln zu können.

## 1.1 Stand der Technik

Bisherige Ansätze im Bereich der Auslegung von Sortier- und Verteilförderern, zu denen der Taschenförderer zählt, basieren größtenteils auf analytischen und quasistatischen Berechnungsmethoden [3]. [4], [5] und [6] zeigen die Berechnung des Gesamtwiderstandes<sup>3</sup> eines Förderers durch die Summation von Einzelwiderständen. Hinzu kommen häufig noch empirische Kenngrößen für Anfahrvorgänge wie in [7] und [8] exemplarisch dargestellt. Eine Berücksichtigung von dynamischen Wechselwirkungen der Komponenten kann mit solchen quasistatischen Berechnungen naturgemäß nicht abgebildet werden.

## 1.2 Zielsetzung und Motivation

Angesichts der Einschränkungen derzeitiger Auslegungen ergibt sich die Zielsetzung einer Weiterentwicklung der bestehenden Berechnungsvorschrift um dynamische Wechselwirkungen. Dabei unterstützt das Institut für Technische Logistik der Technischen Universität Graz dieses Vorhaben. Als

<sup>1</sup> Die Planungsrichtlinie der Beumer Group Austria GmbH bezeichnet ein Dokument, das eine Berechnungsvorschrift enthält, um basierend auf dem Anlagenlayout die erforderliche Antriebsleistung des Förderers zu ermitteln. Inhalte

<sup>2</sup> Dynamische Wechselwirkungen im Kontext des Taschenförderers umfassen sämtliche dynamischen Interaktionen zwischen den Systemkomponenten, einschließlich Abweichungen vom Idealbetrieb und Einflüsse verschiedener Fahrmanöver.

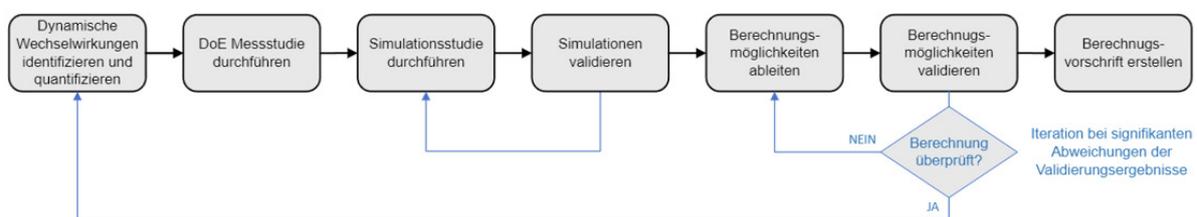
<sup>3</sup> Als Gesamtwiderstand werden analog der klassischen Zugmitteltheorie alle Widerstandskräfte, welche im Taschensorter auftreten, aufsummiert. Für den Betrieb der Anlage muss jener Widerstand vom Antrieb überwunden werden.

Hilfsmittel für die Quantifizierung der dynamischen Wechselwirkungen werden dabei numerische Simulationen eingesetzt. [9], [10], [11] und [12] zeigen dabei bereits grundlegende Simulationsansätze, welche in diesem Vorhaben auf den Taschensorter angewandt werden.

Die Motivation für dieses Vorhaben liegt in der Optimierung des Layouts während der Anlagenplanung, um die Platzierung der benötigten Systemkomponenten (z.B. Weichen, Antrieb oder die Anordnung von Kurvenelementen) zu optimieren und den Gesamtwiderstand der Anlage zu minimieren. Eine solche Optimierung zielt darauf ab, den Energieverbrauch zu reduzieren, die Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und die Lebensdauer der Anlagenkomponenten zu erhöhen.

### 1.3 Methodische Vorgehensweise

Abbildung 1 zeigt den Ablauf der entwickelten Methode zur Ergänzung der Berechnungsvorschrift um dynamische Wechselwirkungen. Diese beginnt mit einer umfassenden Untersuchung der Anlage, um potenzielle Einflussfaktoren auf die Gesamtwiderstandskraft des Förderers zu identifizieren. Diese Identifizierung bildet den Ausgangspunkt der Quantifizierung der Effekte<sup>4</sup>, die für die dynamischen Wechselwirkungen verantwortlich sind. Für diese werden analytische, empirische und numerische Lösungsmöglichkeiten herangezogen. Die Grundlage für analytische und empirische Lösungen bilden Berechnungsgleichungen und Kenngrößen<sup>5</sup> aus einschlägiger Fachliteratur (siehe Abschnitt 1.2). Zur Quantifizierung von Effekten, die nicht durch diese Ansätze abgedeckt werden können, werden numerische Simulationen verwendet. Parallel zur numerischen Simulation erfolgen Messstudien nach dem Prinzip des Design of Experiment (DoE) an realen Versuchsanlagen. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Parametrisierung der Simulationsmodelle und zur Validierung der Berechnungsvorschrift. Der Prozess der Simulations- und Messstudie wird iterativ betrachtet, wobei die Parametrisierung fortgeführt wird, bis die Abweichung zwischen Messung und Simulation im vorgegebenen Bereich liegt. Anschließend werden verschiedene Fahrmanöver, Beladungen und Abweichungen vom Idealbetrieb in einer Simulationsstudie untersucht. Die Simulation ermöglicht eine quantifizierbare Analyse einzelner Effekte, die mit Realversuchen nur bedingt möglich ist. Die Ergebnisse der Simulationsstudie bilden die Grundlage für die Ableitung von Berechnungsmethoden für dynamische Wechselwirkungen, welche die Weiterentwicklung der Berechnungsvorschrift unterstützen. Diese wird anschließend anhand verschiedener Betriebsszenarien validiert, wobei erneut Realversuche an den Versuchsanlagen verwendet werden.



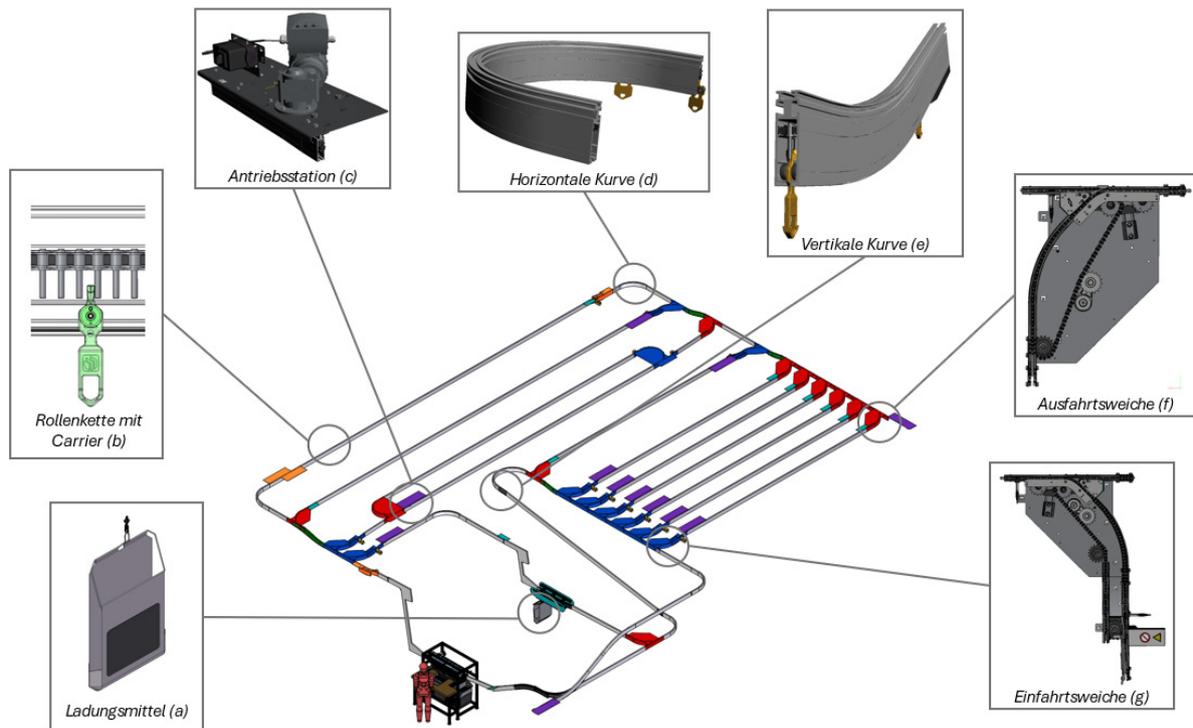
**Abbildung 1:** Methode zur Weiterentwicklung der Berechnungsvorschrift

<sup>4</sup> In dieser Arbeit versteht sich der Begriff "Effekt" als Ursache für dynamische Wechselwirkungen. Die Untersuchungen zielen darauf ab, sowohl die auftretenden Effekte als auch die daraus resultierenden dynamischen Wechselwirkungen zu quantifizieren. Siehe Abschnitt 2.1 für Details. Weitere Effekte sind in Abbildung 4 aufgeführt.

<sup>5</sup> Empirische Kenngrößen beziehen sich auf versuchsbasierte Kenngrößen, die zur Quantifizierung von Effekten verwendet werden können. In der Regel bezeichnen sie die Proportionalitätskonstante einer beschreibbaren Korrelation des Systems.

## 1.4 Systembeschreibung – BG Pouch System

Das BG Pouch System ist ein Taschensortersystem aus dem Bereich der Hängefördertechnik. Da in dieser Arbeit, die von der Beumer Group Austria GmbH üblichen Begrifflichkeiten für das Taschensortersystem verwendet werden, beschäftigt sich dieser Abschnitt mit einer Einführung in das System. Dazu dient Abbildung 2, welche das Prinzip des Taschensortersystems, bestehend aus mehreren Kreisförderern, zeigt.



**Abbildung 2:** Beschreibung der Systemkomponenten des BG Pouch System [13]

Im Taschensorter werden Stückgüter einzeln in Ladungsmitteln/Taschen (a) transportiert. Die Taschen sind gelenkig mit dem Tragmittel (b), den so genannten Carriern, verbunden. Die Carrier besitzen je ein Paar Laufrollen zur beweglichen Abstützung im Fördererprofil und werden durch die Förderkette angetrieben. Die Förderkette ist eine spezielle Rollenkette (b) mit verlängerten Kettenbolzen, die eine formschlüssige Kraftübertragung zu den Carriern herstellt. Durch eine Antriebsstation (c) je Kreisförderer wird das Antriebsdrehmoment über ein Antriebskettenrad auf die Förderkette übertragen. Gestützt wird die Förderkette durch Kunststoffgleitschienen im Führungsprofil (d) (e), welche Auflageflächen für die Kettenlaschen bieten und so die Kette im System führen. Mit Aus- (f) und Einfahrtsweichen (g) werden die Carrier an definierten Stellen entlang des Layouts ein- und ausgeschleust.

## 2 Methodische Untersuchung des Taschenfördersystems

Dieser Abschnitt widmet sich der methodischen Untersuchung des Taschenfördersystems. Dabei wird das Vorgehen aus Abschnitt 1.3 angewandt. Der folgende Abschnitt gliedert sich dabei in die Systemanalyse, numerische Simulation und Messstudie.

### 2.1 Systemanalyse

Die Systemanalyse des Taschenförderers zielt darauf ab, sämtliche Einflussfaktoren zu identifizieren, die den Gesamtwiderstand der Anlage beeinflussen können. Während Widerstände, die sich durch quasistatische Betrachtungen hinreichend genau erfassen lassen, bereits in die Berechnungsvorschrift integriert sind, liegt der Fokus hier auf der Erfassung und Quantifizierung von Effekten und den daraus entstehenden dynamischen Wechselwirkungen. Dazu wird das Taschenförderersystem in irreduzible Teilsysteme zerlegt (siehe Abbildung 3), um die Ursache einer dynamischen Wechselwirkung einem einzelnen Effekt zuordnen zu können.

Teilsystem a)	Teilsystem b)	Teilsystem c)	Teilsystem d)
Carrier und Ladungsträger	Antriebsstation	Weichen	Führungsprofil
			

**Abbildung 3:** Systematische Aufteilung der Bestandteile des Taschensorters

Im Teilsystem a) wird das Verhalten des Carriers durch die Wechselwirkung zwischen der formschlüssigen Krafteinleitung (beidseitig konvex gestaltete, reibungsbehaftete Kontaktpaarung) an der Oberseite, und der trägheitsbedingten Reaktion der Tasche an der Unterseite, dominiert. Durch – unter anderem durch den Stick-Slip-Effekt angeregte – rotatorische Schwingung um die Achse der Laufräder wird jedoch eine Schrägstellung entlang der vertikalen Carrierachse angeregt, welche ihrerseits zu einer alternierenden Änderung der Widerstandskraft führt, da die Schwingung entlang des Fahrprofils gebremst wird.

Teilsystem b) widmet sich den Einflüssen dynamischer Wechselwirkungen auf die Vorspanneinheit und bietet auch die Möglichkeit, Schwingungsphänomene durch den Polygoneffekt, zu untersuchen. Hierzu eignet sich die Kombination aus nicht geführten Kettenelementen und die Anordnung mehrerer Kettenräder in einem lokalen begrenzten Bereich um die Antriebsstation.

Untersuchungen im Teilsystem c) beinhalten die Weichen, welche für das Ein- und Ausschleusen der Ladungsträger verantwortlich sind. Diese werden passiv, per Zugmitteltrieb, über die Förderkette angetrieben. Der Antrieb bewirkt dabei eine alternierende lokale Krafterhöhung in der Förderkette.

Aufgrund der dreidimensionalen Raumführung der Förderkette durch die Führungsprofile sind Abstützkräfte zwischen Förderkette und Führungsprofil durch rein statische Überlegungen nicht immer nachvollziehbar. Daher wird das Teilsystem d) in die Untersuchung aufgenommen. Dabei werden gerade Führungsprofile sowie horizontale und vertikale Kurvenelemente berücksichtigt.

Abbildung 4 zeigt einen Auszug möglicher Effekte, durch die dynamische Wechselwirkungen entstehen können. Um jene Effekte in die Berechnungsvorschrift aufzunehmen, die einen signifikanten Einfluss auf den Gesamtwiderstand haben, wird eine Quantifizierung dieser durchgeführt. Als Hilfsmittel hierzu dienen analytische, empirische Kenngrößen und numerische Lösungsmöglichkeiten. Abbildung 4 zeigt in der ersten Spalte einen Auszug möglicher Effekte und in den weiteren Spalten die Beurteilung einer möglichen Quantifizierung der aus den Effekten entstehenden dynamischen Wechselwirkungen.

Effekt	Analytisch	Empirisch	Numerisch
Fliehkräfte	X	X	✓
Erhöhte Reibung durch Schwingungen	✓	X	✓
Zwangskräfte durch Toleranzabweichungen	✓	X	✓
Zwangskräfte durch suboptimale Laufeigenschaften	X	✓	✓
Magnetisierungseffekte	X	X	✓
Widerstandskräfte durch Reibung	✓	X	✓
Luftwiderstand	X	X	✓

**Abbildung 4:** Effekte und Möglichkeiten zur Quantifizierung der dynamischen Wechselwirkungen am Taschensorter (Auszug)<sup>6</sup>

Es ist anzumerken, dass analytische Lösungsmöglichkeiten für Effekte wie Fliehkraft, Magnetisierung und Luftwiderstand zwar existieren, jedoch können diese aufgrund der komplexen Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Systemkomponenten nicht zielführend angewandt werden und sind daher für diesen Anwendungsfall ausgeschlossen. Da diese Berechnungen auf quasistatischen Betrachtungen beruhen, sind sie auch nur bedingt in der Lage, dynamische Vorgänge wie Notbremsungen, Bremsvorgänge oder Anfahrmanöver abzubilden.

Für den speziellen Anwendungsfall des Taschensorters existieren keine empirischen Beschreibungsmodelle, die die gesamte Systemkomplexität berücksichtigen. Als Lösung für diese Herausforderung hat sich die numerische Simulation bewährt, da diese alle relevanten Effekte abbilden kann. Darüber hinaus ermöglicht die numerische Simulation auch die Simulation von Fahrmanövern wie Anfahren, Bremsen oder Notbremsungen. Die Auswahl und Anwendung der numerischen Simulation werden im nächsten Abschnitt behandelt.

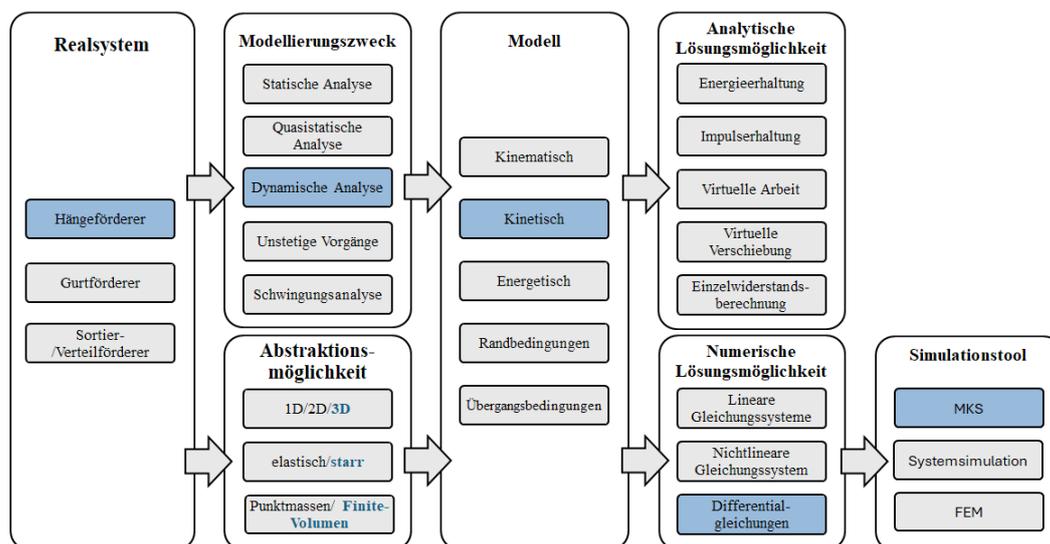
<sup>6</sup> Die Liste in Abbildung 4 präsentiert lediglich die übergeordneten Kategorien der Effekte. Im Zuge der Untersuchung wurden zudem spezifische Unterteilungen vorgenommen. Diese Tabelle bietet lediglich eine Übersicht über die betrachteten Effekte. Detaillierte Darstellungen werden aus Rücksicht gegenüber dem Projektpartner nicht veröffentlicht.

## 2.2 Simulationsstudie – numerische Simulation<sup>7</sup>

Die Auswahl für die geeignete Lösungsmöglichkeit und dem entsprechenden Simulationstool, für diese Modellierung, basiert auf der Morphologie zur Systemmodellierung gemäß [14]. Wie in Abbildung 5 ersichtlich, erweist sich die numerische Simulation durch Mehrkörpersimulation (MKS) als geeignetes Hilfsmittel. Grundlagen für diese Entscheidung bilden der Modellierungszweck, Abstraktionsgrad und die geforderte Modellinformation. Dabei ist zu beachten, dass jede Modellierungsentscheidung das reale Systemverhalten entsprechend vereinfacht. Diese Annahmen führen immer nur zu einer Näherung an das reale Systemverhalten. Dabei ist die Qualität der Ergebnisse maßgeblich von der getroffenen Vereinfachung der Modellierung abhängig. Neben der erforderlichen Expertise im Prozess der Modellierung, ist auch eine umfangreiche Fachkenntnis notwendig, um die Simulationsergebnisse zu bewerten, zu interpretieren und durch Versuche am realen System zu validieren.

Zusätzlich zu den zuvor genannten Herausforderungen ist anzumerken, dass es für die breite Palette technischer Anwendungen von Simulationen, insbesondere im Bereich der Sortier- und Verteilsysteme, nur begrenzt oder gar keine einschlägige Literatur gibt. [3]

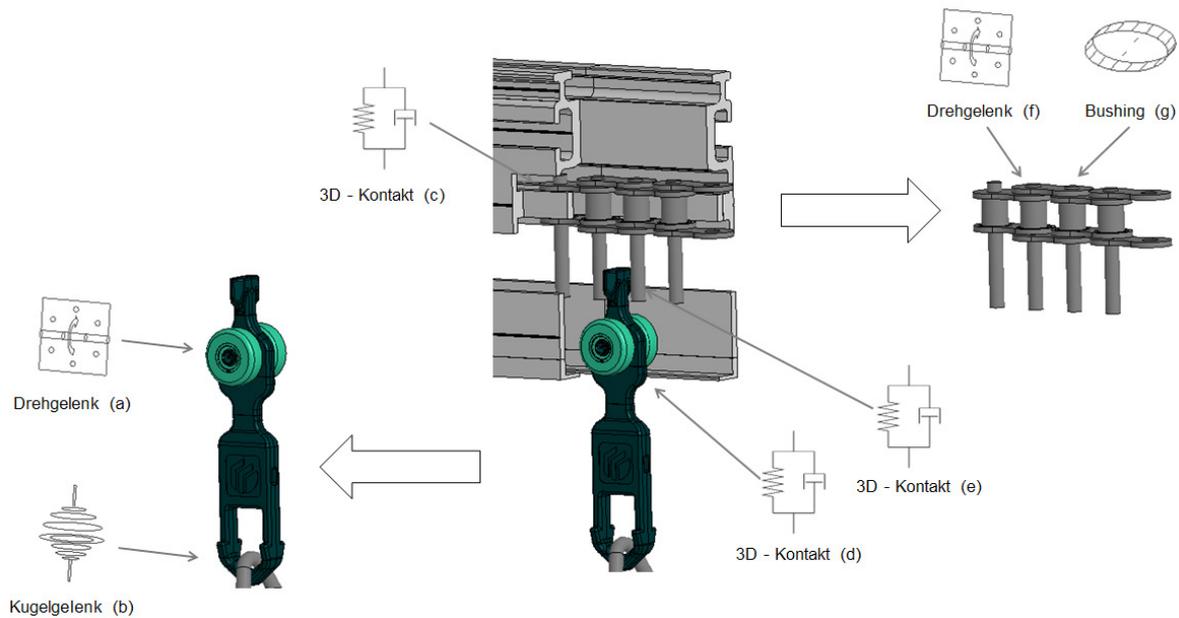
Zur Umsetzung der Mehrkörpersimulation wird die Software Hexagon Adams verwendet. Die Modellierung gilt sowohl für quasistatische als auch für dynamische Analysen. Der Abstraktionsgrad der Geometrie wird dabei gering gehalten. Importierte CAD-Dateien der Versuchsanlagen dienen als Grundlage für die Modelle. Die Modellierung erfolgte anhand von Starrkörpern, wobei das elastische Verhalten der Bauteile durch Elastizitäten in Kontaktstellen und Kopplungselementen entsprechend berücksichtigt wird.



**Abbildung 5:** Morphologie zur Systemmodellierung von Stetigförderern mit geschlossenen diskreten Zugmitteln

<sup>7</sup> Details zu den verwendeten Simulationsmodellen werden aus Rücksicht auf Beumer Group Austria GmbH nicht gezeigt.

Für die Simulationsstudie werden zwei Versuchsanlagen aus den Versuchshallen der Beumer Group Austria GmbH in der Simulationsumgebung nachgebildet. Ein Einblick in die dazugehörige Modellierung wird in Abbildung 6 gegeben. Die Modellierung des Carriers erfolgt dabei durch die Verbindung der Räder zum Grundkörper des Carriers über reibungsbehaftete Drehgelenke (a). Die Kopplung zwischen Carrier und Tasche ist mittels eines reibungsbehafteten Kugelgelenks (b) abstrahiert. Das Modellverhalten in der Interaktion von Führungsprofil & Kette (c), Rad & Schiene (d) und Kette & Carrier (e), ist durch reibungsbehaftete 3D-Kontakte definiert. Ein 3D-Kontakt ermöglicht die Erfassung und Beschreibung der kinetischen Wechselwirkung zwischen zwei beliebigen Körpern auf Basis ihrer Geometrie. Die Kontaktdetektion erfolgt durch eine geometrische Kollisionsüberprüfung, wobei der Abstand zwischen den einzelnen Flächen der entsprechenden Geometrien bestimmt wird. Sobald dieser Abstand einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet, wird eine Kontaktkraft aktiviert und berechnet. Dieses Vorgehen beruht auf den Prinzipien der klassischen Newton'schen Mechanik und wird durch eine IMPACT-Funktion formuliert. Diese ist ein Spezifikum von Hexagon Adams, welche im Wesentlichen Gleichungen zur Beschreibung der Stoßvorgänge modelliert. Ein viskoelastisches, nichtlineares Feder-Dämpfer-Modell dient dazu, diese Interaktion zu beschreiben. [15] Für die Modellierung der Kette werden abwechselnd reibungsbehaftete Drehgelenke (f) und Bushings<sup>8</sup> (g) verwendet. Dieser Ansatz ermöglicht es, die Bewegung in die dritte Raumrichtung der Kette, welche durch ihre Toleranzen zugelassen ist, abzubilden.



**Abbildung 6:** Modellierungsansatz für die Beschreibung des Taschenförderers

Der Schlüssel zur physikalisch-simulativen Modellierung des Taschenförderers liegt in der Fähigkeit, Simulationsmodelle mit einer Vielzahl an differential-algebraischen Gleichungen (DAEs) zu beherrschen. Diese ergeben sich aus der hohen Anzahl an Körpern, Kontaktstellen und Kopplungselementen. Abbildung 7 zeigt dabei die Anzahl, die für Simulationen mit dem erforderlichen Detaillierungs-

<sup>8</sup> Ein Bushing ist ein Kopplungselement, welches es ermöglicht Nachgiebigkeit und Dämpfung in allen sechs räumlichen Freiheitsgraden in einer Verbindung zu modellieren.

grad benötigt werden. Ein weiterer Bestandteil der Modellierung besteht darin, die geeignete Parametrisierung durchzuführen. Zudem sind Hilfskonstruktionen in der Modellierung, wie lokale Abschaltungen und die Unterdrückung nicht relevanter Phänomene, entscheidend für den Erfolg der Simulation. Dieser widerspiegelt sich in der Lösbarkeit und Stabilität der Simulation, der erforderlichen Rechenzeit und der benötigten Hardware um solche Modelle zu lösen. Das Institut für Technische Logistik betreibt derzeit Forschung im Hinblick auf mögliche Hilfskonstruktionen und plant, zu diesem Thema eine separate Publikationsserie zu veröffentlichen.

	Layout 1	Layout 2
Förderkettenlänge	17,75 m	25,09 m
Anzahl der Körper	1 118	1 580
Kinetische Kopplungselemente	1 208	1 670
Kinematische Kopplungselemente	7 946	11 180

### Abbildung 7: Überblick über den Umfang der Simulationsmodelle

Die Modelle der beiden Versuchsanlagen bilden die Grundlage für die Simulationsstudien. Die Parametrisierung der Simulationsmodelle erfolgt mithilfe von Realversuchen (siehe Abschnitt 2.3). Die Simulationsstudie gliedert sich in zwei Hauptteile. Der erste Teil konzentriert sich auf die Untersuchung der Effekte und die entstehenden dynamischen Wechselwirkungen auf einzelne Baugruppen (siehe Abbildung 3). Der zweite Teil beschäftigt sich mit den Auswirkungen dieser dynamischen Wechselwirkungen auf das gesamte Anlagenverhalten.

#### Simulationsstudie 1 - Dynamische Wechselwirkungen einzelner Baugruppen:

Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen werden genutzt, um Effekte zu quantifizieren, welche die Interaktion der jeweiligen Komponenten hervorrufen. Dadurch wird auf die Auswirkungen der dynamischen Wechselwirkungen, durch die Untersuchung von Reaktionskräften in der Simulation, zurück geschlossen. Die Erkenntnisse der Simulationsstudie werden verwendet, um analytische Berechnungsmöglichkeiten der einzelnen Effekte und somit der Einflüsse der dynamischen Wechselwirkungen abzuleiten. Dadurch können folgende Wechselwirkungen berücksichtigt werden:

- Dynamisches Verhalten der Tragmittel (Pendeln und Verdrehen der Ladungsträger)
- Schwingungsinduzierte Erhöhung des Reibwiderstands
- Auswirkung lokaler Kräfteinträge durch Weichen und Vorspannvorrichtung
- Reaktionskräfte aus der Abstützung der Kette am Führungsprofil in horizontalen und vertikalen Kurvenelementen

#### Simulationsstudie 2 - Dynamische Wechselwirkungen der gesamten Anlage:

Simulationsstudie 2 befasst sich mit der Auswirkung der dynamischen Wechselwirkungen auf die gesamte Anlage. Um beispielsweise die Überlagerung verschiedener Effekte und deren Auswirkungen auf die Antriebseinheit zu analysieren. Verschiedene Fahrmanöver wie Anfahren, Bremsen und Not-Stopp mit verschiedenen Beladungszuständen werden ebenfalls simuliert werden. Folgende Wechselwirkungen können durch diese Untersuchungen berücksichtigt werden:

- Auswirkungen von Überlagerung mehrerer dynamischer Effekte (Verstärkung/Abschwächung)
- Einflüsse verschiedener Fahrmanöver

## 2.3 Durchführung einer Messstudie

Die Messstudie an den Versuchsanlagen gliedert sich in zwei Teile. Zunächst dienen die Messungen zur Parametrisierung der Simulationsmodelle, während im zweiten Teil Messungen verschiedener Beladungszyklen zur Validierung der weiterentwickelten Berechnungsvorschrift verwendet werden. Die entsprechenden Versuchsanlagen werden mit Messtechnik adaptiert, um die erforderliche Antriebsleistung und den Motorstrom zu messen. Anhand dieser Parameter wird auf die resultierende Kettenkraft zurückgerechnet.

Für die Auswahl geeigneter Versuchsanlagen dient eine spezifisch erstellte Anforderungsliste als Hilfestellung:

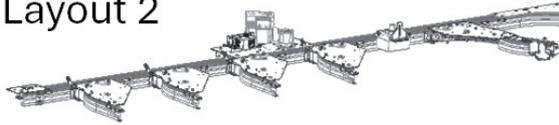
- Alle im Taschensorter verbauten Systemkomponenten müssen unabhängig voneinander in der Anlage getestet werden können, was eine mechanische Entkopplung von Weichen und Antrieben erfordert.
- Die Versuchsanlage muss alle Layoutvarianten<sup>9</sup> des Taschensorters enthalten, einschließlich gerader Förderstrecken in horizontaler und vertikaler Ausführung sowie Kurven.
- Die Anlagensteuerung muss Fahrmanöver wie Anfahren, Bremsen und Not-Stopp ermöglichen.
- Die Versuchsanlage muss mit einer Drehmomentenmessung und einer Motorstrommessung ausgestattet sein.
- Es müssen dieselben Standardkomponenten in allen Versuchsanlagen verbaut sein, um zusätzliche Einflüsse im System zu vermeiden.
- Betrieb sowohl mit beladenem als auch mit leerem Förderer muss möglich sein, einschließlich definierter Beladungen für Ein- und Ausschleusungen.

Gemäß dieser Anforderungsliste haben sich zwei Versuchsanlagen (siehe Abbildung 8) als geeignet erwiesen. Layout 1 wird verwendet, um die Grundfunktion des horizontalen Förderns zu untersuchen, wobei verschiedene Weichenstellungen und Beladungszustände berücksichtigt werden. Layout 2 dient der Untersuchung von horizontalen und vertikalen Kurvenfahrten.

---

<sup>9</sup> Als Layoutvarianten sind die Kombinationen aus Profilverläufen gerade Förderstecke, steigende und fallende Förderstecke und vertikale wie auch horizontale Förderstrecken bezeichnet.

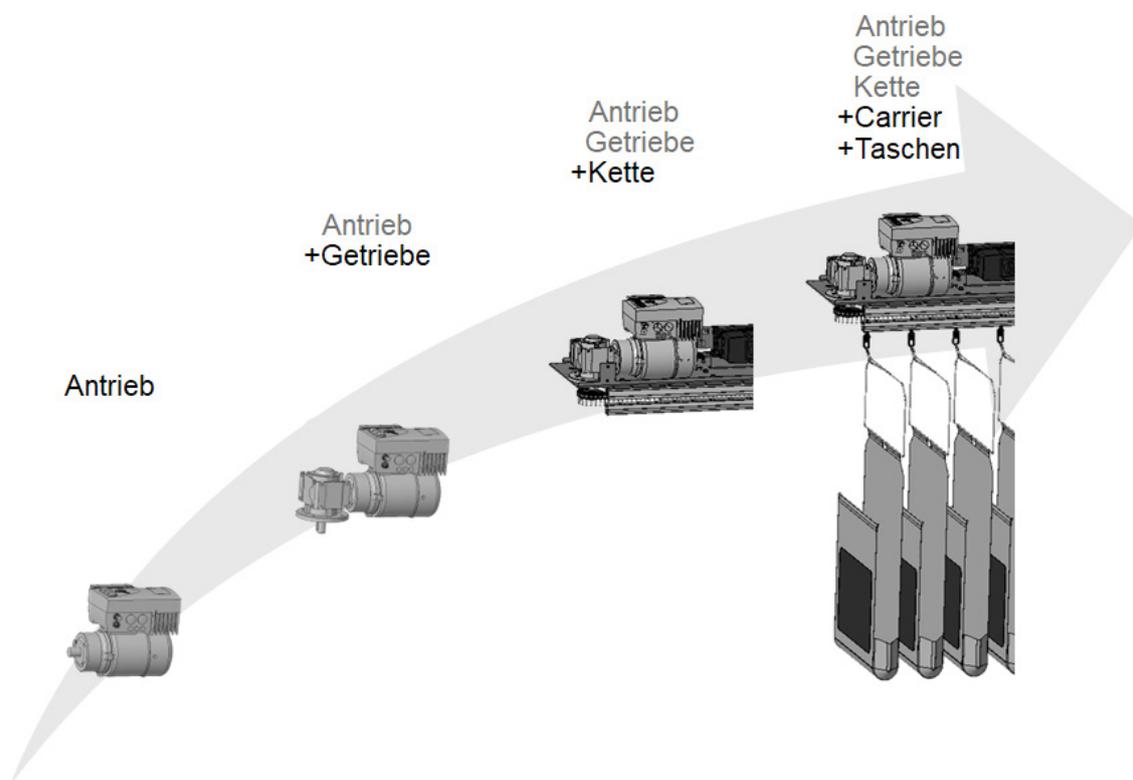
Layout 2



Layout 1

**Abbildung 8:** Verwendete Versuchsanlagen für die Messstudie

Im ersten Teil der Messstudie werden die jeweiligen Layouts nach dem Prinzip der inkrementellen Messung untersucht. Dabei erfolgt gemäß eines festgelegten Messplans eine schrittweise Vermessung vom alleinigen Antrieb bis hin zum gesamten Förderer. Zunächst wird das System auf den Antrieb reduziert, danach wird das Getriebe hinzugefügt und in weiterer Folge die Anlage mit leerer Förderkette (d.h. das System wird ohne Carrier betrieben) messtechnisch erfasst. Anschließend werden verschiedene Einstellungen von Weichenstellungen und Beladungszyklen untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen der Parametrisierung der Simulationsmodelle. Eine schematische Darstellung dieses Vorgehens ist in Abbildung 9 dargestellt.

**Abbildung 9:** Darstellung der Abstraktion der inkrementellen Messung

Um die Messungen beider Anlagen vergleichbar zu gestalten, werden vor Beginn der Messungen beide Antriebe mit den jeweiligen Getrieben vermessen, um einen Abgleich der Standardkomponenten zu erreichen. Der Messplan umfasst eine Rahmenplanung, die die Kalibrierung der Messtechnik, die Einhaltung bestimmter Messdauern und die Aufnahme von Umgebungsparametern wie Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit vorsieht<sup>10</sup>.

Im zweiten Teil der Messstudie erfolgt die Validierung der Berechnungsvorschrift. Dabei werden verschiedene Betriebsszenarien und Beladungen der Anlage gemessen, um die Berechnungsergebnisse mit den empirischen Daten zu vergleichen. Dieser Validierungsprozess ist ein iterativer Prozess, wie in Abbildung 1 dargestellt. Bei signifikanten Abweichungen der Berechnungsvorschrift gegenüber den Messergebnissen, erfolgt eine Anpassung der Approximation der Berechnungsmöglichkeiten oder eine erneute Systemanalyse.

### 3 Ergebnisse und Ausblick

Das vorgestellte Projekt zur Weiterentwicklung der Berechnungsvorschrift für Taschensortersysteme zeigt, dass neben der Präzisierung der mechanischen Auslegung weitere Mehrwerte durch eine systematische und methodische Analyse hinreichend komplexer Systeme generiert, werden können. So können die Lebensdauern solcher Anlagen gesteigert und die Energiebedarfe gesenkt werden, wodurch die Nachhaltigkeitsziele in greifbare Reichweite gelangen. Angesichts des Trends zu immer größeren und komplexeren Anlagen bildet diese Arbeit einen Grundstein für zukünftige Ziele der Beumer Group Austria GmbH.

Die erweiterte Berechnungsvorschrift bietet die Möglichkeit, bereits während der Anlagenplanung das Layout so zu gestalten, dass die zu verbauenden Komponenten optimal platziert werden, um den Gesamtwiderstand der Anlage zu minimieren. Eine optimale Platzierung der Antriebseinheit und die Anordnung von Ein- und Ausfahrweichen im Layout spielen dabei die entscheidende Rolle. Die Berücksichtigung dieser Faktoren führt zu einem geringeren Energieverbrauch der Anlage, was wiederum den Nachhaltigkeitszielen der Beumer Group Austria GmbH entspricht. Darüber hinaus trägt ein reduzierter Gesamtwiderstand der Anlage zur erhöhten Lebensdauer der verbauten Komponenten bei, was zu einer höheren Anlagenverfügbarkeit führt. Diese positiven Effekte lassen sich allein durch die Anwendung der Informationen aus der Berechnungsvorschrift erzielen. Erkenntnisse aus den dynamischen Wechselwirkungen können zudem für zukünftige Entwicklungen herangezogen werden, um die Einflüsse während der Konzeptionierung möglichst gering zu halten und die Effizienz der Anlagen weiter zu steigern.

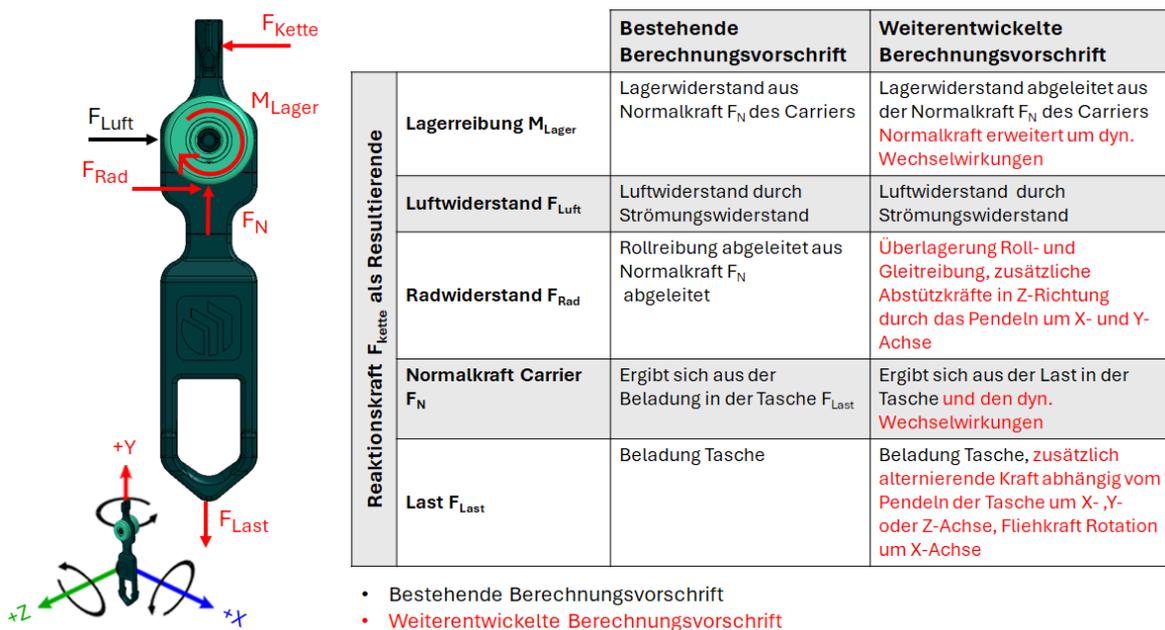
Als Beispiel für das Ergebnis der Weiterentwicklung der Berechnungsvorschrift wird der Freischnitt des Carriers herangezogen. In Abbildung 10 sind in der linken Spalte der Tabelle alle Reaktionskräfte basierend auf quasistatischen Überlegungen für den Idealbetrieb dargestellt. Dabei wird der Carrier von der Rollenkette angetrieben und erfährt als Widerstand die Rollreibung der Räder, Lagerreibung und den Luftwiderstand. Auf der rechten Seite von Abbildung 10 wird die Erweiterung um dynamische Wechselwirkungen dargestellt. Durch die Unterstützung der Mehrkörpersimulation ist es nun möglich,

<sup>10</sup> Weitere Details werden aus Rücksicht des Projektpartners nicht genannt.

Abweichungen vom Idealbetrieb und somit die gesamte Dynamik des Systems abzubilden. Dies ergibt eine Überlagerung von Roll- und Gleitreibung der Carrierräder, sobald sich der Carrier um die Y-Achse verdreht. Auch das Pendeln der Carrier um die Y- und Z-Achse und die entsprechenden Reaktionskräfte können abgebildet werden. Abhängig vom Layout treten zudem Effekte der Zentrifugalkraft auf, die sich in einer Pendelbewegung um die X-Achse manifestieren.

Die für den Carrier geltende Dynamik erfährt auch die Beladung der Tasche. Da die aus der Beladung resultierende Kraft der Ausgangspunkt für die Widerstandsberechnung der Lagerreibung, des Radwiderstandes und somit der Normalkraft des Carriers sind, wirken sich diese wiederum auf die weiteren Berechnungen aus.

Als Ergebnis der Berechnung der resultierenden Kraft auf die Kette ergibt sich nun keine rein statische Kraftreaktion, sondern eine alternierende Kraft, die durch die beschriebenen Wechselwirkungen entsteht. Dieses Beispiel verdeutlicht die Möglichkeiten, die die neue Berechnungsvorschrift bietet. Anhand des Beispiels des Carriers wird gezeigt, wie tiefgreifend das erlangte Systemverständnis ist. Entsprechend der neu erlangten Detailtiefe werden auch die restlichen Systemkomponenten beschrieben. Aus Rücksichtnahme gegenüber dem Projektpartner werden Ableitungen der Analytik und weitere Details jedoch nicht veröffentlicht.



**Abbildung 10:** Vergleich der Berechnungsmöglichkeiten der bestehenden und weiterentwickelten Berechnungsvorschrift

Obwohl die numerische Simulation im Maschinen- und Anlagenbau weit verbreitet ist, stellt ihr Einsatz in diesem Bereich der Analyse hochkomplexer Systeme der Technischen Logistik ein Novum dar. Viele Anlagen und Auslegungen in der Branche stützen sich nach wie vor auf analytische Näherungsberechnungen, die in Kombination mit empirischen Daten zumeist zu ausreichend guten Ergebnis führen. [3]

Diese Forschungsarbeit hat das Potenzial der numerischen Simulation in diesem Bereich aufgezeigt und bietet somit Impulse für weitere Anwendungen. Die Nutzung numerischer Simulationen kann dazu beitragen, die Anzahl realer Versuche zu reduzieren, was nicht nur nachhaltiger, sondern auch kostengünstiger ist. Es ist jedoch zu beachten, dass trotz aller Verbesserungen die Berechnungsvorschrift weiterhin gewissen Abweichungen unterliegt, da die Simulationen nur so genau parametrierbar werden können, wie es die Genauigkeit der Messdaten zulässt. Aufgrund der Größe und Komplexität solcher Anlagen sowie der Vielzahl von Einflussfaktoren auf die Messungen können Genauigkeiten von etwa 15% erreicht werden. Eine höhere Genauigkeit der Messtechnik könnte das Ergebnis möglicherweise noch verbessern, jedoch ist die derzeitige Genauigkeit angesichts der hohen Komplexität und der vielen variablen Einflüsse auf die Messungen sehr zufriedenstellend.

#### Author Contributions:

Conceptualization: P.K., A.O-P., C.L., A.S., J.N.; Methodology: P.K., A.O-P., C.L.; Software: P.K., A.S.; Validation: P.K.; A.S.; Formal analysis: P.K.; Investigation: P.K., A.O-P., A.S.; Resources: C.L., J.N.; Writing – Original; Draft: P.K., A.O-P.; Writing – Review & Editing: P.K., A.O-P., C.L., A.S., J.N.; Visualization: P.K., A.S.; Supervision: A.O-P., C.L., J.N.; Project administration: A.O-P., C.L., J.N.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

## 4 References

- [1] K. Esser and J. Kurte, "KEP-Studie 2023 – Analyse des Marktes in Deutschland: Eine Untersuchung im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)," 2023.
- [2] BEUMER Group, *FÜR EINE EFFIZIENTE RETOURENABWICKLUNG*. [Online]. Available: [https://www.beumergroup.com/de/p/fuer-eine-effiziente-retourenabwicklung/#:~:text=F%C3%BCr%20eine%20effiziente%20Retourenabwicklung,-E%2DCommercer&text=Mit%20ihrem%20Taschensortersystem%20erf%C3%BCillt%20die,Direktversand%20an%20Verbraucher%20und%20Filialen](https://www.beumergroup.com/de/p/fuer-eine-effiziente-retourenabwicklung/#:~:text=F%C3%BCr%20eine%20effiziente%20Retourenabwicklung,-E%2DCommercer&text=Mit%20ihrem%20Taschensortersystem%20erf%C3%BCillt%20die,Direktversand%20an%20Verbraucher%20und%20Filialen.). (accessed: Apr. 18 2024).
- [3] C. Landschützer, *Methoden und Beispiele für das Engineering in der Technischen Logistik*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, 2018.
- [4] D. Jodin and M. ten Hompel, *Sortier- und Verteilsysteme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [5] R. Griemert and P. Römisch, *Fördertechnik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [6] M. Heinrich, *Transport und Lagerlogistik: Systematik, Planung, Einsatz und Wirtschaftlichkeit*, 10th ed. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- [7] F. Will, *Auslegung und Gestaltung von Antriebssystemen für Stückgut-Sortieranlagen*. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 1997. Düsseldorf: VDI-Verl., 1998.
- [8] H.-G. Rachner, *Stahlgelenkketten und Kettentriebe*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1962.
- [9] C. Landschützer, "Methods for efficient use of simulation in logistics engineering," *Conference Proceedings of the 17th ITI Symposium*, no. 17, pp. 195–203, 2014.

- [10] C. Haberer, A. Wolfschluckner, and C. Landschützer, "Auslegung und Simulation einer Kettenfahrwerkes," *Konstruktion*, pp. 76–82, 2016.
- [11] T. Stöhr and C. Landschützer, "Simulation Models for Material Handling Equipment Design - Evaluation Criteria, Methods and Application," *Proceedings in Manufacturing Systems*, no. 12, pp. 65–71, 2017.
- [12] A. Ortner-Pichler, M. Schedler, and C. Landschützer, "Beitrag zur Bestimmung der Zugkräfte an Umschlingungsgetrieben mit diskreten Zugmitteln," *Proceedings Schweizer Maschinenelemente Kolloquium 2018*, pp. 129–144, 2018.
- [13] A. Siegl, "Analyse der Kettenausfallszenarien von Kreisförderern mit Hilfe mechanischer Systemsimulation," Institut für Technische Logistik, TU Graz, 2023 (gesperrt).
- [14] P. Kröpfl, "Systemmodellierung zur Komplexitätsbeherrschung von Stetigförderern mit geschlossenen diskreten Zugmitteln: Wie Wissenschaft und Wirtschaft Impulse für Nachhaltigkeit in all ihren Dimensionen geben können : Logistikwerkstatt Graz 2023, 09.-10.05.2023," (in ger), 2023, doi: 10.3217/978-3-85125-951-3.
- [15] Hexagon AB, *Impact Function*. [Online]. Available: file:///C:/PROGRA~1/MSO~1/SOF/Adams/2023\_1/help/master.htm#page/adams\_solver/cfunc\_impact.html (accessed: Apr. 4 2024).



# Modellierung von forminstabilen Kleinsendungen mittels Multi Flexible Body Dynamics

Gabriel LEITNER<sup>1</sup>, Dominik STADLTHANNER<sup>1</sup> und Alexander ORTNER-PICHLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Graz – Institut für Technische Logistik

DOI: 10.3217/978-3-85125-995-7-02

## Abstract

In der Kurier-, Express- und Paketbranche (KEP-Branche) wird eine Veränderung des Sendungsspektrums hin zu forminstabilen Sendungen beobachtet. Diese Entwicklung stellt die Betreiber von Sortier- und Förderanlagen vor neue Herausforderungen, da das Bewegungsverhalten dieser Art von Sendungen noch nicht ausreichend verstanden wird. Bisher erforschte Simulationsansätze sind in ihrer Fähigkeit begrenzt, alle relevanten Wirkprinzipien abzubilden oder aufgrund langer Rechenzeiten derzeit nicht wirtschaftlich einsetzbar.

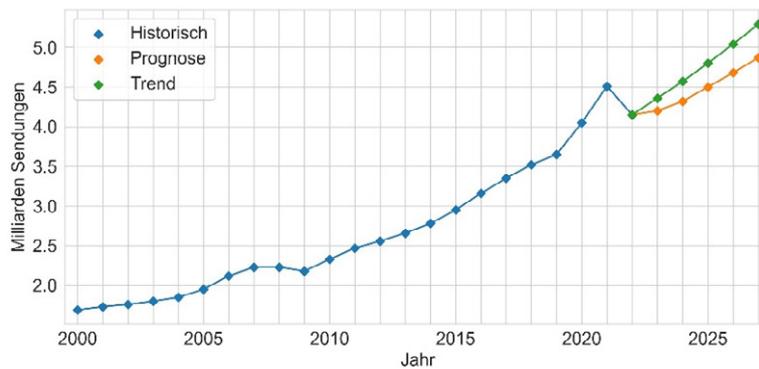
Um diese Lücke zu schließen, präsentiert die vorliegende Arbeit einen strukturierten Ansatz zur Entwicklung eines Simulationsmodells, das das Bewegungsverhalten von forminstabilen Kleinsendungen umfassend abbildet. Die entwickelte Methodik umfasst vier Hauptschritte, wobei diese Arbeit die ersten zwei Schritte behandelt. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde Schritt 1 durchgeführt, um die spezifischen Eigenschaften zu erheben. Schritt 2 behandelt die Modellierungsmöglichkeiten mittels Multi Flexible Body Dynamics (MFBD). Dieser beinhaltet die Bottom-Up-Modellierung von Verpackung und Inhalt zu einem Sendungsmodell. Das resultierende Modell zeigt eine Sendung mit starrem Inhalt und einer Verpackung aus Schalenelementen. Abschließend erfolgt eine Detailbetrachtung einzelner Sendungen hinsichtlich der Darstellbarkeit von Forminstabilitäten durch Stöße, wobei auch ein flexibler, durch Volumenelemente modellierter Inhalt, zum Einsatz kommt.

Als Ergebnis entsteht ein Simulationsmodell, das die Fähigkeit besitzt, forminstabile Sendungen in einer bemerkenswerter Detailtiefe abzubilden, ohne eine unökonomische Rechenleistung zu erfordern. Diese Arbeit trägt maßgeblich zur Weiterentwicklung der Simulation des Bewegungsverhaltens von forminstabilen Kleinsendungen im Sortierprozess bei und unterstützt somit die Entwicklung innovativer Sortier- und Fördertechnologien.

*Keywords: KEP, Forminstabile Sendung, Polybag, Multi Flexible Body Dynamics (MFBD)*

# 1 Einleitung

Die Kurier-, Express- und Paketdienstbranche (KEP) spielt angesichts des boomenden Onlinehandels eine entscheidende Rolle in der Gesellschaft. Diese Branche ist von äußerst hohen Wachstumsraten geprägt, welche nicht zuletzt durch die COVID-19-Pandemie weiter gestiegen sind. Zwischen 2000 und 2021 hat sich das KEP-Volumen in Deutschland um etwa 167 % erhöht (vgl. Abbildung 1).<sup>1</sup>



**Abbildung 1:** Entwicklung der historischen und prognostizierten Sendungszahlen in Deutschland [2], [3]

Der leichte Rückgang des Sendungsvolumens von 2021 auf 2022 lässt sich hauptsächlich auf den Ukraine-Konflikt und die hohen Inflationsraten in ganz Europa zurückführen und wird von Experten als temporäres Phänomen eingeschätzt [2], [3].

Neben diesen hohen Wachstumsraten war die KEP-Branche im letzten Jahrzehnt vor allem durch eine Veränderung im Sendungsspektrum geprägt, welche in erster Linie auf die steigende Bedeutung asiatischer Länder für den Onlinehandel zurückzuführen ist. So gaben laut einer von der International Post Corporation im Jahr 2023 durchgeführten Umfrage 37 % der weltweiten Teilnehmer China als Herkunftsland für ihren letzten grenzüberschreitenden Online-Einkauf an [4]. Als Gründe für dieses Konsumverhalten werden vor allem niedrigere Transportkosten und ein Mangel an lokaler Verfügbarkeit vieler Güter genannt [5]. Die dadurch bedingte Veränderung im Sendungsspektrum äußert sich durch die zunehmende Verdrängung klassischer quaderförmiger Kartonagen durch Kleinsendungen, häufig in Form von flexiblen Polybags (siehe Abbildung 2). Dieser Wandel ist noch nicht abgeschlossen und ständig finden neue, meist forminstabile Verpackungsformen, wie Kraftpapier, ihren Weg in den KEP-Markt.

<sup>1</sup> Dieser Trend zeigt sich weltweit noch deutlicher: Die Anzahl der Paketsendungen stieg von 64 Milliarden im Jahr 2016 auf 161 Milliarden im Jahr 2022, was einem Zuwachs von 150 % entspricht [1].



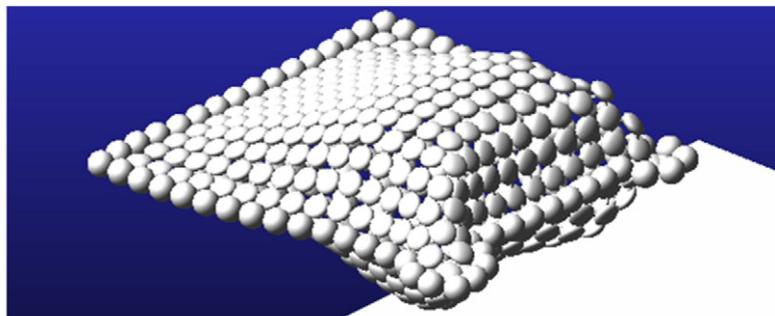
**Abbildung 2:** Die Veränderung des Sendungsspektrums vom klassischen Paket hin zur Kleinsendung [6].

Gründe für den breitflächigen Einsatz meist forminstabiler Kleinsendungen sind niedrige Produktionskosten sowie eine deutlich effizientere Raumnutzung im Vergleich zu herkömmlichen Kartonverpackungen. Jedoch stellen Kleinsendungen Hersteller und Betreiber von Sortieranlagen vor große Herausforderungen. Neben der Forminstabilität erschweren vor allem die hohe Heterogenität der verwendeten Verpackungsmaterialien und die damit verbundenen physikalischen Eigenschaften wie Reibungskoeffizienten sowie die unzähligen geometrischen Erscheinungsformen, die sich überwiegend aus dem Sendungsinhalt ergeben, eine effiziente und beschädigungsfreie Handhabung. Aufgrund dieser Umstände existieren gegenwärtig nur wenige automatisierte Lösungen für die postalische Verarbeitung von Kleinsendungen, welche wiederum Einschränkungen aufweisen. Im Gegensatz zu den traditionellen quaderförmigen Kartons gibt es für Kleinsendungen aktuell keine Vorschriften. Die einzige Definition, die bisher vorliegt, ist die von Schädler et al., welche Kleinsendungen und insbesondere Polybags anhand ihrer physikalischen Eigenschaften definiert [6]<sup>2</sup>. In einer weiteren darauf aufbauenden Publikation, welche sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Papers im Review-Prozess befindet, wurden relevante physikalische Eigenschaften von forminstabilen Kleinsendungen (z. B. Abmessungen, Masse, Verpackungsmaterial, Beschaffenheit des Inhalts) aus dem laufenden Betrieb eines Paketverteilzentrums erhoben und statistisch mittels Clustering in Sendungsklassen eingeteilt. Diese Klassen stellen häufig auftretende Kombinationen der physikalischen Eigenschaften dar und reduzieren somit die Komplexität der mannigfaltigen Erscheinungsformen von Kleinsendungen [7].

Die Entwicklung neuer speziell für die Verarbeitung von forminstabilen Kleinsendungen entwickelter Förder- und Sortiertechnik erfordert den Bau teurer Prototypen. Eine Möglichkeit die Entwicklungskosten zu senken, Entwicklungszyklen zu beschleunigen und die Entwicklungsqualität zu erhöhen ist der Einsatz virtueller Prototypen mittels Simulation. Dafür bedarf es jedoch leistungsfähiger Simulationsmodelle, welche möglichst realitätsnahe Ergebnisse liefern, und geringe Rechenzeiten aufweisen. Während Physiksimulationen bei der Entwicklung von Sortieranlagen in der Industrie bereits erfolgreich eingesetzt werden, sind diese aktuell auf die Simulation von klassischen als Starrkörper modellierte Kartonagen limitiert. Durch die eingangs beschriebenen veränderten Marktanforderungen

<sup>2</sup> Diese Publikation liefert auch einen Überblick über zahlreiche Probleme, die in diversen Handhabungsprozessen von Kleinsendungen auftreten können.

in der KEP-Branche, verlieren diese Modelle jedoch zunehmend an Relevanz. Modelle für die Simulation forminstabiler Kleinsendungen existieren derzeit nur bedingt. Im Rahmen von Vorstudien<sup>3</sup> wurden diverse Modellierungsansätze hinsichtlich Plausibilität untersucht. Unter anderem wurden Lumped-Mass-Ansätze zur Modellierung der Verpackung von biegeschlaffen Kleinsendungen eingesetzt. Die Modellierung erfolgte in einem Fall als Mehrkörpersimulation (MKS) mittels durch Feder-Dämpfer-Elemente verbundene Ellipsoide (vgl. Abbildung 3) [8]. In einer weiteren Vorstudie wurde ein Lumped-Mass-Modell mittels Diskreter Elemente Methode simuliert, wobei Kugelpartikel mittels flexibler Balken-Elemente verbunden wurden. Beide Ansätze lieferten unter gewissen Bedingungen plausible Ergebnisse, jedoch traten aufgrund der Diskretisierung Verzahnungseffekte<sup>4</sup> bei der Simulation mehrerer miteinander in Kontakt stehender Kleinsendungen, bzw. bei der Simulation einzelner Sendungen im Kontakt mit scharfkantigen Elementen der Fördertechnik auf.



**Abbildung 3:** Modellierung einer forminstabilen Kleinsendung als Lumped-Mass-Modell mittels Mehrkörpersimulation. Hierbei sind Ellipsoid-förmige Partikel durch Feder-Dämpfer-Elemente flexibel miteinander verbunden [8].

Ein weiteres Problem dieser Ansätze ist die nicht intuitive Wahl der Feder- und Dämpfungsparameter, welche von der Vernetzungsstruktur der Partikel abhängt. Zuletzt sind auch die Rechenzeiten dieser beiden Ansätze äußerst hoch.

Somit gibt es aktuell keinen Ansatz, der das Bewegungsverhalten forminstabiler Kleinsendungen in diversen postalischen Verarbeitungsprozessen realitätsnah abbildet und gleichzeitig geringe Rechenzeiten aufweist. Um diese Lücke zu schließen, soll ein Multi Flexible Body Dynamics (MFBD) Ansatz angewendet werden. MFBD kombiniert die Mehrkörperdynamik (MKD) und die Finite-Elemente-Methode (FEM), um Bewegung, Spannungen und Verformungen flexibler Körper zu analysieren. Dieser Ansatz stellte sich in einer ersten Vorstudie der Autoren [9] als genauer und zudem performanter als die eingangs beschriebenen Methoden heraus. Für die Modellierung wird die kommerzielle Software RecurDyn<sup>5</sup> verwendet, welche eine inkrementelle Finite-Elemente-Formulierung implementiert, die auf der Co-Rotationsmethode basiert [10]. Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Publikation liegt auf der Überprüfung der Machbarkeit dieses Ansatzes anhand diverser Benchmark-Versuche und der Entwicklung einer methodischen Vorgehensweise zur Modellierung von Kleinsendungen mittels MFBD.

<sup>3</sup> z. B. in Form von Abschlussarbeiten betreut durch Mitarbeiter des Instituts für Technische Logistik an der Technischen Universität Graz.

<sup>4</sup> Dieser Verzahnungseffekt entsteht aufgrund der nicht kontinuierlichen Oberfläche der Körper, was dazu führt, dass sich die Geometrien ineinander verhaken und unerwünschten Widerstand verursachen.

<sup>5</sup> <https://functionbay.com/en>

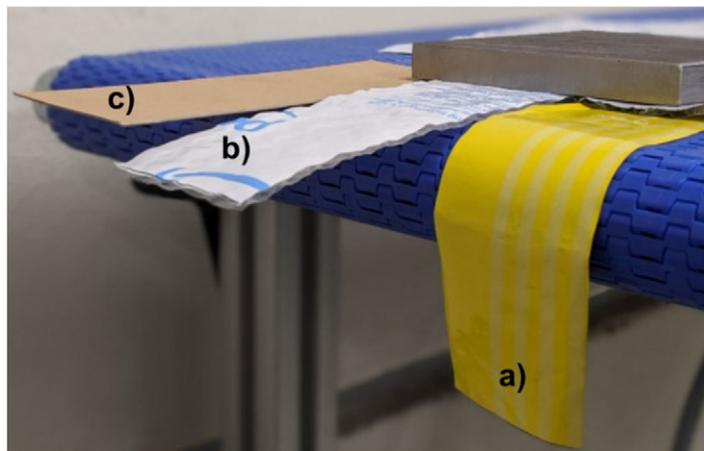


## 2 Definition des Sendungstyps Kleinsendung

Dieses Paper befasst sich mit Kleinsendungen, welche eine maximale Masse von 2 kg nicht überschreiten. Im Jahr 2021 stellte dieser Sendungstyp 83 % der grenzüberschreitenden Online-Einkäufe dar. Über ein Drittel dieser Kleinsendungen wog zwischen 0,2 kg und 0,5 kg [11]. Neben dem Gewicht stellen auch die Verpackungsmaterialien, die Form und der Inhalt der Sendungen entscheidende Faktoren dar, welche das Sendungsverhalten beeinflussen.

### 2.1 Verpackungsmaterial

Als Verpackungsmaterialien für Kleinsendungen werden vorwiegend Kartonagen, Kraftpapier, Kunststofffolien mit Luftpolster und Kunststofffolien ohne selbstverstärkende Struktur verwendet. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit forminstabilen Kleinsendungen, weshalb Kartonagen aufgrund ihrer vergleichsweise starren Eigenschaften nicht näher betrachtet werden<sup>6</sup>. Im Gegensatz dazu sind, wie in Abbildung 4 dargestellt, Kunststofffolien hochflexibel und daher besonders relevant für folgende Untersuchungen [6].



**Abbildung 4:** Flexibles Verhalten: a) Polybeutel ohne selbsttragende Struktur, b) mit selbsttragender Struktur (Luftpolster), c) Karton als Referenz [6]

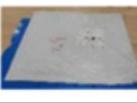
### 2.2 Form und Dimensionen

Im Vergleich zu konventionellen Paketen, deren Außenabmessungen im Regelfall zeitinvariant und unabhängig vom Inhalt sind, ist die Kategorisierung von forminstabilen Kleinsendungen aufgrund ihrer vielfältigen Formen und Größen, die auf den Inhalt angepasst sind, erheblich schwieriger. Zudem kann sich die Form der Kleinsendungen im Laufe des Sortierprozesses wesentlich verändern. Schadler et. al. [6] haben 2022 mögliche Ausprägungen anhand von Live-Mail<sup>7</sup> Kleinsendungen klassifiziert (siehe Tabelle 1).

<sup>6</sup> Obwohl Kartonagen an sich nicht starr sind, kann ihr Verhalten gut durch die Annäherung an Starrkörper beschrieben werden. Dieser Ansatz ist jedoch nicht auf Polybags anwendbar.

<sup>7</sup> Sendungen, welche am Markt zwischen Sendern und Empfängern im Umlauf sind [12].

**Tabelle 1:** Mögliche Formen von Sendungen [6]

Form	Beispiele		
kubisch			
flach			
zylindrisch			
konvex/ konkav			
andere			

Im Rahmen der Untersuchungen von Schadler et. al. [6] wurde nicht nur Live-Mail analysiert, sondern auch Ausschreibungen und Lastenhefte von drei verschiedenen Logistikdienstleistern betrachtet. Die genannten Dokumente enthalten detaillierte Angaben über die Größe und das Gewicht von Sendungen, die von den Sortieranlagen verarbeitet werden sollen. Diese Informationen basieren auf der Analyse von über 60 Millionen Sendungen, die von den Herstellern der Maschinen selbst ausgewertet wurden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Überblick über die Eigenschaften von Kleinsendungen. In Anlehnung an [6]

Eigenschaft	Charakteristik					
	Minimum		Maximum		Durchschnitt	
Länge [mm]	60		420		240	
Breite [mm]	60		420		180	
Höhe [mm]	5		200		40	
Masse [g]	20		2000		300	
Verpackungsmaterial	Kunststoff Folie, dünn, matt	Kunststoff Folie, dick, matt	Kunststoff Folie, glatt, glänzend	Papier, dünn	Papier, dick	Kartonage
Form	quaderförmig	flach	zylindrisch	konvex, konkav		formstabil

### 3 Methodik

In diesem Kapitel wird eine Methodik vorgestellt, die eine systematische Untersuchung von Sendungen ermöglicht, um Erkenntnisse über ihr Bewegungsverhalten zu erlangen. Die beschriebene Methodik zur Modellierung von forminstabilen Kleinsendungen umfasst die folgenden vier Schritte (siehe hierzu auch Abbildung 5):

#### 1. Erhebung der spezifischen Eigenschaften:

Vor der eigentlichen Modellierung werden die spezifischen Eigenschaften der forminstabilen Kleinsendungen erhoben. Dieser Schritt wurde bereits in einer früheren Forschungsarbeit von Schädler et. al. [6] abgehandelt. Hierbei wurden die relevanten Parameter wie Größe, Form, Gewicht, Materialzusammensetzung identifiziert und dokumentiert. Diese Informationen dienen als Ausgangspunkt für die Modellierung und ist in Abschnitt 2 auf das Wesentlichste zusammengefasst.

#### 2. Beschreibung der Modellierungsmöglichkeiten:

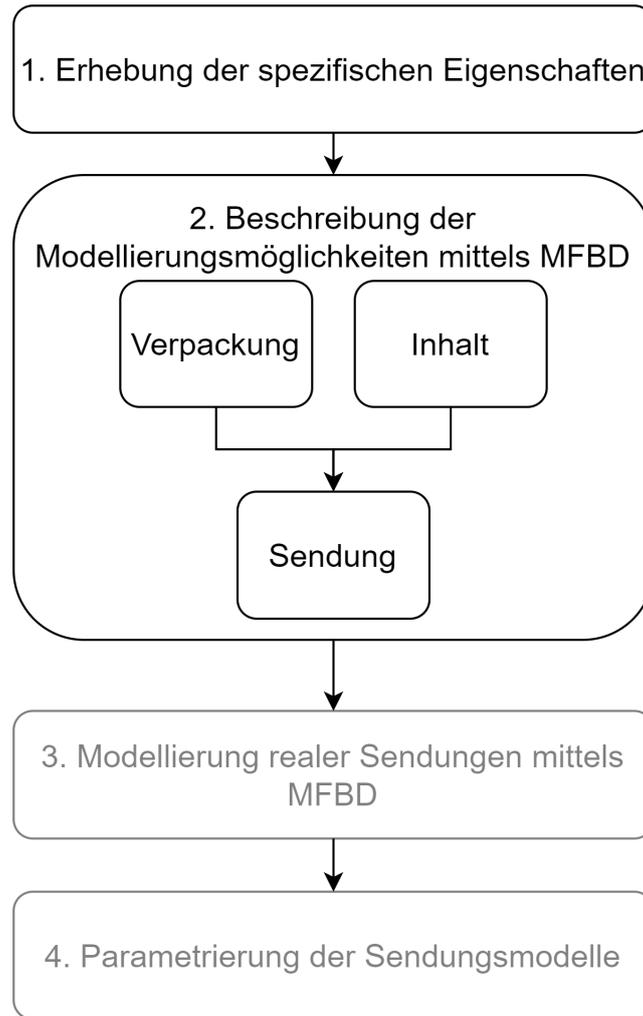
In diesem Schritt werden die verschiedenen Modellierungsmöglichkeiten für forminstabile Kleinsendungen abstrakt beschrieben. Dabei wird eine Bottom-Up Modellierung verfolgt, um eine schrittweise Modellierung von Verpackung und Inhalt zur Sendung zu vollziehen. Es wird analysiert, wie der MFBD-Ansatz angewendet werden kann, um die Bewegung und Verformungen flexibler Körper zu simulieren. Potenzielle Szenarien werden betrachtet, um das Verhalten der Kleinsendungen unter verschiedenen Bedingungen zu modellieren.

#### 3. Modellierung realer Sendungen:

Dieser Schritt beinhaltet die Modellierung realer Sendungen mithilfe des MFBD-Ansatzes. Nach Auswahl der realen Sendungen werden die abstrakten Modellierungsmöglichkeiten aus Schritt 2 in diesen konkreten Beispielen umgesetzt. Dabei wird erneut eine Bottom-Up-Modellierung verfolgt, die zu einem realistischen Abbild der realen Sendungen in der Simulationsumgebung führt.

#### 4. Parametrierung der Sendungsmodelle:

Der letzte Schritt umfasst die Parametrierung der in Schritt 3 entwickelten Sendungsmodelle. Diese Modelle werden Untersuchungen unterworfen, um die Einflüsse der Parameter auf das Verhalten der Sendung herauszufinden. In Realversuchen werden Zielwerte bestimmt, anhand derer die Modellparameter angepasst werden, um ein realistisches Bewegungsverhalten der Sendungsmodelle zu erreichen.

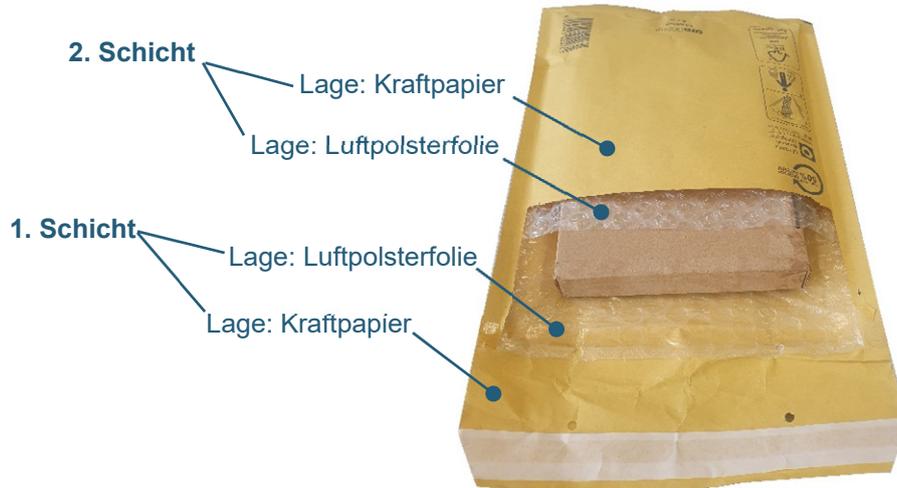


**Abbildung 5:** Methodik

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem zweiten Schritt: der Beschreibung der Modellierungsmöglichkeiten. Hauptaugenmerk liegt auf der Demonstration der Forminstabilität und nicht auf einer detaillierten Betrachtung der eingesetzten Parameter. Die Modellierung von realen Sendungen samt deren Parametrierung soll in zukünftigen Forschungsvorhaben behandelt werden.

### 3.1 Modellierung der Verpackung

In der grundlegenden Betrachtung besteht die Verpackung einer Sendung aus mindestens zwei Schichten, die den Inhalt umgeben. Eine Schicht kann wiederum aus mehreren Lagen bestehen, um die Vorteile verschiedener Verpackungsmaterialien zu kombinieren, wobei diese Lagen in der Regel fest miteinander verbunden sind. Ein in der Praxis häufig auftretendes Beispiel für mehrlagige Verpackungen ist die Kombination von Kraftpapier (außen) und Luftpolsterfolie (innen) (siehe Abbildung 6). Die Verbindung der Schichten erfolgt an deren Rändern und bildet damit die grundlegende Struktur der Verpackung.

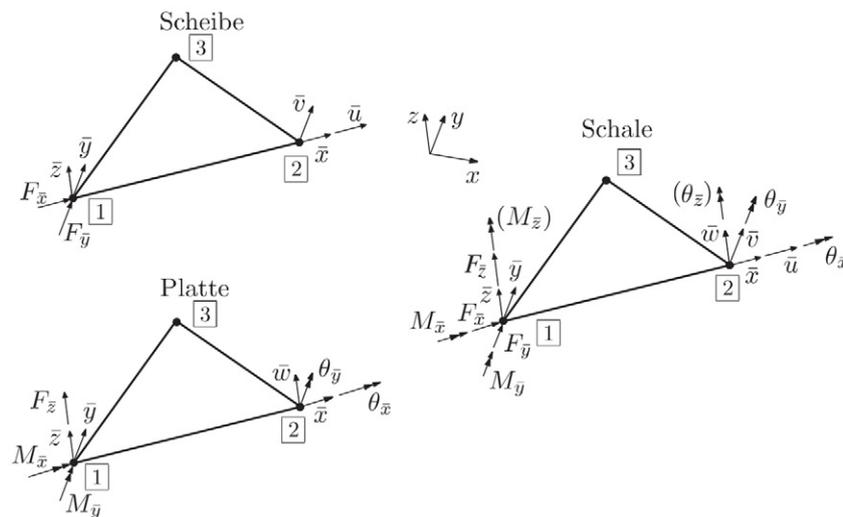


**Abbildung 6:** Aufbau einer Verpackung aus Kraftpapier und Luftpolsterfolie

Aufgrund ihrer geringen Dicke im Verhältnis zur Fläche ist es sinnvoll und zweckmäßig die Verpackung mit finiten Schalenelemente zu modellieren. Im Vergleich dazu würden Volumenelemente zu einem starken Anstieg der Elemente und Knotenpunkte führen, was zu größeren Gesamtmatrizen und erfahrungsgemäß etwa der 8-fachen Rechenzeit führt. Scheibenelemente hingegen würden nur Kräfte in der Scheibenebene übertragen können, während Platten die Belastung senkrecht zur mittleren Ebene übertragen [13], [14].

**Schalenelemente**

Durch die Kombination der Eigenschaften von Scheiben- und Plattenelementen können Schalenelemente modelliert werden (siehe Abbildung 7) [13], [14].



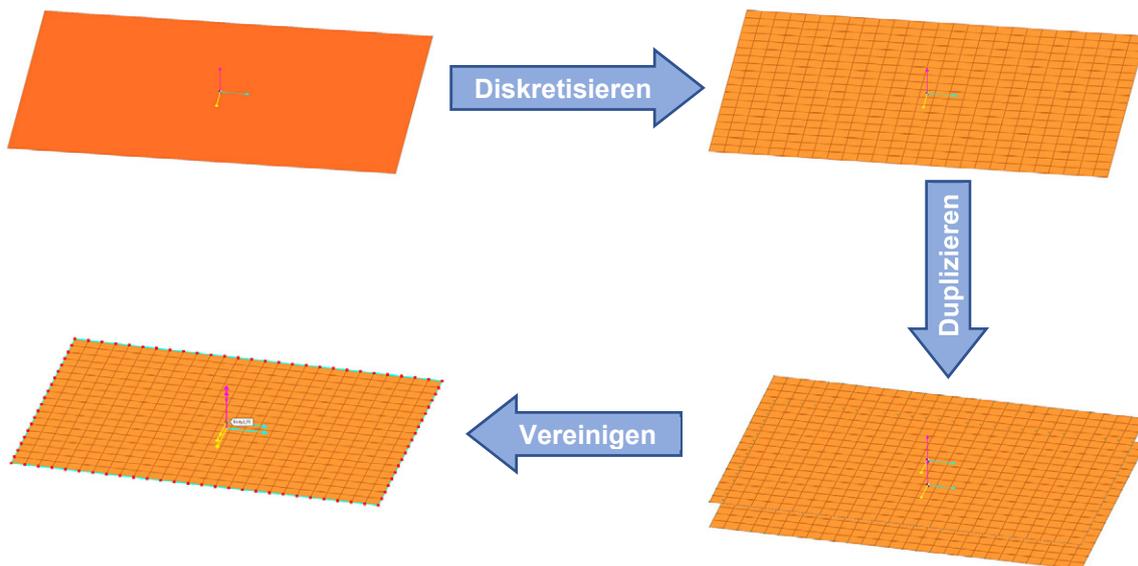
**Abbildung 7:** Überlagerung von Scheibe und Platte zur Schale [14]

Für die Vernetzung mittels Schalen sollen idealerweise gleichseitige Dreieckselemente oder quadratische Elemente verwendet werden. Unregelmäßige Elemente, wie lang gestreckte nadelförmige Elemente oder stark außermittige Zwischenknoten, können zu numerischen Problemen führen. Im Vergleich zu Dreieckselementen liefern Viereckselemente bei gleicher Netzfeinheit erfahrungsgemäß

genauere Ergebnisse. Zusätzlich sollten alle Elementkantenlängen ungefähr gleich und deutlich größer als die Schalendicke sein [15].

Zur Auswahl der Netzfeinheit muss stets ein Kompromiss aus Genauigkeit und Recheneffizienz gemacht werden. Aufgrund der durchschnittlichen Dimensionen von 240 x 180 mm in Länge x Breite, wie in Tabelle 2 dargestellt, wird für die folgenden Modellierungsschritte eine Elementgröße von 10 mm gewählt, die es bei vertretbaren Rechenzeiten erlaubt Verformungen ausreichend genau abzubilden. Folgend wird demonstriert, wie eine derartige Modellierung einer Verpackung welche aus zwei Schichten besteht, mit der Software RecurDyn, durchgeführt werden kann.

Das Verpackungsmodell wird mittels eines FE-Netzes mit 10 mm großen quadratischen Schalenelementen modelliert (siehe Abbildung 4). Konkret geschieht dies durch eine Oberfläche, die im Mesher in ein FE-Netz umgewandelt und durch Schalenelemente diskretisiert wird. Dieser Körper stellt eine Schicht oder eine Verpackungshälfte dar, die anschließend dupliziert wird, um die zweite Hälfte abzubilden. Durch das Überlappen und anschließende Vereinigen der Randknoten<sup>8</sup> beider Körper entsteht ein Gesamtkörper bestehend aus zwei Verpackungshälften. Die Entstehung dieses Modells ist in Abbildung 8 dargestellt. Das entstandene Verpackungsmodell fungiert lediglich als eine vereinfachte Darstellung der Realität und verzichtet dabei auf die Berücksichtigung spezifischer Elemente wie Laschen oder ähnlicher Feinstrukturen.



**Abbildung 8:** Vorgehen zum Erstellen des Verpackungsmodell

Diese simple Form der Verpackung mag zwar den häufigsten Zustand darstellen, wie Verpackungen für formstabile Kleinsendungen vor der Befüllung mit dem Inhalt aussehen, jedoch sind auch diverse andere Formen, wie Tabelle 1 zeigt, zu beobachten. Auch solche komplexeren Formen können durch die Erweiterung um weitere Schichten und deren geeignete Verknüpfung modelliert werden. Wenn Schichten aus mehreren Lagen bestehen, kann es aus Gründen der Recheneffizienz sinnvoll sein,

<sup>8</sup> Die dazugehörigen Elemente teilen sich die Knoten des Zielkörper, während die Knoten des Quellkörper gelöscht werden.



diese Lagen trotzdem als eine Einheit zu modellieren und die Materialparameter entsprechend anzupassen, um ihr Verhalten adäquat abzubilden.

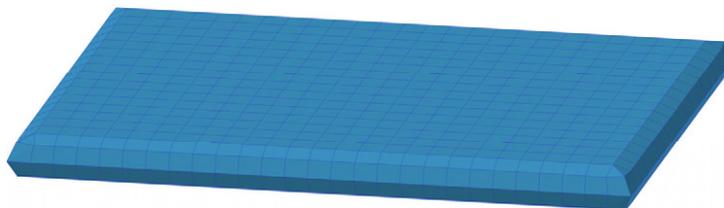
### 3.2 Modellierung des Inhaltes

Der Inhalt einer Verpackung kann vielfältige Eigenschaften aufweisen. Ein zentraler Unterschied liegt zwischen starren und flexiblen Inhalten. Starre Inhalte, wie beispielsweise quaderförmige Kartonagen oder andere feste Gegenstände behalten im Allgemeinen ihre Form während des Transports bei und reagieren auf Belastungen steif. Diese Art von Inhalten kann somit als Starrkörper modelliert werden. Beispielhaft kann ein derartiges Modell wie in Abbildung 9 aussehen. Dieses Modell besteht aus einem Quader mit abgerundeten Kanten und erfordert neben den Geometrieparametern lediglich die Anpassung der Dichte und gegebenenfalls der Schwerpunkteigenschaften bei einer dezentralen Schwerpunktlage.



**Abbildung 9:** Modell des Inhalts als Starrkörper

Im Gegensatz dazu können flexible Inhalte eine breite Palette von Eigenschaften aufweisen. Dies können beispielsweise Textilien, Verpackungsmaterialien und lose Füllstoffe wie Schaumstoffkugeln sein. Während des Transports können sich diese flexiblen Materialien verformen und an die Konturen der Verpackung anpassen oder sich gegenseitig beeinflussen. Um solche flexiblen Inhalte zu modellieren sind Schalen, aufgrund der im Regelfall vergleichsweise großen Dicke, ungeeignet<sup>9</sup>. Hier ist die Verwendung finiter Volumenelemente ein geeigneterer Ansatz. Finite Volumen Elemente ermöglichen es, die Flexibilität von Materialien zu simulieren, wodurch die Verformungen und Bewegungen flexibler Inhalte unter verschiedenen Belastungen präzise nachgebildet werden können. Abbildung 10 zeigt wie ein derartiges Modell aus finiten Volumen Elementen aussehen kann.



**Abbildung 10:** Modell des Inhalts als FE-Körper

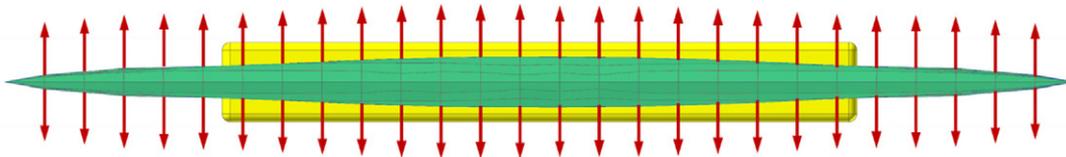
Durch die Kombination von Starrkörpermodellen für biegesteife Inhalte und Finite-Elemente-Modelle für flexible Inhalte können auch mehrteilige Inhalte unterschiedlichster Kombinationen realistisch abgebildet werden.

<sup>9</sup> Würde auch der Inhalt eine geringe Dicke im Verhältnis zur Fläche aufweisen könnte auch hier die Modellierung mittels Schalen geeignet sein.

### 3.3 Zusammenfügen zu einer Sendung

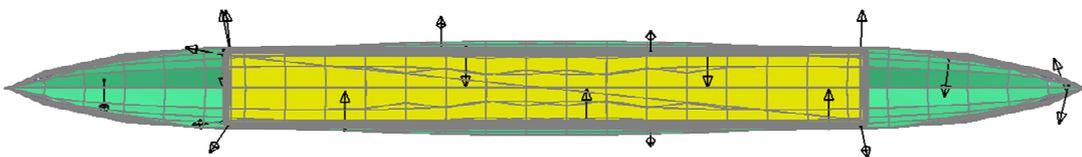
Die beiden Verpackungshälften müssen auseinandergezogen werden, um den Inhalt in die Verpackung einfüllen zu können.

Dies erfolgt durch eine externe gleichverteilte Kraft an den Knoten, die für die jeweiligen Hälften gegengerichtet und gleich groß ist (siehe Abbildung 11). Diese Kraft wirkt, bis die gewünschte Öffnungshöhe in der Mitte der Verpackung erreicht wird.



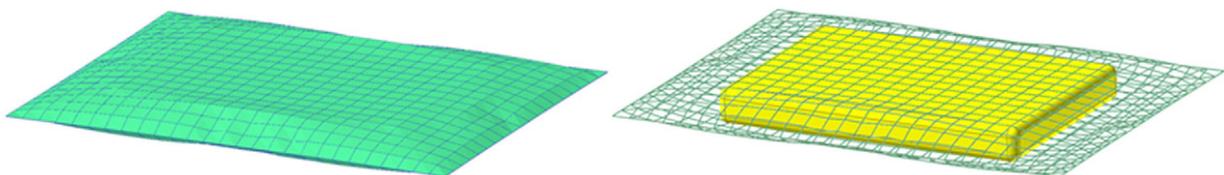
**Abbildung 11:** Kräfte an den Knoten zum Öffnen der Verpackung

Damit sich die Verpackung um den Inhalt schmiegt müssen Kontakte eingefügt werden. Diese wirken zwischen der Innenseite der Verpackung und Außenseite des Inhaltes. Hierbei muss besonders auf die Normalrichtung der einzelnen Patches<sup>10</sup> geachtet und gegebenenfalls angepasst werden. Diese Kontakte sollen erst aktiviert werden, nachdem die Öffnungshöhe groß genug ist, um hohe Kontaktkräfte zu vermeiden<sup>11</sup>. Dies wird erreicht, indem die Kontakte im Zuge eines Simulationsvorganges deaktiviert und wieder aktiviert werden. Das bedeutet, nachdem die Öffnungshöhe erreicht wurde, werden die Kontakte aktiviert und die Öffnungskraft reduziert sich auf null. Dadurch passt sich die Verpackung an die Kontur des Inhaltes an und vollendet das Sendungsmodell.



**Abbildung 12:** Kontakt zwischen Verpackung und Inhalt

Dieses Sendungsmodell kann exportiert und in ein neues Modell importiert werden, ohne dass Informationen über dessen Zustand<sup>12</sup> verloren gehen. Dies ist wichtig, damit der elastische Ausgangszustand des FEM-Modells nicht verändert wird. Abbildung 13 zeigt das daraus resultierende Sendungsmodell.



**Abbildung 13:** Sendungsmodell (links schattiert, rechts Verpackung in Drahtdarstellung)

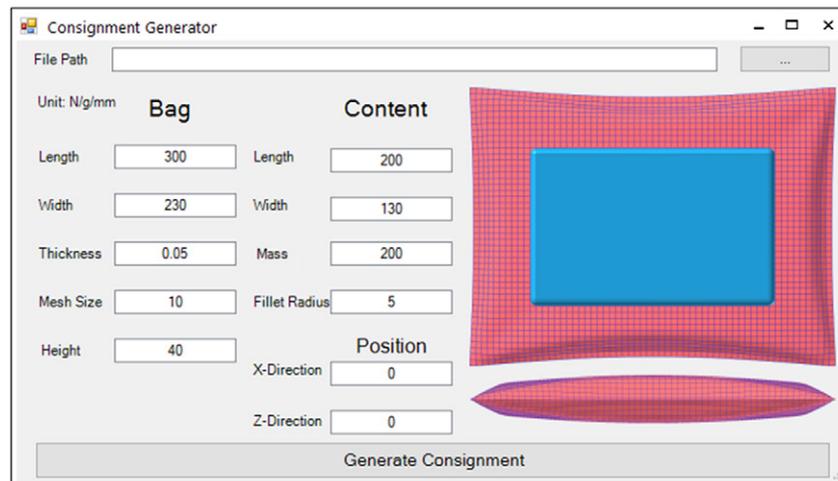
<sup>10</sup> Ein Patch stellt die (Teil-)Oberfläche eines Elementes dar, welches im Fall einer Schale dieselben Dimensionen einnimmt. Diese Patches besitzen Normalrichtungen die zur Kontakterkennung von Flächen nötig sind. Im Verbund werden sie als PatchSets genutzt um als Kontaktbereich zu fungieren wie es am Beispiel des Verpackungsmodells die gesamte Oberfläche ist.

<sup>11</sup> Kontaktkräfte sind abhängig von der Durchdringungstiefe – in diesem Fall jene zwischen dem Knoten der Verpackung und der Oberfläche des Inhaltes

<sup>12</sup> Insbesondere Spannungen

## 4 Ergebnisse

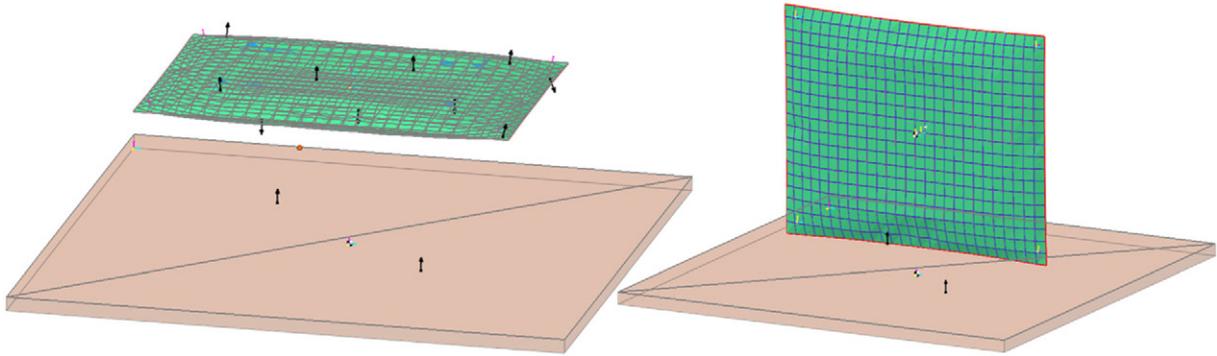
Die in den Abschnitten 3.1-3.3 vorgestellte Modellierungsart lässt sich auch für die effiziente Erstellung verschiedener Sendungen automatisieren. Dies erfolgt durch die RecurDyn interne Entwicklungsumgebung ProcessNet. Dort werden alle manuell durchgeführten Befehle im Programmcode hinterlegt und an geeigneter Stelle parametrisiert. Durch Eingabe der entsprechenden Parameter im Eingabefenster wird in wenigen Sekunden die gewünschte Sendung generiert (siehe Abbildung 14).



**Abbildung 14:** Sendungsgenerator

Zur Demonstration der Wirksamkeit dieses Simulationsansatzes werden einfache Szenarien genutzt, um die Abbildbarkeit der Forminstabilität nachzuweisen. Hierfür werden Fallversuche durchgeführt, bei denen die Sendung aus einer Höhe von einem halben Meter unter Einwirkung der Erdbeschleunigung auf den Boden fällt. Dabei steht das Stoßverhalten der Sendung im Fokus. Stöße treten während des Sendungsumschlags an einer Vielzahl an Stellen auf und sind Hauptgrund für die Verformung von Sendungen. Aufgrund des gewählten Szenarios werden neben dem Kontakt zwischen Verpackung und Inhalt weitere Kontakte implementiert: ein Flächenkontakt zwischen der Außenseite der Verpackung und der Oberfläche des Bodens (siehe Abbildung 15, links) und ein Linienkontakt zwischen dem Rand der Verpackung und der Oberfläche des Bodens<sup>13</sup> (siehe Abbildung 15, rechts).

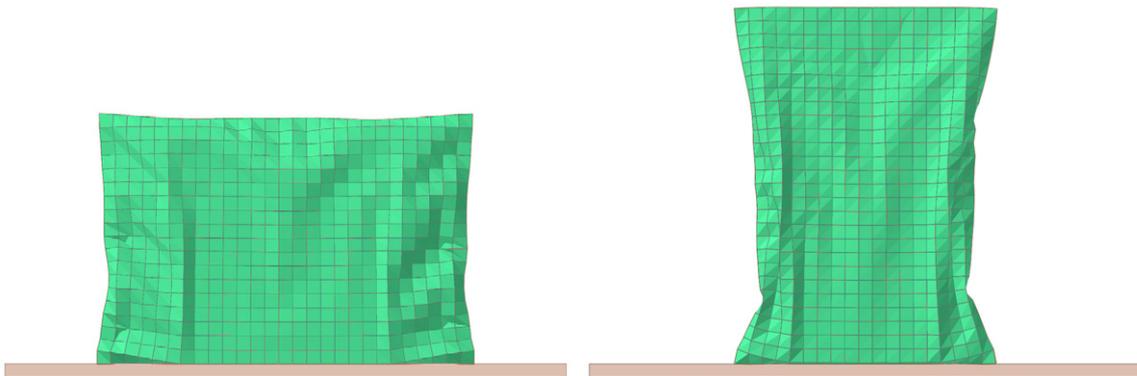
<sup>13</sup> Dieser Linienkontakt ist notwendig, da beim vertikalen Auftreffen der Sendung auf den Boden ansonsten kein Kontakt erkannt werden würde. Dies liegt daran, dass der Kontaktalgorithmus bei einem Winkel von mehr als 80° zwischen den beiden Kontaktflächen keinen Kontakt erkennt. Diese Linienkontakte nutzen im Gegensatz zu Flächenkontakten keine PatchSets sondern LineSets, welche eine Aneinanderkettung an Knoten darstellt, wie in diesem Fall den Rand der Verpackung.



**Abbildung 15:** Kontakte zwischen Sendung und Boden

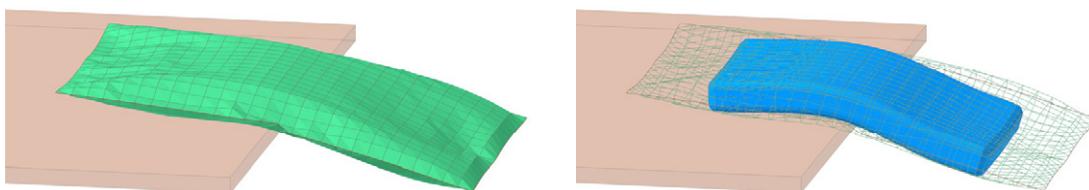
Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen die Abbildbarkeit der Forminstabilität durch diese Art der Modellierung, wie in

Abbildung 16 ersichtlich wird. Die Momentaufnahmen des Aufpralls zeigen, wie sich die Verpackung durch den Stoß verformt und sogar einknicken kann. Die Versuche hatten eine Rechenzeit von 175 (links) und 201 (rechts) für Simulationsdauer von 0,35 Sekunden.



**Abbildung 16:** Fallversuch beim Auftreffen der Sendung auf den Boden

Weitere Versuche mit flexiblem Inhalt zeigen auch die Wirksamkeit von Volumenelementen als Mittel zur Modellierung flexibler Inhalte. Dies wird anhand Fallversuche demonstriert welche auf die Kante einer Platte auftreffen. Die Rechenzeit beträgt dabei eine von 343 Sekunden für eine Simulationsdauer von 0,4 Sekunden. Die Verformung des Inhaltes beim Auftreffen ist mit den Momentaufnahmen in Abbildung 17 dargestellt. Die Vorteile von MFBD im Vergleich zu einem Lumped-Mass-Modell werden besonders deutlich, insbesondere bei Bewegungen entlang von Kanten, da der unerwünschte Verzahnungseffekt durch die Modellierungsart des Lumped-Mass-Modells vermieden wird.



**Abbildung 17:** Fallversuch beim Auftreffen einer Sendung mit flexiblem Inhalt auf eine Kante

Die Rechenzeiten der verschiedenen Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

**Tabelle 3:** Rechenzeiten der durchgeführten Versuche

Versuchstyp	Rechenzeit [s] (siehe Fußnote 13)	Simulationsdauer [s]
Vertikaler Fallversuch (lange Seite)	201	0,35
Vertikaler Fallversuch (kurze Seite)	175	0,35
Fallversuch auf Kante	343	0,4

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit verfolgte einen strukturierten Ansatz zur Entwicklung eines Simulationsmodells für die Abbildung des Bewegungsverhaltens von forminstabilen Kleinsendungen. Es wurde eine Methodik vorgestellt, die mit der Charakterisierung der Eigenschaften von Kleinsendungen begann, gefolgt von der Beschreibung der Modellierungsmöglichkeiten und ihrer konkreten Anwendung auf Sendungen sowie deren Parametrierung.

Das Paper befasst sich insbesondere mit Teil 2 der systematischen Bottom-Up-Modellierung von Verpackung und Inhalt bis hin zur Sendung. Es wurde prototypisch gezeigt, wie eine solche Sendung mithilfe der Multi Flexible Body Dynamics Methode in der Simulationssoftware RecurDyn modelliert werden kann und ein Tool zur automatisierten Modellgenerierung vorgestellt.

Das Verpackungsmodell wurde aus Schalenelementen aufgebaut und um den Inhalt als Starrkörper erweitert, um das Sendungsmodell zu erstellen. Dieses wurde anschließend in Fallversuchen auf seine Qualität und Fähigkeit zur Abbildung der Verformungen von flexiblen Sendungen überprüft. Im Vergleich zu bisherigen Ansätzen wie Lumped-Mass-Modellen konnte ein höherer Detaillierungsgrad, bei vertretbaren Rechenzeiten und ohne unerwünschte Verzahnungseffekte erreicht werden.

Zukünftige Forschungsarbeiten werden sich mit Schritt 3 und 4 der Methodik befassen, bei denen reale Sendungen nachmodelliert und anhand von Realversuchen parametrieren werden.

Die Autoren sind zuversichtlich, dass der Simulationsansatz Multi Flexible Body Dynamics auch die Simulation von forminstabilen Sendungen mit begrenzter Stückzahl im Pulk ermöglichen kann. Dabei könnte es notwendig sein, die Diskretisierung der Modelle gröber zu gestalten, um die Rechenzeit in einem vertretbaren Rahmen zu belassen.

Die Fähigkeit, forminstabile Sendungen in dieser Detailtiefe abzubilden, unterstreicht das Potenzial der vorgestellten Methodik und von MFBD. Insgesamt leistet diese Arbeit wichtige Fortschritte zur Simulation des Bewegungsverhaltens von forminstabilen Kleinsendungen im Sortierprozess und trägt somit zur Entwicklung innovativer Sortier- und Fördertechnologien bei.

### Förderung:

Dieser Beitrag entstand im Zuge des Projekts "ISAAK – Entwicklung eines Simulationsansatzes zur Analyse von Kleinsendungen" aus Mitteln der österreichischen Förderagentur für wirtschaftsnahe Forschung, Entwicklung und Innovation im Rahmen des Programms BRIDGE.

### Author Contributions:

Conceptualization: G.L., D.S., A.O-P.; Methodology: G.L., D.S., A.O-P.; Software: G.L.; Validation: G.L.; Investigation: G.L., D.S.; Writing - Original Draft: G.L., D.S.; Writing - Review & Editing: G.L., A.O-P.; Visualization: G.L.; Supervision: D.S., A.O-P.; Project administration: G.L., D.S.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Pitney Bowes, „Parcel shipping index 2023“, 2023. Zugegriffen: 15. April 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pitneybowes.com/content/dam/pitneybowes/us/en/shipping-index/22-pbcs-04529-2021-global-parcel-shipping-index-ebook-web-002.pdf>
- [2] K. Esser und J. Kurte, „KEP-Studie 2019 – Analyse des Marktes in Deutschland. Eine Untersuchung im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)“, Juni 2019.
- [3] K. Esser und J. Kurte, „KEP-Studie 2023 – Analyse des Marktes in Deutschland. Eine Untersuchung im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)“, Juni 2023.
- [4] International Post Corporation, „Cross-border e-commerce shopper survey 2023“, Survey, 2024.
- [5] International Post Corporation, „Cross-border e-commerce shopper survey 2019“, International Post Corporation, Brüssel, Jan. 2019.
- [6] M. Schädler, M. Schedler, M. Knödl, D. Prims, C. Landschützer, und A. Katterfeld, „Characteristics of ‚polybags‘ used for low-value consignments in the mail, courier, express and parcel industry“, *Vol. 2022*, S. Issue 01, 2022.
- [7] D. Stadlthanner, H. Steinkellner, C. Landschützer, und D. Kaefer, „Hierarchical Density-Based Clustering of Mixed-Mail in Austria“, eingereicht 2023.
- [8] S. Roth, „Simulation von flexiblen Polybags und Untersuchung deren Umlenkverhaltens mittels Mehrkörper-Simulations-Modellen“, Masterarbeit, 2019.
- [9] G. P. Leitner, D. Stadlthanner, und H. Steinkellner, „Simulation des Bewegungsverhaltens von forminstabilen Kleinsendungen im Sortierprozess mittels Multi Flexible Body Dynamics“, gehalten auf der Logistikwerkstatt Graz 2023, 2023.
- [10] J. Choi und J. H. Choi, „Analysis method for multi-flexible-body dynamics solver in RecurDyn“, *Trans. KSME C Technol. Educ.*, Bd. 3, Nr. 2, S. 107–115, 2015.
- [11] Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK), KE-CONSULT Kurte&Esser GbR, „IPC Online Shopper Survey 2021 reports“, *Int. Post Corp.*, Zugegriffen: 24. April 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ipc.be/services/markets-and-regulations/cross-border-shopper-survey/2021>
- [12] M. Schedler und C. Landschützer, „Methodische Entwicklung eines neuartigen Sortiersystems für Polybags“, *Vol. 2021*, S. Issue 17, 2021.
- [13] B. Klein, *FEM: Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau*, 10., verb. Aufl. in Lehrbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. doi: 10.1007/978-3-658-06054-1.
- [14] P. Steinke, *Finite-Elemente-Methode: Rechnergestützte Einführung*, 4., neu Bearb. u. erg. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint Springer, 2012.
- [15] S. Vajna, C. Weber, K. Zeman, P. Hehenberger, D. Gerhard, und S. Wartzack, *CAX für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2018. doi: 10.1007/978-3-662-54624-6.





# Entwicklung einer Systematik zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Layouts für Paketverteilzentren

Harald Steinkellner<sup>1</sup>, Domenik Kaefer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Graz – Institut für Technische Logistik

DOI: 10.3217/978-3-85125-995-7-03

## Kurzfassung

Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP) haben sich zu einem bedeutenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Faktor entwickelt, insbesondere durch das rapide Wachstum des Online-Handels und dem damit einhergehenden Anstieg des Sendungsvolumens. Eine zentrale Rolle im Verteilprozess von Sendungen spielen dabei Paketverteilzentren, die mit der Sortierung von stetig ansteigenden Sendungszahlen konfrontiert sind. Logistikdienstleister stehen vor der Herausforderung, diese ökonomisch getriebenen Anforderungen zu erfüllen, ohne dabei soziale und ökologische Aspekte außer Acht zu lassen.

Diese Arbeit skizziert die Notwendigkeit und Struktur eines Forschungsvorhabens, das darauf abzielt, einen Beitrag für eine nachhaltige Gestaltung von Paketverteilzentren zu leisten. Für die Erstellung von Layouts von Paketverteilzentren sind Bewertungsmethoden nötig, um diese nach ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten auszulegen. Aufgrund der Komplexität dieser Zentren sind aber noch keine ganzheitlichen Methoden vorhanden, die eine solche umfassende Bewertung erlauben. Ziel des Forschungsvorhabens ist daher die Entwicklung einer Systematik zur Nachhaltigkeits-Bewertung von Paketverteilzentrum-Layouts, welche sich in den Auswahlprozess für die Ermittlung geeigneter Layouts integrieren lässt.

Die geplante Vorgehensweise umfasst eine System- und Nachhaltigkeits-Analyse von Paketverteilzentren, die Erstellung eines abstrahierten Modells eines solchen Zentrums, die Verknüpfung von Nachhaltigkeitsaspekten mit Systemkomponenten und die Entwicklung einer Bewertungssystematik. Diese Systematik soll Entscheidungsträgern zukünftig helfen, fundierte Entscheidungen zu treffen und die Nachhaltigkeitsleistung von Paketverteilzentren zu verbessern, indem Layouts dieser Zentren hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte bewertet und ausgewählt werden können.

*Keywords: KEP, Paketverteilzentrum, Nachhaltigkeits-Bewertung, Dimensionen der Nachhaltigkeit, Layout-Gestaltung*

# 1 Einleitung und Motivation

Diese Arbeit präsentiert ein Forschungsvorhaben, welches sich einer der aktuellen Herausforderungen der KEP-Branche widmet: der nachhaltigen Gestaltung von Layouts für Paketverteilzentren unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte. Bevor auf die Notwendigkeit und die Vorgehensweise dieses Vorhabens eingegangen wird, werden neben Herausforderungen theoretische Hintergründe zu Paketverteilzentren und zur Nachhaltigkeit erläutert.

## 1.1 Herausforderungen in der KEP-Branche

Die Leistung der KEP-Branche ist seit Jahren ein wichtiger wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktor. Dies liegt vor allem am anhaltenden Anstieg der Sendungsmengen, insbesondere im Zuge des florierenden Online-Handels und speziell im Business-to-Consumer-Segment (B2C). So erhöhte sich in Deutschland das Sendungsvolumen zwischen 2012 und 2022 um 62,11 % [1]. Global gesehen erhöhte sich dieses Volumen zwischen 2016 und 2022 sogar um 150 % [2].

Neben der steigenden Anzahl von Sendungen sieht sich die Branche mit einer Reihe weiterer Herausforderungen konfrontiert, insbesondere mit Bezug zur ökologischen Nachhaltigkeit. Die Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und die Steigerung der Ressourceneffizienz in Form von geringerem Energieverbrauch und verstärktes Recycling sind von entscheidender Bedeutung [3]. Es wird zunehmend Wert auf die nachhaltige Nutzung bestehender Gebäude und Flächen gelegt, da Bodenressourcen knapp werden [4]. Darüber hinaus herrscht ein Mangel an Fachkräften [5], der – neben dem demografischen Wandel [6] – auch auf belastende Arbeitsbedingungen zurückzuführen ist, womit Bezug zu sozialen Nachhaltigkeitsaspekten gezogen werden kann [7].

Insgesamt steht die Branche vor der komplexen Aufgabe, hohe Sortierleistungen unter sich stets verändernden Rahmenbedingungen zu erzielen und gleichzeitig die Nachhaltigkeitsdimensionen – ökonomisch, ökologisch und sozial – zu berücksichtigen.

## 1.2 Sendungsverteilung durch Paketverteilzentren

Paketverteilzentren spielen eine entscheidende Rolle in der KEP-Branche. Sie gewährleisten durch den Einsatz komplexer Sortiersysteme eine möglichst effiziente Verteilung der Sendungsmengen.

### 1.2.1 Systemabgrenzung

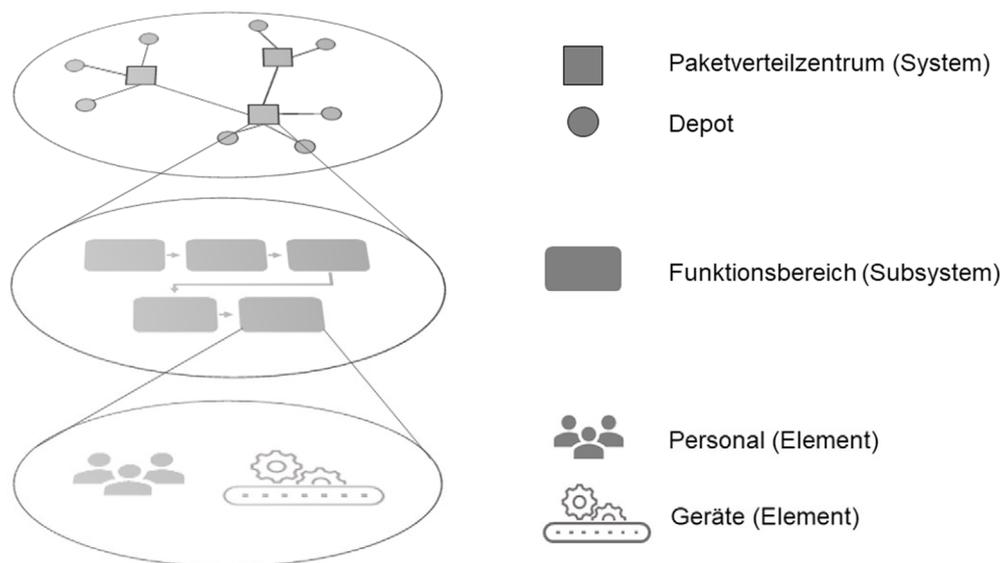
Die Verteilung von Sendungen erfolgt über ein Transportnetzwerk, das aus mehreren Quellen und Senken des Sendungstransports in Form von Knotenpunkten besteht. Diese Knotenpunkte repräsentieren zwei verschiedene Ausführungsvarianten: Sie können entweder als zentrale Sortiereinrichtungen fungieren, die als Paketverteilzentren oder HUBs<sup>1</sup> bezeichnet werden, oder es handelt sich um regionale Empfangs- bzw. Versanddepots [8] [9].

Zwischen diesen Knotenpunkten findet ein Sendungstransport mittels diverser Verkehrsmittel wie Wechselaufbaubrücken (WAB) oder Kleintransporter statt. Die Sortierung der Sendungen, also die

---

<sup>1</sup> Hauptumschlagsbasis

Zuweisung von Zielen, erfolgt innerhalb der Knotenpunkte. Paketverteilzentren nutzen dazu komplexe Sortieranlagen, welche in Funktionsbereiche (Subsysteme) unterteilt werden können. Diese bestehen aus diversen Elementen zur Erfüllung der jeweiligen Funktionen. Dazu gehören neben technischen Komponenten, die der Materialflusstechnik zuzuordnen sind, auch personelle Ressourcen [8] [10]. Abbildung 1 visualisiert diese Betrachtungsweise des Sortier- und Verteilprozesses durch die Darstellung auf mehreren Ebenen.

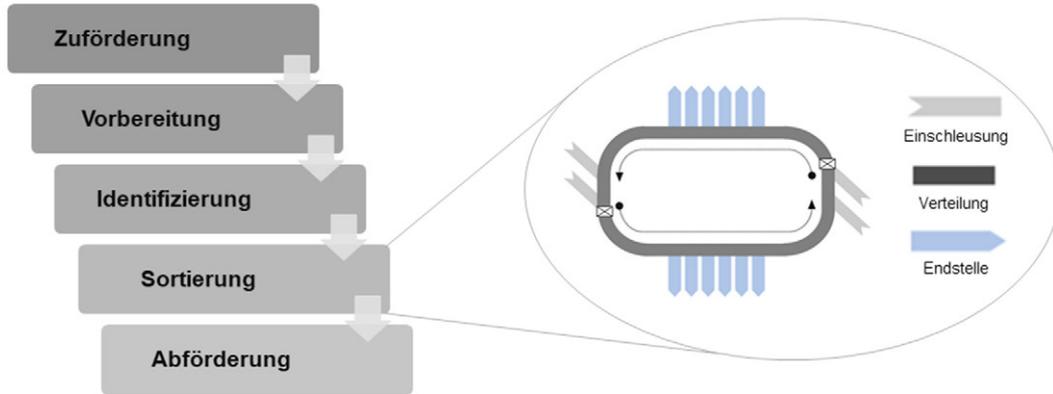


**Abbildung 1:** Paketverteilzentrum aus Systemsicht

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird der Fokus vom System „Paketverteilzentrum“ abwärts gelegt. Das darüberliegende Transportnetzwerk ist hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbetrachtung vor allem aufgrund der dabei auftretenden CO<sub>2</sub>-Emissionen ebenso relevant, wird in diesem Forschungsvorhaben aber nicht betrachtet, da dies den Rahmen des Vorhabens überschreiten würde.

### 1.2.2 Aufbau eines Paketverteilzentrums

Um einen ersten Überblick über die Gestaltungsmöglichkeiten von Paketverteilzentren zu erhalten, werden nachfolgend die wesentlichsten Prozesse innerhalb des Zentrums angeführt. Das „Herzstück“ eines Paketverteilzentrums bildet die Sortieranlage. Wie bereits erwähnt besteht diese aus diversen Funktionsbereichen, welche sich wiederum aus einer Reihe von Funktionen zusammensetzen. Für die Benennung dieser Funktionen sind in der Literatur mehrere Varianten bekannt [8, 10–12]. Im Zuge dieser Arbeit wird die in Abbildung 2 dargestellte Variante gewählt, die sich an [8] und [10] orientiert. Der für die Zielzuweisung hauptverantwortliche Funktionsbereich ist die „Sortierung“. Dieser besteht aus den einzelnen Funktionen „Einschleusung“, „Verteilung“ und „Endstelle“. Einschleusungen speisen den für die Verteilung zuständigen Verteilförderer mit Sendungen. Sobald diese am Förderer ihr zugewiesenes Ziel, d. h. eine Endstelle, die z. B. eine Postleitzahl repräsentiert, erreichen, werden sie in diese Endstelle abgeworfen.



**Abbildung 2:** Funktionen der Sortieranlage (angelehnt an [8, 10])

Entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Sortierung in Form von sortierten Sendungen pro Stunde sind außerdem die ihr vor- und nachgelagerten Funktionsbereiche, welche die Grenzen für die Ein- und Ausgabe des Systems darstellen. Die „Zuförderung“ fungiert als Eingangsschnittstelle zwischen den am Paketverteilzentrum ankommenden Verkehrsmitteln und der Sortieranlage. Auf der anderen Seite ist die Abförderung dafür zuständig, die Sendungen, welche am Ende des Sortiervorgangs in den Endstellen gesammelt werden, weiterzuleiten [8].

Sämtliche Funktionsbereiche können in verschiedener Art und Weise gestaltet werden. Dies betrifft u. a. die Auswahl der technischen Komponenten, die grundlegende Topologie des Verteilförderers<sup>2</sup> und die Anordnung und Anzahl von Einschleusungen und Endstellen<sup>3</sup> [8]. Die unterschiedliche Gestaltung führt in weiterer Folge zu unterschiedlichen Sortierleistungen.

Ein Großteil der Prozesse läuft bereits automatisiert ab, jedoch sind nach wie vor eine Reihe manueller Tätigkeiten erforderlich, insbesondere im Bereich der Zu- und Abförderung. Konkrete Beispiele sind die Entladung von Verkehrsmitteln oder die Entleerung der Endstellen [13]. Die Gestaltungsmöglichkeiten im Zentrum sind daher nicht rein technischer Natur; auch die Personaleinsatzplanung ist ein entscheidender Faktor, etwa in Bezug auf die Personalbesetzung je Endstelle<sup>4</sup>.

### 1.2.3 Auslegung von Paketverteilzentren

Paketverteilzentren haben die Aufgabe, möglichst viele Sendungen in kurzer Zeit und fehlerfrei zu sortieren. Diese Leistung wird als Durchsatz<sup>5</sup> bezeichnet. Der Durchsatz wird maßgeblich durch das Layout<sup>6</sup> des Zentrums bestimmt, welches – wie in Abschnitt 1.2.2 erwähnt – auf vielfältige Weise gestaltet werden kann. Zur Auslegung sind daher verschiedene Layouts auf deren Durchsatz zu prüfen, um darauf basierend eine geeignete Wahl treffen zu können.

<sup>2</sup> Dieser kann als Linie, geschlossener Loop oder als Kreis ausgeführt sein [13].

<sup>3</sup> Eine Auflistung dieser Gestaltungsmöglichkeiten übersteigt den Rahmen dieser Arbeit; für Details siehe [8].

<sup>4</sup> Eine Person kann beispielsweise für die Entleerung von nur einer Endstelle oder für mehrere verantwortlich sein.

<sup>5</sup> Ist gleich der fördertechnischen Leistung des Sortiersystems in Fördereinheiten pro Zeiteinheit [8].

<sup>6</sup> Als Layout wird die „Darstellung eines Systems in seiner flächenmäßigen oder räumlichen Anordnung in Form von Zeichnungen oder Modellen“ bezeichnet [14].

Zur Bestimmung des Durchsatzes bestehen mehrere Möglichkeiten. Dazu gehören analytische Methoden, wie [8] sie beschreibt. Hier wird ein theoretisch maximal möglicher technischer Grenzdurchsatz definiert, der durch die Geschwindigkeit des Verteilförderers und den minimalen Abstand zwischen den zu sortierenden Sendungen am Verteilförderer bestimmt wird. Zudem bestehen Vorschriften, die den Einfluss der Ein- und Ausschleusungsbereiche hinsichtlich des Durchsatzes definieren [8, 13]. Ein realitätsnäherer Wert wird durch den betrieblichen Durchsatz repräsentiert, der durchsatzmindernde Ursachen berücksichtigt. Zu diesen Ursachen gehört u. a. die Situation, dass keine Sendungen zur Einschleusung bereit sind, etwa durch Probleme bei der Zuförderung [8]. Die Ermittlung des betrieblichen Durchsatzes ist aufgrund der Komplexität analytisch nicht möglich, weshalb Simulationsmethoden erforderlich sind [15].

Zu diesen Methoden gehört u. a. die diskrete ereignisorientierte Materialflusssimulation<sup>7</sup>. Charakteristisch für diskrete Modelle ist, dass sich Modellzustände nur zu gewissen, diskreten Zeitpunkten ändern – bei der ereignisorientierten Simulation wird diese Zustandsänderung über durch das Auftreten von Ereignissen verursacht. Folglich muss das Modell nur zu diesen Zeitpunkten betrachtet werden [16]. Diese Methode ist nach [17] besonders geeignet, um komplexe logistische Systeme abzubilden und wird daher auch genutzt, um Layouts von Paketverteilzentren zu prüfen und zu ermitteln.

### 1.3 Terminologie und Dimensionen der Nachhaltigkeit

Der Begriff "Nachhaltigkeit" wird heutzutage in vielfältiger Weise diskutiert. Eine moderne Definition wurde im Rahmen des Abschlussberichtes „Our Common Future“ der Brundtland Commission im Jahr 1987 geprägt: Hier wurde festgehalten, dass die Nachhaltigkeit als entscheidender Gradmesser für die Zukunftsgestaltung gesehen wird [18]. Aus unternehmerischer Sicht wird darunter verstanden, erzielte Gewinne auch ökologisch und sozial zu rechtfertigen [18]. Allgemein steht Nachhaltigkeit für verantwortungsvolles und ressourcenorientiertes zukunftsorientiertes Handeln [19].

Nachhaltigkeit beruht dabei auf ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten. **Ökonomische Nachhaltigkeit** zielt darauf ab, die Wirtschaftskraft zu stärken und gleichzeitig die gewünschte Lebensqualität der Verbraucher zu erhalten. Dies kann durch die Förderung von Innovationen, Investitionen in Anlagen, Steigerung der Arbeitsproduktivität und erhöhte Ausgaben für Forschung und Entwicklung erreicht werden. **Ökologische Nachhaltigkeit** bedeutet, dass biologische Systeme ihre Funktionen und Prozesse langfristig erhalten können. Das erfordert eine Nutzung erneuerbarer Ressourcen in einem Maß, das ihre Regeneration ermöglicht, während die Erzeugung von Verschmutzung minimiert und der Abbau nicht erneuerbarer Ressourcen auf ein nachhaltiges Niveau begrenzt wird. **Soziale Nachhaltigkeit** befasst sich mit der Frage, wie globaler Wohlstand und Frieden langfristig erreicht werden kann. Sie legt besonderen Wert auf die Erfüllung menschlicher Bedürfnisse, wobei Themen wie weltweite Einkommensverteilung und ein würdevolles Leben im Mittelpunkt stehen. Es stehen dabei u. a. Fragen der Chancengleichheit und Arbeitsbedingungen im Fokus [3].

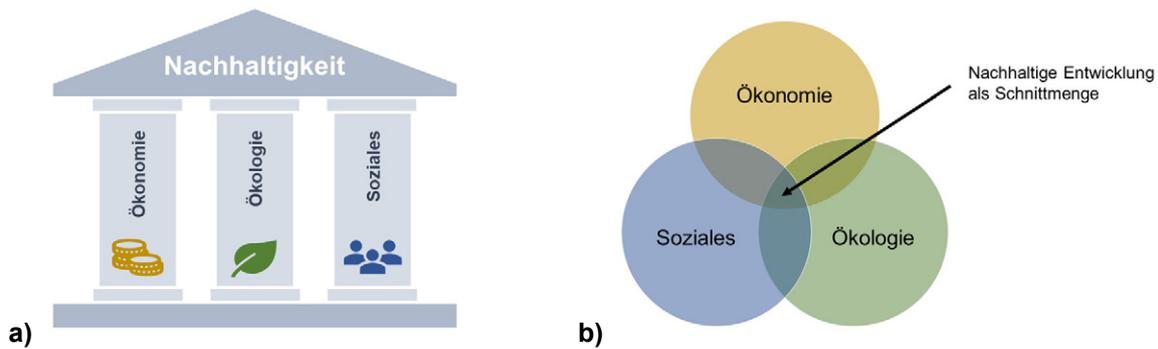
Es existieren verschiedene Modelle, welche das Zusammenspiel all dieser Aspekte visualisieren. Ansätze hierzu sind, dass nur die Berücksichtigung aller drei Aspekte „die Nachhaltigkeit trägt“ (Drei-

---

<sup>7</sup> Diese wird auch als Discrete-Event-Simulation (DES) bezeichnet.

Säulen-Modell) oder das die Nachhaltigkeit als Schnittmenge aller drei Aspekte gebildet wird (Venn-Diagramm) [3]<sup>8</sup> (vgl. Abbildung 3).

Die Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDGs), definiert im Rahmen der Agenda 2030, bieten wichtige Leitlinien für die Integration von Nachhaltigkeitsprinzipien in alle Wirtschaftsbereiche, einschließlich der Logistikbranche [20].



**Abbildung 3:** Dimensionen der Nachhaltigkeit a) Säulen-Darstellung b) Venn-Diagramm (angelehnt an [3])

Um Entscheidungsträgern eine Möglichkeit zu geben, Systeme, Prozesse, Produkte, etc. nachhaltig zu gestalten, bedarf es Ansätze zur Bewertung und quantitativen Darstellung. Eine umfassende Übersicht zur Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit findet sich in [21]. Die Arbeit zielt darauf ab, verschiedenste Wissenschaftsdisziplinen und Branchen damit anzusprechen und deckt zudem sämtliche Dimensionen der Nachhaltigkeit. Die Autoren weisen allerdings daraufhin, dass die Herangehensweise der Nachhaltigkeitsbewertung an den konkreten Anwendungsfall angepasst werden muss. Zudem wird angemerkt, dass die soziale Nachhaltigkeit noch stark vernachlässigt wird.

## 1.4 Problemstellung im Paketverteilzentrum

Angesichts der Komplexität des Systems „Paketverteilzentrum“ ergeben sich im Rahmen der Auslegung zahlreiche Lösungsvarianten (Layouts) für ein und dieselbe Anforderungsdefinition. Das Ziel besteht darin, das am besten geeignete, wenn nicht sogar optimale Layout zu finden. Dabei ist zu beachten, dass der Begriff "optimal" relativ zu betrachten ist, insbesondere wenn ein Paketverteilzentrum unter Berücksichtigung aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen gestaltet werden soll: Ein ökologisch optimales Paketverteilzentrum wird ein anderes Layout aufweisen als ein ökonomisch optimales.

Die Ermittlung eines Optimums bzw. eine Auswahl durch Vergleich erfordert in der Regel eine quantitative Bewertung. Um dabei alle Dimensionen der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen, ist es daher notwendig, deren Ausprägung zu quantifizieren. Zur Bewertung und Quantifizierung stehen nun mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Die einfachste Variante sind direkt messbare Leistungsindikatoren, die einer oder mehreren Säulen zugeordnet werden können, wie beispielsweise der Energie- oder

<sup>8</sup> Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die drei Säulen als „Dimensionen der Nachhaltigkeit“ bezeichnet.

Flächenverbrauch (ökologisch bzw. auch ökonomisch), der Durchsatz (ökonomisch) und der Geräuschpegel (sozial). Daneben gibt es umfassendere und allgemeingültigere Ansätze, wie bereits in Abschnitt 1.3 erwähnt wurde [21]. Dazu zählt etwa das Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA), welches zur ganzheitlichen lebenszyklusbasierten Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten und Dienstleistungen eingesetzt wird. Zu dessen Schwächen gehört allerdings, dass es Wechselwirkungen und Beziehungen zwischen einzelnen System-Aspekten außer Acht lässt [21].

Speziell für Paketverteilzentren existieren weitere Möglichkeiten, einzelne Subsysteme und Elemente zu bewerten. [22] hat beispielsweise Kennzahlen entwickelt, welche eine quantitative Bewertung der Energieeffizienz von Geräten der Materialflusstechnik ermöglicht. [23] beschäftigt sich mit der Bewertung von körperlichen Belastungen im Rahmen typischer intralogistischer Prozesse.

[24] liefert auf Systemebene einen Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit, indem untersucht wird, wie der Energieverbrauch direkt einzelnen Paketen zugeordnet werden kann. Dabei wird besonders auf den zurückgelegten Weg des Paketes Rücksicht genommen, der wiederum vom Layout des Paketverteilzentrums abhängt.

Der komplexe Aufbau von Paketverteilzentren führt hier zur Problemstellung. Erste Literaturrecherchen haben gezeigt, dass es eine Vielzahl an Ansätzen gibt, die sich der Bewertung einzelner Elemente und Subsysteme widmen, und auch ganzheitliche Ansätze, welche aber Schwächen bei komplexen Systemen zeigen. Es fehlt allerdings ein geeigneter Ansatz, der es erlaubt, ein Layout eines Paketverteilzentrums kompakt durch Angabe eines quantitativen Wertes für jede Dimension der Nachhaltigkeit zielführend zu bewerten.

## 2 Forschungsziel

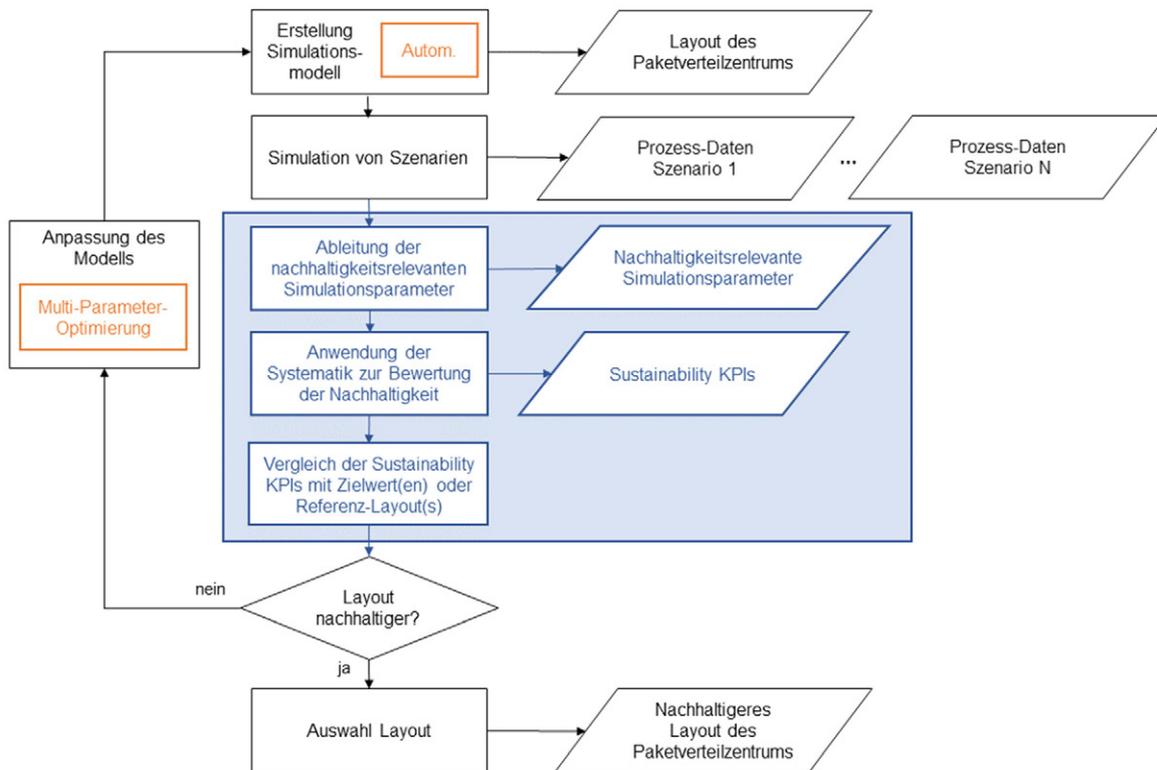
Das angestrebte Forschungsvorhaben soll einen Beitrag zu einer effizienteren und nachhaltigeren Gestaltung von Paketverteilzentren leisten, indem die folgende Fragestellung beantwortet werden soll:

Können die einzelnen Einflüsse der diversen System-Komponenten eines Paketverteilzentrums auf die ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit quantitativ erfasst und auf System-Ebene zusammenfassend bewertet werden, um damit die Gestaltung und den Vergleich von verschiedenen Layouts eines Paketverteilzentrums zu unterstützen?

### 2.1 Lösungsansatz

Zur Beantwortung dieser Frage soll eine Systematik geschaffen werden, mittels welcher ein Layout eines Paketverteilzentrums für jede Dimension der Nachhaltigkeit einen konkreten Wert erhält. Diese drei Werte – in weiterer Folge als „Sustainability KPIs“ bezeichnet – setzen sich aus nachhaltigkeitsrelevanten Parametern zusammen, die sich aus dem Sortiervorgang ergeben. Diese Parameter repräsentieren den Einfluss der diversen System-Komponenten auf die Dimensionen der Nachhaltigkeit – Beispiele hierfür sind der erreichte Durchsatz, die zurückgelegten Laufwege einer Person oder der Energieverbrauch des Verteilförderers.

Abbildung 4 zeigt, wie die Systematik in den Prozessablauf für eine geeignete Layout-Wahl einfließen soll. Der im Forschungsvorhaben zu behandelnde Teil ist dabei blau hinterlegt.



**Abbildung 4:** Einsatz der Systematik zur Nachhaltigkeits-Bewertung im Rahmen der Layout-Ermittlung von Paketverteilzentren

Um nachhaltigkeitsrelevante Parameter abzuleiten, ist zunächst die Generierung von Prozess-Daten erforderlich. Dies kann mithilfe eines Simulationsmodells erfolgen, das beispielsweise durch diskrete ereignisorientierte Simulation (DES) erstellt wurde. Für eine umfassendere Betrachtung ist es vorteilhaft, mehrere Szenarien zu simulieren, die durch verschiedene Rahmenbedingungen definiert sind. Anschließend greift die Systematik, die darauf abzielt, Sustainability KPIs zu generieren. Diese dienen dazu, einen Vergleich für das Zentrum durchzuführen, etwa mit einem Referenzlayout oder einem Zielwert.

## 2.2 Ausblick auf weiteres Potenzial

Die in Abbildung 4 orange markierten Felder sollen einen Ausblick auf weitere Möglichkeiten für eine effizientere Auslegung von Paketverteilzentrum-Layouts geben. Die Generierung von Simulationsmodellen ist mit erheblichem Aufwand verbunden. Durch automatische Modellgenerierung, bei der durch die Vorgabe von Rahmenbedingungen und Anforderungen ein fertiges Layout ohne manuellen Aufwand erstellt wird, kann dieser Aufwand erheblich reduziert werden.

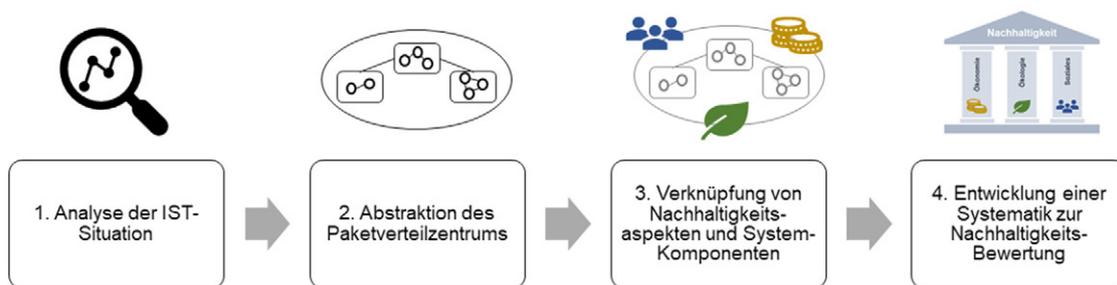
Eine Weiterentwicklung der automatischen Modellerstellung besteht darin, dass durch Multi-Parameter-Optimierung tatsächliche Optima ermittelt werden und somit das bestmögliche Layout, vorzugsweise unter Berücksichtigung aller Nachhaltigkeitsaspekte, ermittelt wird.

### 3 Umsetzung des Forschungsvorhabens

Durch eine vorläufige Literaturrecherche wurde bereits die Dringlichkeit des Vorhabens verdeutlicht, sowie mögliche Ansätze zur Behandlung der Thematik identifiziert. Es besteht jedoch noch Bedarf an einer umfassenderen Untersuchung, speziell bezüglich bereits etablierter Methoden zur Nachhaltigkeits-Bewertung, um sicherzustellen, dass das Forschungsvorhaben auf einer fundierten Grundlage aufbaut, bevor mit der konkreten Umsetzung (vgl. Abschnitt 3.1) begonnen wird.

#### 3.1 Vorgehensweise

Um die in Abschnitt 2.1 definierte Frage zu beantworten, wird die in Abbildung 5 dargestellte Vorgehensweise angewendet, die nachfolgend kurz erläutert wird.



**Abbildung 5:** Vorgehensweise des Forschungsvorhabens

**Schritt 1 – Analyse der IST-Situation:** Eine umfassende Systemanalyse des Paketverteilzentrums wird durchgeführt, wobei relevante Komponenten und Prozesse sowie leistungsrelevante Parameter identifiziert und analysiert werden. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zur Auslegung des Zentrums untersucht und Leistungskennzahlen sowie Metriken erfasst, um die Effizienz und Produktivität quantitativ zu bewerten.

Die Analyse umfasst weiters die Bewertung der Nachhaltigkeitsaspekte im Paketverteilzentrum und deren Integration sowohl in die Gestaltung als auch den laufenden Betrieb. Zudem werden vorhandene Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung identifiziert, und deren mögliche Anwendung im Paketverteilzentrum geprüft. Neben Literaturrecherchen werden Experteninterviews durchgeführt und reale Anlagen besichtigt, um ein umfassendes Bild der aktuellen Situation zu erhalten.

**Schritt 2 – Abstraktion des Paketverteilzentrums:** Basierend auf den Erkenntnissen der IST-Analyse wird ein abstraktes Modell eines Paketverteilzentrums entwickelt, welches die wesentlichen Funktionen, Prozesse und Komponenten abbildet. Die Abstrahierung erfolgt, indem das System „Paketverteilzentrum“ in Subsysteme unterteilt wird, welche wiederum aus Elementen und deren Einflussparametern bestehen (vgl. Abbildung 1). Diese Elemente repräsentieren neben technischen Komponenten (Geräte) auch das am Prozess beteiligte Personal. Besonderes Augenmerk wird auf die Verknüpfung zwischen den Komponenten und deren Einfluss untereinander gelegt.

Zudem werden Flexibilitäts- und Skalierbarkeitsaspekte berücksichtigt, um sicherzustellen, dass das abstrakte Modell auf verschiedene Paketverteilzentren angewendet werden kann, unabhängig von ihrer Größe und Technologie.

**Schritt 3 – Verknüpfung von Nachhaltigkeitsaspekten und System-Komponenten:** In diesem Schritt werden die Nachhaltigkeitsaspekte (ökonomisch, ökologisch, sozial) eng mit den einzelnen Komponenten des Paketverteilzentrums verknüpft. Dazu wird im Detail untersucht, wie jede Komponente (Subsysteme und Elemente) des Paketverteilzentrums jeweils die ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit beeinflusst.

Es werden nachhaltigkeitsrelevante Parameter definiert, d. h. spezifische Einflussfaktoren und Indikatoren, welche die Nachhaltigkeitsleistung jeder Komponente erfassen. Diese Faktoren können beispielsweise die Energieeffizienz und Arbeitsbedingungen umfassen. Diese sind wiederum abhängig von den diversen Gestaltungsvarianten der Subsysteme und Elemente.

**Schritt 4 – Entwicklung einer Systematik zur Nachhaltigkeits-Bewertung:** Es wird eine Systematik entwickelt, welche die Bewertung und den Vergleich verschiedener Layouts von Paketverteilzentren ermöglicht. Als Ergebnis entstehen hier die sogenannten „Sustainability KPIs“, welche dem Paketverteilzentrum auf Systemebene einen quantitativen Wert für jede Dimension der Nachhaltigkeit zuweist. Diese KPIs basieren auf den nachhaltigkeitsrelevanten Parameter der einzelnen Subsysteme und Elemente.

Die Herausforderung besteht darin, die Vielzahl der nachhaltigkeitsrelevanten Parameter mittels geeigneter Methoden angemessen zusammenzufassen. Dazu werden u. a. Bewertungsvorschriften definiert, die den unterschiedlichen Grad der Einflüsse auf die Nachhaltigkeit berücksichtigen. Dabei wird darauf geachtet, dass sich diese Parameter gegenseitig beeinflussen und bestimmte Parameter Auswirkungen auf mehrere Dimensionen der Nachhaltigkeit haben können.

## 3.2 Erwartete Ergebnisse

Es entsteht eine Systematik, welche es erlaubt, ein Layout eines Paketverteilzentrums hinsichtlich ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit zu bewerten und dadurch den Vergleich mit anderen Layouts ermöglicht. Diese Systematik wird anhand eines realitätsnahen Beispiels angewendet, um ihren Nutzen zu verdeutlichen und sie anhand konkreter Ergebnisse auf Verbesserungs- und Fehlerpotenzial zu prüfen. Zur Anwendung wird der in Abbildung 4 dargestellte Prozess verwendet, wobei zur Modellerstellung und Parameterermittlung die diskrete ereignisorientierte Simulation (DES) genutzt wird.

Als weiteres Ergebnis entsteht eine detaillierte Systemanalyse eines Paketverteilzentrums, die aus relevanten Subsystemen, Elementen und Parametern besteht. Diese kann als Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen dienen, wie beispielsweise die automatische Modellgenerierung, die in Abschnitt 2.2 angesprochen wird.

Insgesamt soll die entwickelte Systematik die nachhaltigere Gestaltung von Paketverteilzentren fördern, indem alle Dimensionen der Nachhaltigkeit quantitativ berücksichtigt werden können bzw. auch

eine Priorisierung oder Gewichtung der drei Dimensionen erfolgen kann. Darüber hinaus besteht das Potenzial, diese Systematik auf andere Logistikprozesse auszuweiten, um eine ganzheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit in verschiedenen Bereichen der Logistik zu ermöglichen. Beispiele hierfür könnten die Gestaltung von Lagern oder Produktionsstätten sein.

## 4 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, ein Forschungsvorhaben vorzustellen, welches einen Beitrag zur nachhaltigeren Gestaltung von Paketverteilzentren in der KEP-Branche leisten soll. Hierbei wurden die Herausforderungen der KEP-Branche beleuchtet und die Rolle dieser Paketverteilzentren erläutert. Eine besondere Herausforderung besteht darin, geeignete Layouts für diese Zentren unter Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ökonomischer Aspekte bestmöglich auszulegen.

Es wurden erste vorläufige Literaturrecherchen durchgeführt, um auf die Komplexität dieser Paketverteilzentren hinsichtlich Aufbau und Auslegung hinzuweisen. Weiters wurde erkannt, dass zwar bereits Ansätze zur nachhaltigen Gestaltung existieren, jedoch noch ein geeigneter ganzheitlicher Vergleich für die Auslegung von Paketverteilzentrums-Layouts fehlt.

Daher wurde eine Vorgehensweise vorgestellt, die darauf abzielt, eine Systematik zu entwickeln, welche eine umfassende Bewertung eines Paketverteilzentrums ermöglicht. Diese umfasst umfangreiche Analysen der aktuellen Nachhaltigkeitssituation in Paketverteilzentren, die Erstellung eines abstrahierten Modells eines Paketverteilzentrums, die Identifizierung und Bewertung von nachhaltigkeitsrelevanten Parametern und deren Verknüpfung zu einzelnen Systemen, sowie schlussendlich die Entwicklung einer Systematik zur Gesamtbewertung.

Da es sich um ein geplantes Forschungsvorhaben handelt, liegen noch keine Ergebnisse zur Anwendung der Systematik vor. Die Systematik soll es aber Planern, Betreibern und Entscheidungsträgern zukünftig ermöglichen, eine ganzheitliche Perspektive einzunehmen und die Nachhaltigkeitsleistung von Paketverteilzentren systematisch zu verbessern.

In weiterer Folge kann diese Systematik auch in weiteren Gebieten der Intralogistik Einzug finden. Zudem kann dieses Forschungsvorhaben unterstützend für weitere Entwicklungen im Bereich der Layout-Gestaltung von Paketverteilzentren dienen: Die Systemanalyse und Abstraktion eines Paketverteilzentrums leistet einen Beitrag zur Weiterentwicklung der automatischen Modellgenerierung, da diese ein exaktes Systemverständnis erfordert.

## Author Contributions

Conceptualization, H.S., D.K.; methodology, H.S.; investigation, H.S.; writing – original draft preparation, H.S.; writing – review and editing, H.S., D.K.; visualization, H.S.; supervision, D.K.; project administration, H.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] K. Esser and J. Kurte, "KEP-Studie 2023 - Analyse Des Marktes in Deutschland. Eine Untersuchung Im Auftrag Des Bundesverbandes Paket Und Expresslogistik e. V. (BIEK)," 2023.
- [2] Pitney Bowes, "Parcel Shipping Index 2023," 2023. Accessed: Apr. 15, 2023.
- [3] M. Harwardt, *Ökologische Nachhaltigkeit im E-Commerce: Grundlagen, Ansätze und Handlungsempfehlungen*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2023.
- [4] ÖROK. "Monitoring von Flächeninanspruchnahme und Versiegelung." Accessed: Apr. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.oerok.gv.at/monitoring-flaecheninanspruchnahme>
- [5] Bitkom. "Digitalisierung der Logistik." Accessed: Apr. 20, 2024. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1088664/umfrage/umfrage-zu-personaldefiziten-von-logistikunternehmen-nach-berufen/>
- [6] M. Mohr and V. Cernovskij. "Fachkräftemangel in Österreich: Statista Overview-Report zur Personalknappheit in Österreich." Accessed: Apr. 20, 2024. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/136465/dokument/fachkraeftemangel-in-oesterreich/>
- [7] M. Certa and T. Schröder, "Die Logistik im Fokus empirischer Analysen: Arbeitsbedingungen und Arbeitsfähigkeit in der Lagerwirtschaft sowie den Post- und Zustelldiensten," *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, vol. 75, pp. 251–265, 2021.
- [8] D. Jodin and M. ten Hompel, *Sortier- und Verteilsysteme: Grundlagen, Aufbau, Berechnung und Realisierung*, 2nd ed. Berlin: Springer Vieweg, 2012.
- [9] S. Blunck, "Modellierung und Optimierung von Hub-and-Spoke-Netzen mit beschränkter Sortierkapazität," Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2005.
- [10] M. ten Hompel, Schmidt Thorsten, and J. Dregger, *Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik*, 4th ed. Berlin: Springer Vieweg, 2018.
- [11] N. Boysen, D. Briskorn, S. Fedtke, and M. Schmickerath, "Automated sortation conveyors: A survey from an operational research perspective," *European Journal of Operational Research*, no. 276, pp. 796–815, 2019.
- [12] D. Prims, "Bedeutung der Virtuellen Inbetriebnahme von Fördertechnik für die Paketvereinzelung," *e-commerce: Gerätetechnik, Software, Organisation, Geschäftsmodelle: Logistikwerkstatt Graz 2021, 07.-08.10.2021*, pp. 138–146, 2021.
- [13] C. Landschützer, H. Steinkellner, and C. Beumer, "Sortier- und Verteilsysteme," in *Handbuch Logistik*, K. Furmans, M. Henke, H. Tempelmeier, M. ten Hompel, and T. Schmidt, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2024.
- [14] P. Klaus, W. Krieger, and M. Krupp, *Gabler Lexikon Logistik: Management logistischer Netzwerke und Flüsse*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012.

- [15] A. Radtke, "Beitrag zur Entwicklung optimierter Betriebsstrategien für Sortiersysteme," Dissertation, Universität Dortmund, Dortmund, 2000.
- [16] S. Wenzel, "Simulation logistischer Systeme," in *Handbuch Logistik*, K. Furmans, M. Henke, H. Tempelmeier, M. ten Hompel, and T. Schmidt, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2024.
- [17] M. Eley, *Simulation in der Logistik: Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges "Plant Simulation"* Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [18] K. Mayer, *Nachhaltigkeit: 111 Fragen und Antworten*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017.
- [19] K. O. Tokarski, J. Schellinger, and P. Berchtold, Eds. *Nachhaltige Unternehmensführung: Herausforderungen und Beispiele aus der Praxis*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019.
- [20] SDG Compass. "Learn More About the SDGs." Accessed: Apr. 14, 2024. [Online]. Available: <https://sdgcompass.org/sdgs/>
- [21] L. Andes, T. Lützkendorf, B. Ströbele, J. Kopfmüller, and C. Rösch, "Methodensammlung zur Nachhaltigkeitsbewertung: Grundlagen, Indikatoren, Hilfsmittel," Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2019.
- [22] F. Lottersberger, "Beitrag zu einer energieeffizienten Materialflusstechnik: Grundlagen zur Ermittlung, zum Vergleich und zur Steigerung der Energieeffizienz," Dissertation, Technische Universität Graz, Graz, 2016.
- [23] D. Loske, M. Klumpp, M. Keil, and T. Neukirchen, "Logistics Work, Ergonomics and Social Sustainability: Empirical Musculoskeletal System Strain Assessment in Retail Intralogistics," *Logistics*, vol. 5, no. 4, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2305-6290/5/4/89>
- [24] G. Mahringer, C. Landschützer, and M. Steger, "Untersuchung der Auswirkung des Layouts von Paketverteilzentren auf die Anzahl der Kreisläufer am Sortier- und Verteilförderer mittels vereinfachter Modellbildung und Materialflusssimulation," in *Jahrbuch der Logistikforschung: Innovative Anwendungen, Konzepte & Technologien*, T. Wakolbinger, Ed., Linz: Trauner Verlag, 2023, pp. 133–145.



# Methode zur Zuordnung des Energieverbrauchs eines Paketverteilzentrums zu einzelnen Paketen mittels ereignisdiskreter Materialflusssimulation

Gerald Mahringer

Technische Universität Graz – Institut für Technische Logistik

DOI: 10.3217/978-3-85125-995-7-04

## Abstract

Seit einiger Zeit verzeichnet die Kurier-, Express- und Paketdienst-Branche (KEP-Branche) zwei dominierende Trends. Einerseits steigt die Nachfrage nach Paketen und ihrer schnellen Zustellung stetig an, während andererseits das Umweltbewusstsein und das Streben nach Nachhaltigkeit bei den Kunden zunehmen. Angesichts dieser steigenden Nachfrage nach umweltfreundlichen Lösungen haben viele KEP-Dienstleister längst die Nachhaltigkeit und die Reduzierung von Treibhausgasemissionen in ihre Geschäftsstrategien integriert. Während die Umweltauswirkungen von Paketen während ihres Transportprozesses relativ einfach zu berechnen sind, gestaltet sich die Bestimmung des Energieverbrauchs eines Pakets während seines Weges durch ein Paketverteilzentrum als äußerst komplex. In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, der es ermöglichen soll, den Energieverbrauch von Fördertechnik und anderen Verbrauchern innerhalb eines Paketverteilzentrums bestimmten Paketen zuzuordnen. Ein zentraler Bestandteil dieses Ansatzes ist die Anwendung einer ereignisdiskreten Materialflusssimulation, um die Anzahl der zu betrachtenden Pakete und deren Weg durch das Paketverteilzentrum zu erfassen und darzustellen. Auf diese Weise kann die verbrauchte Energie der am Verteilprozess beteiligten Förder- und Verteiltechnik auf einzelne Pakete zugeordnet werden. Diese Methode ermöglicht es, die ökologische Nachhaltigkeit einzelner Pakete auf ihrem Weg durch ein Paketverteilzentrum zu bewerten.

*Keywords: Paketverteilzentrum, KEP, Ereignisdiskrete Materialflusssimulation, Nachhaltigkeit*

## 1 Einführung

### 1.1 Paketlogistik in der KEP Branche

Im Jahr 2022 wurden in Österreich etwa 347,55 Millionen Pakete von KEP Dienstleistern und der Österreichischen Post befördert und verteilt. [OEP23] Prognosen deuten darauf hin, dass ähnliche

Mengen auch im Jahr 2024 erwartet werden können. [OEP23] [MAR23-1] Mit einem jährlichen Umsatz von etwa 1,5 Millionen Euro ist die KEP-Branche ein bedeutender, jedoch vergleichsweise junger Sektor in seinem Dienstleistungsbereich. [MAR23-2]

Neben der zunehmenden globalen Akzeptanz für Online-Shopping hat die Coronavirus-Pandemie einen erheblichen Teil dazu beigetragen, diesen Trend zu beschleunigen, was wiederum zu einem Anstieg von Same Day Delivery und Expresszustellungen geführt hat. [JSN16] Gleichzeitig wird seit einiger Zeit dem Thema Nachhaltigkeit in der KEP-Branche eine große Aufmerksamkeit zugesprochen. Studien zeigen, dass alle KEP-Unternehmen das Thema Energieeffizienz und die Reduzierung von Treibhausgasemissionen zu einem Teil ihrer Agenda gemacht haben, um dem zunehmenden Umweltbewusstsein gerecht zu werden. [DEC21]

Im Jahr 2019 wurden weltweit etwa 25 % der Treibhausgasemissionen dem Gütertransport zugeschrieben. Trotz des allgemeinen Rückgangs der globalen Emissionen steigen global die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor, welche zu einem Teil auch auf die Zustell- und Verteilfahrzeuge von Logistik-Dienstleistern zuzuordnen sind, weiter an. [EEA22] Dabei entfallen etwa 75 % bis 90 % der Logistikbranche zuzuordnenden Treibhausgasemissionen auf Transportprozesse, während der verbleibende Anteil auf intralogistische Prozesse zurückzuführen ist. [SH22]

Die KEP-Branche trägt somit zu den globalen Treibhausgasemissionen bei. Dabei sind die Energiekostenanteile in einer typischen Lieferkette wie folgt verteilt: 76 % entfallen auf den Transport, 24 % auf die Intralogistik, wobei ein beträchtlicher Teil davon wiederum auf Förder-, Lager- und Kommissioniertechnologien entfällt. [RD23]

## 1.2 Nachhaltigkeit in der Paketlogistik

Heutzutage ist Nachhaltigkeit ein viel diskutiertes Thema, auch in der KEP-Branche. Die Umsetzung bzw. die Evaluierung der Nachhaltigkeit verschiedener Teile der Logistikkette gestaltet sich dabei aber als oftmals schwierig. Die Österreichische Post nimmt dabei eine Vorreiterrolle in der Entwicklung von nachhaltigen und umweltfreundlichen Prozessen und deren Umsetzung ein, indem sie seit einiger Zeit unter anderem auf klimaneutrale Paketzustellung setzt, um den Anforderungen an Nachhaltigkeit gerecht zu werden [UMU19]. Doch welche Bedeutung hat Nachhaltigkeit im intralogistischen Teil der Lieferkette? Wie können in Zukunft die Nachhaltigkeit von Prozessen innerhalb eines Paketverteilzentrums gemessen und evaluiert werden und wie können daraus Schlüsse und Aussagen über die Nachhaltigkeit einzelner Pakete getroffen werden?

Während es vergleichsweise unkompliziert möglich ist, spezifische Treibhausgasemissionen verschiedenen Transportarten und damit einzelnen Transportprozessen zuzuordnen [UBA20] stellt die Ermittlung der ökologischen Nachhaltigkeit von intralogistischen Prozessen, wie sie innerhalb von Paketverteilzentren auftreten, aber nach wie vor eine nicht triviale Herausforderung dar, da sich diese Prozesse oft als sehr komplex darstellen. Dennoch ist es möglich, Schätzungen der Treibhausgasemissionen pro transportiertem Paket, auf dessen Weg durch ein Paketverteilzentrum, anzustellen.

len. Laut dem Umweltbundesamt kann dieser Wert auf etwa 20 g bis 120 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente geschätzt werden. [ZMR20]. Diese breite Schwankungsbreite ist dabei auf die Komplexität der intralogistischen Prozesse und die Abhängigkeit von vielen verschiedenen Prozessgrößen zurückzuführen.

Die steigende Sensibilisierung für Umweltfragen hat zur Einführung internationaler Standards und Normen geführt, die sich mit verschiedenen Aspekten des Energiemanagements [DIN18], der Erfassung von Treibhausgasemissionen aus Transportkettenoperationen [DIN22] sowie Methoden zur Berechnung des Energieverbrauchs innerhalb von Transportprozessen befassen [DIN13].

Angesichts der Notwendigkeit, Intralogistikprozesse in die Berechnung und Deklaration von Treibhausgasemissionen einzubeziehen, wird in den folgenden Kapiteln ein detaillierter Ansatz zur Abschätzung des Energieverbrauchs spezifischer Pakete auf ihrem Weg durch ein Paketverteilzentrum, der die Komplexität dieser intralogistischen Prozesse und deren Abhängigkeit von verschiedenen Einflüssen berücksichtigt, vorgestellt.

### 1.3 Ansatz für die Erstellung einer Bewertungsmethode

Um die Nachhaltigkeit von Paketen auf ihrem Weg durch ein Paketverteilzentrum zu bewerten, ist es notwendig, einen Abschätzungs- bzw. Zuordnungsprozess für den Energiebedarf aller an der Verteilung beteiligten Intralogistikprozessschritte wie etwa die Einschleusung, die Zuführung, Verteilung, Pufferung, Identifikation und Ausschleusung zu etablieren. Obwohl in den letzten Jahren eine beträchtliche Menge an Forschung zur Energieeffizienz in der Intralogistik und zur Effizienz von Förderanlagen durchgeführt wurde [SH18][FSM16] und diese sich auch in entsprechenden Richtlinien widerspiegelt [FEM17], lag der Schwerpunkt oft auf den Antriebssystemen von Intralogistiksystemen.

Die vorliegende Methode zielt darauf ab, materialflussorientierte Ansätze<sup>1</sup> in die Untersuchung dieser Verteilprozesse zu integrieren und dabei mechanisch-elektrische Effekte innerhalb der Verteil- und Förderanlage von der Betrachtung weitgehend auszuschließen. Dieser makroskopische Ansatz soll dazu dienen, den Fokus auf die Zuordnung der verbrauchten Energie auf einzelne Pakete zu legen.

Das zentrale Element dieser Methode bildet die Verwendung eines vereinfachten Materialflusssimulationsmodells, um einzelne Pakete und deren Weg durch das Verteilzentrum erfassen und dokumentieren zu können. Das Ziel dieser Materialflusssimulation besteht darin, die Auslastung verschiedener Förder- und Transportelemente oder ganzer Bereiche im Paketverteilzentrum zu ermitteln, was eine bedeutende Grundlage für die Zuordnung der verbrauchten Energie dieser Elemente zu einzelnen Paketen darstellt. Die Anwendung eines flexiblen und parametrisierbaren Materialflussmodells ermöglicht dabei eine ganzheitliche Berücksichtigung von Aspekten wie dem Layout und betriebspezifischen Parametern<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Es werden Aspekte wie Fördergeschwindigkeiten, Pfade einzelner Paket (von der Quelle bis zur Senke), Auslastung verschiedener Förder- und Verteiltechnik und weitere Aspekte, die den innerbetrieblichen Materialfluss (in der vorliegenden Problemstellung beschreibt dieser Materialfluss das Verhalten aller geförderten Pakete innerhalb eines Betrachtungszeitraumes) innerhalb eines Paketverteilzentrums beschreiben.

<sup>2</sup> In diesen Kontext werden unter Layout alle Parameter und Informationen zusammengefasst, welche die Position sowie den Streckenverlauf verschiedener Förder- und Verteiltechnik innerhalb eines Paketverteilzentrums definieren (z.B.: Länge des Verteilförderers, Anzahl und Anordnung von Zuführlinien, ...). Unter betriebspezifischen Parametern sind Parameter und

## 2 Vorstellung der Methode

In diesem Kapitel werden theoretische Grundlagen des Ansatzes der Methode zur Zuordnung von verbrauchter Energie zu einzelnen Paketen auf dem Weg durch ein Paketverteilzentrum erläutert. Dabei werden grundsätzliche Punkte wie Aufbau und Funktion bzw. Anwendung und Systemgrenzen genauer aufgezeigt. Für eine beispielhafte Anwendung der Methode sei an dieser Stelle auf das Kapitel 3 verwiesen.

### 2.1 Grundlegendes Prinzip

Innerhalb eines Paketverteilzentrums werden Pakete von der Einschleusung über den Verteilförderer zu der vorbestimmten Endstelle transportiert und gehandelt, um dort wieder ausgeschleust zu werden (siehe 2.2.1). Diese intralogistische Prozesskette ist neben verschiedenen Transportprozesse ein wichtiger Teil der Dienstleistung, welche KEP-Dienstleister dem Kunden anbieten. Da ein Paket während all dieser Prozesse aktiv keine Energie verbraucht, sondern nur passiv bewegt, gefördert und gehandhabt wird, ist es notwendig, die Energie, welche an aktiven Verbrauchern benötigt wird, um das spezifische Paket zu handhaben, diesem zuzuordnen. Damit ist es möglich, in weiterer Folge eine Energiebilanz (siehe 2.3.3) für dieses Paket auf dem Weg durch das Verteilzentrum, aufzustellen. Als aktive Verbraucher wird in dieser Betrachtung als Förder-, Verteil- und Handhabungstechnik zusammengefasst, welche Energie konsumiert, um ein Paket seiner Bestimmung entsprechend zu handhaben und transportieren. Abbildung 1: Diskrepanz in der Zuordnung von Energie Abbildung 1 zeigt schematisch diesen Zwischenschritt auf und verdeutlicht den Aspekt, dass Paket nicht aktiv Energie verbrauchen, sondern diese nur zugeordnet werden kann. Dieser Aspekt ist die Grundlage für den vorliegenden Ansatz der Methode zur Abschätzung der Energiebilanz von einzelnen Paketen auf dem Weg durch ein Paketverteilzentrum.

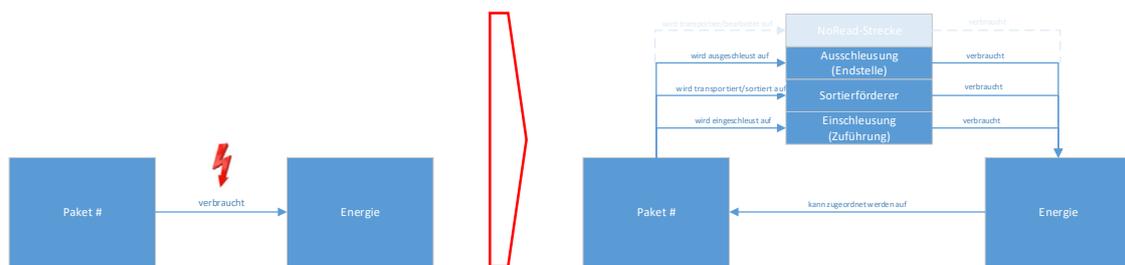


Abbildung 1: Diskrepanz in der Zuordnung von Energie

### 2.2 Systemgrenzen

In diesem Kapitel wird erläutert, welche Systemgrenzen herangezogen und definiert wurden, um den Ansatz dieser Methode zu entwickeln. Dabei wird in erster Linie darauf eingegangen, welche Logistikelemente innerhalb des Paketverteilzentrums berücksichtigt werden bzw. wie die betrachtete Prozesskette aussieht, die mit der Methode abgebildet werden kann. Weiters wird darauf eingegangen,

Informationen zusammengefasst, welche den Betrieb und die für den Betrieb nötigen Prozessketten beschreiben, zusammengefasst (z.B.: Schichtpläne, Betriebszeiten, Sortier- und Verteilpläne, ...)



Heizung, Belüftung. Ausgeschlossen werden an dieser Stelle explizit alle Formen der grauen Energie.<sup>4</sup>

### 2.3 Aufbau

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche Schritte nötig sind, um die Methode durchführen zu können. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Schritte so definiert sind, die Methode für verschiedenste Anwendungen angewandt werden kann.

Da der zweite Abschnitt dieser Prozesskette durch die Anwendung einer Materialflusssimulation abgebildet ist, entsprechen die drei Abschnitte im groben den Schritten der pre-processing, processing und post-processing, gemäß der etablierten Methodik zur Durchführung einer Simulationsstudie.

- Schaffung der Datenbasis
- Verarbeitung der Daten mittels ereignisdiskreter Materialflusssimulation
- Auswertung der Daten

In den folgenden Unterkapiteln werden diese drei Abschnitte genauer erläutert, inklusive der Festlegung der jeweiligen In- und Outputs und der Einzelschritte innerhalb der Abschnitte, welche auch in Abbildung 3 übersichtlich dargestellt sind.



Abbildung 3: Aufbau der Methode

#### 2.3.1 Schaffung der Datenbasis

In diesem Schritt werden Daten gesammelt und methodisch aufbereitet, um sie für die Materialflusssimulation im Abschnitt 2 durchführen zu können. Tabelle 1 zeigt eine Aufstellung relevanter Parameter:

<sup>4</sup> Speziell: alle Arten für Energie, die für die Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verpackung, Transport, Entsorgung und Recycling von Gebäude oder Equipment verbraucht wird. [BOG16]



**Tabelle 1: Aufstellung relevanter Parameter**

Layoutbezogene Parameter	Prozessbezogene Parameter	Sendungsbezogene Parameter	Energiebezogene Parameter
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Länge des Verteilförderers inkl. Positionierung der Identifikationsstationen (Reader)</li> <li>• Anzahl an Einschleusung und deren Platzierung entlang des Verteilförderers</li> <li>• Anzahl an Endstellen und deren Platzierung entlang des Verteilförderers</li> <li>• Anzahl und Länge der NoRead Strecke inkl. Platzierung der Ein und Ausschleusungen am Verteilförderer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Länge des Verteilförderers inkl. Positionierung der Identifikationsstationen (Reader)</li> <li>• Sortier- und Verteilpläne</li> <li>• Erwartetes Störungs- und Blockierverhalten der einzelnen Elemente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition des Paketspektrums inkl. physikalischer Eigenschaften und erwartete Leserate<sup>5</sup> der spezifischen Paketcluster</li> <li>• Erwartetes Sendungsaufkommen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwarteter Energieverbrauch an den einzelnen Elementen des Systems und der Anlage → zeitlicher Verlauf</li> </ul>

Diese Informationen können entweder auf empirischen Daten, Messwerten oder fiktiven Daten basieren. Ebenso können an dieser Stelle, sinnvolle Annahmen getroffen oder stochastische Daten verwendet werden.

Es ist festzuhalten, dass diese Daten die Grundlage für die Materialflusssimulation darstellen. Somit sollte der Umfang der Daten so gewählt werden, dass eine akkurate und umfangreiche Modellierung des Modells gewährleistet werden kann. Einschränkungen und Vereinfachungen können gemäß den Anforderungen der Studie getroffen werden, es muss dem Anwender aber bewusst sein, dass dies immer zulasten der Qualität der Materialflusssimulation passieren kann.

### 2.3.2 Verarbeitung der Daten: Materialflusssimulation

Ziel dieses Schrittes ist die möglichst realitätsnahe Abbildung des Verteilzentrums und dessen intralogistischen Prozesse. Dazu. Weiters wird die Simulation dazu benutzt, die modellierten Pakete zu tracken, und sie mit jeweiligen Zeitstempeln zu versehen, welche dokumentieren, wann das jeweilige Paket in einzelne Abschnitte und Bereiche (Einschleusung, Verteilförderer, ...) eingetreten ist bzw. diese wieder verlassen hat. Dieser Schritt wird benötigt um im nächsten Prozessabschnitt erfassen zu können, wie hoch die jeweilige Auslastung in einzelnen Bereichen des Verteilzentrums ist. Diese Auslastung ist Grundlage für die Aufteilung der jeweiligen Energiemenge der Verbraucher zu den jeweiligen Paketen. An dieser Stelle wird ausdrücklich nicht festgelegt, welche Software oder welches Tool für die Erstellung des Materialflussmodells und für die Durchführung der Materialflusssimulation verwendet werden soll, um eine breitere Anwendbarkeit der Methode zu gewährleisten.

<sup>5</sup> Anteil an nicht automatisiert identifizierbaren Paketen

### 2.3.3 Auswertung der Daten

Die während der Simulationsstudie erstellte Auflistung aller Pfade, der im Betrachtungszeitraum verteilte Pakete durch das Paketverteilzentrum, kann im nächsten Schritt wie folgt in drei Schritten ausgewertet und analysiert werden.

- *Definition des Betrachtungszeitraumes*  
In diesem Schritt wird festgelegt, welcher Zeitraum für die Auswertung gewählt werden soll. Dieser Zeitraum wird durch Beginn und Ende des Zeitfensters definiert.

- *Anteilsmäßige Aufteilung der verbrauchten Energie einzelner Verbraucher auf alle Pakete die in dem Betrachtungszeitraum durch den jeweiligen Verbraucher gefördert, transportiert oder gehandelt wurden.*

Als Basis wird hier der Zeitanteil der einzelnen Pakete  $i$ , welcher im Fall des Verteilförderers, aufgrund verschiedener Ein- und Ausschleusungen bzw. das Auftreten von Kreisläufern<sup>6</sup>, erhebliche Differenzen zwischen den einzelnen Paketen aufweisen kann, herangezogen.

Dabei wird für jedes Paket die folgende Gleichung (Formel 1) verwendet, um den Zeitanteil des Pakets  $i$  für einen bestimmten Verbraucher  $k$  zu ermitteln. Diese Gleichung kann auf alle Verbraucher  $k$  und alle Pakete  $i$  angewendet werden.

**Formel 1:** Zeitanteil Paket  $i$  an Verbraucher  $k$

$$\Delta t_{i,k} = t_{aus,i,k} - t_{ein,i,k} [s]$$

$t_{aus,i,k}$  ... Zeitpunkt (absolut) des Austritts des Paketes  $i$  aus Wirkungsbereich des Verbrauchers  $k$

$t_{ein,i,k}$  ... Zeitpunkt (absolut) des Eintritts des Paketes  $i$  in Wirkungsbereich des Verbrauchers  $k$

Der Anteil der am Verbraucher  $k$  im Betrachtungszeitraum verbrauchten Energie des einzelnen Pakets  $i$  berechnet sich daher nach Formel 2.

**Formel 2:** Energieanteil Paket  $i$  an Verbraucher  $k$

$$E_{i,k} = \frac{\Delta t_{i,k}}{\sum_{i=1}^I \Delta t_{i,k}} \cdot E_k [Wh]$$

$E_k$  ... verbrauchte Energiemenge am Verbraucher  $k$  im Betrachtungszeitraum [Wh]

$I$  ... Gesamtanzahl der Pakete, im Wirkbereich von Verbraucher  $k$  im Betrachtungszeitraum

- *Summierung der zugeteilten Energieanteile entsprechend des jeweiligen Pfades des Paketes*

<sup>6</sup> Als Kreisläufer werden in diesem Zusammenhang jene Pakete bezeichnet, die nicht beim ersten Durchgang an der zugeordneten Endstelle ausgeschleust wurden. Der Grund dafür kann ein blockierter Ausgang oder die Notwendigkeit der manuellen Identifikation auf der NoRead-Strecke sein.

An dieser Stelle wird für jedes individuelle Paket  $i$  die Summe aller zugeordneten Energien aus den einzelnen Bereichen des Verteilzentrums gebildet. Dieser Summierungsschritt ist in Formel 3 definiert:

**Formel 3:** Zuordenbare Energie für Paket  $i$

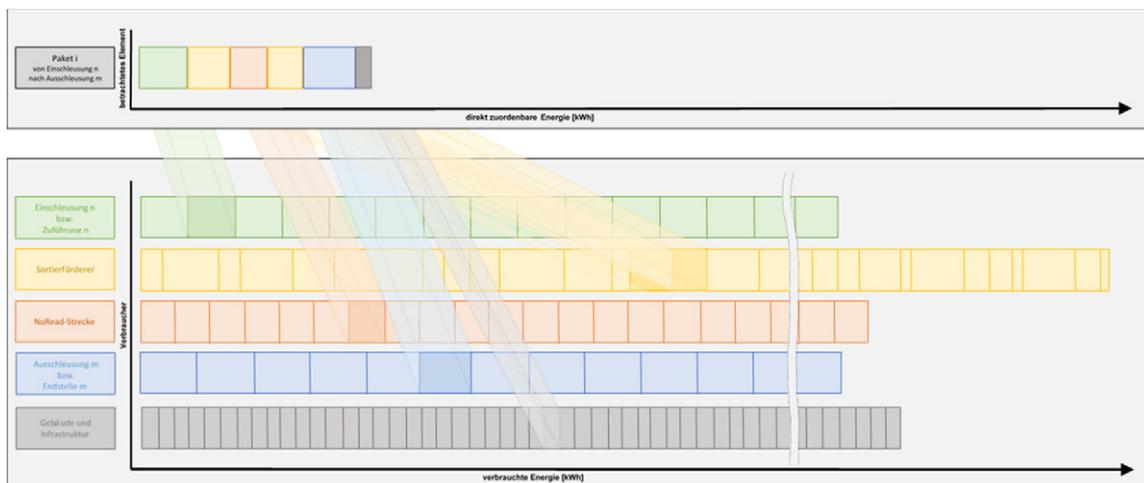
$$E_i = \sum_{k=1}^K E_{i,k} \text{ [Wh]}$$

$K$  ... Anzahl der Verbraucher in deren Wirkbereich das Paket  $i$  gehandhabt wurde

- **Weitere Auswertungen**

In diesem Schritt können weitere Auswertungen erfolgen<sup>7</sup>

In Abbildung 4 wird beispielhaft das Prinzip der Zuordnung der verbrauchten Energie zu einem fiktiven Paket aus dem Paketspektrum  $i$  dargestellt, das an der Zuführung  $n$  in das System eingeleitet, auf der NoRead-Strecke bearbeitet und an der Endstelle  $m$  wieder ausgeleitet wurde. Dabei wurde das Gebäude als eigener Verbraucher einbezogen, um die verbrauchten Energien gemäß den Festlegungen in Kapitel 2.2.2 erfassen zu können



**Abbildung 4:** Anteilsmäßige Zuteilung verbrauchter Energie einzelner Verbraucher auf Paket

Im folgenden Kapitel 3 werden die beschriebenen Prozessschritte der Methode beispielhaft auf ein fiktives Szenario innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraums angewandt, um den Ablauf und die Anwendung der einzelnen Schritte genauer zu verdeutlichen.

### 3 Exemplarische Anwendung der Methode

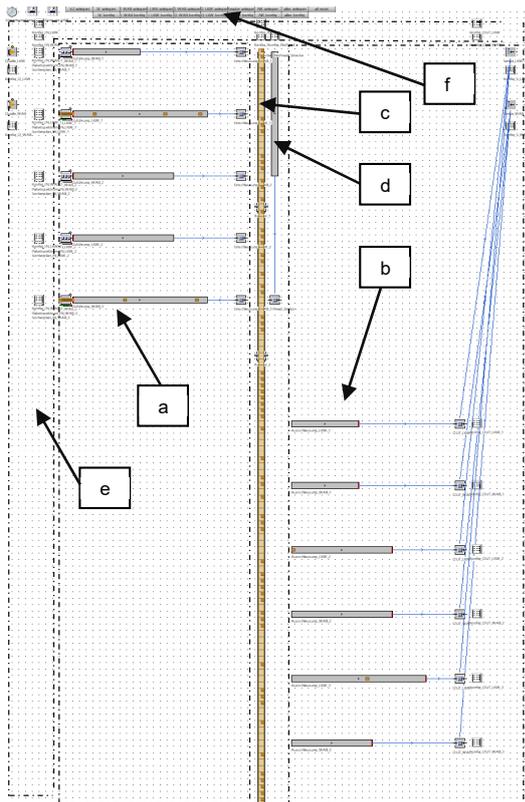
An dieser Stelle wird erwähnt, dass das Szenario durch fiktive Daten beschrieben wird. Einige Parameter sind zwar an Prozesse von realen Verteilzentren angelehnt, jedoch wurde das Parametersetting so gewählt, dass die Funktion und Anwendbarkeit anschaulich dargestellt werden können, was

<sup>7</sup> Dieser Beitrag beschränkt sich auf die grundlegende Auswertung der Simulationsdaten. Weitere statistische Analysen und Auswertungen der Daten sind als Teil der Folgeforschung geplant



### 3.1.2 Durchführung Materialflusssimulation

In diesem Schritt wird mittels der übergebenen Daten und Parameter ein ereignisorientiertes Materialflussmodell erstellt. In dieser Arbeit wird dabei die Software PlantSimulation verwendet. Das Modell wurde so aufgebaut, dass die übergebenen Parameter automatisch übernommen und angewendet werden können<sup>11</sup>. Es ist zu beachten, dass bei der Gestaltung des Layouts keine Rücksicht auf den tatsächlichen Aufbau eines realen Verteilzentrums genommen wurde, da dies keinen Einfluss auf das Ergebnis hätte. Dies betrifft insbesondere den Verteilförderer, der in diesem vereinfachten Modell als gerade Strecke modelliert wurde.



Für die Durchführung der Simulationsstudie wurde ein Zeitrahmen von acht Stunden (22:00-06:00) gewählt.

Das vereinfachte Materialflussmodell, welches in Abbildung 5 dargestellt ist, enthält folgende Elemente und Bereiche:

- Einschleusungsbereich (3x LKW, 2x WAB) → (a)
- Ausschleusungsbereich (4x LKW, 3x WAB) → (b)
- Verteilförderer inkl. Reader → (c)
- NoRead-Strecke → (d)
- Konfigurierungsbereiche (zum separaten Konfigurieren einzelner Bereiche und Elemente) → (e)
- Methodenbereich (zum Teilautomatisierten Erstellen des Modells) → (f)

**Abbildung 5:** Aufbau Materialflussmodell

Nach Beendigung der Simulation wird eine Datenbank erstellt, in der die Pfade der im Betrachtungszeitraum gehandhabten Pakete inklusive der jeweiligen Zeitstempel detailliert aufgeschlüsselt sind. Diese Datenbank wird im nächsten Schritt der Auswertung unterzogen.

### 3.1.3 Auswertung der Daten

In diesem Kapitel werden die im vorigen Schritt generierten Daten in Form einer Datenbank ausgewertet und analysiert. Zunächst werden, wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben, die Energien der einzelnen Verbraucher anteilmäßig auf die beteiligten Pakete aufgeteilt (siehe Formel 1 bis Formel 3). Anschließend werden diese Energieanteile entlang des Pfads des betrachteten Pakets summiert. Diese Auswertung wird in Abbildung 7 dargestellt.

<sup>11</sup> Dies wird vor allem in der weiterführenden Forschung relevant sein, in der es darum gehen wird, viele verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Parametereinstellungen zu modellieren und durch eine Multiparameteranalyse zu analysieren.

Im fiktiven Beispiel soll das Paket des Spektrums 2 bewertet werden. Dieses Paket wurde um 22:10 an der Einschleusung WAB 3 eingeschleust und um 22:13 an der Endstelle LKW 2 ausgeschleust.  
 12. Der Pfad dieses Pakets ist in Abbildung 6 dargestellt.

PaketSpektrum	Einschleusung	Einschleusung (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Verteilförderer (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	NoRead (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Verteilförderer #2 (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Ausschleusung	Ausschleusung (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])
Paket_3	* Modelle.Modell.IN_WAB_3	07:49 08:11 22	08:11 13:11 300			* Modelle.Modell.Ausschleusung_LKW_2	13:11 13:30 19
Paket_1	* Modelle.Modell.IN_LKW_2	12:12 12:38 26	12:28 13:28 60			* Modelle.Modell.Ausschleusung_WAB_1	13:28 13:42 14
Paket_2	* Modelle.Modell.IN_WAB_3	10:38 10:59 21	10:59 12:29 90	12:29 12:49 20	12-49 13:29 40	* Modelle.Modell.Ausschleusung_LKW_2	13:29 13-43 14
Paket_3	* Modelle.Modell.IN_WAB_3	12:30 12:51 21	12:51 13:41 50			* Modelle.Modell.Ausschleusung_WAB_2	13:41 13:55 14
Paket_2	* Modelle.Modell.IN_LKW_2	13:07 13:23 16	13:23 13:53 30			* Modelle.Modell.Ausschleusung_LKW_1	13:53 14:02 19

Abbildung 6: Pfad betrachtetes Paket

Im nächsten Schritt werden die Anteile der einzelnen Verbraucher im Zeitraum 22:00-23:00 dem fiktiven Paket zugeordnet. In diesem Beispiel sind das: *Einschleusung WAB\_3, Verteilförderer, No-Read-Strecke, Ausschleusung LKW\_2 und das Gebäude bzw. die Infrastruktur.*

Einschleusung WAB 3 (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Zeitanteil [%]	Energieanteil $E_k$ [Wh]	Ausschleusung LKW 2 (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Zeitanteil [%]	Energieanteil $E_k$ [Wh]
07:49 08:10 21	0,59%	11	12:55 13:09 14	1,09%	16
10:38 10:59 21	0,59%	11	13:13 13:27 14	1,09%	16
12:12 12:33 21	0,59%	11	13:29 13:43 14	1,09%	16
12:30 12:51 21	0,59%	11	13:58 14:12 14	1,09%	16
12:49 13:10 21	0,59%	11	15:10 15:15 14	1,09%	16

NoRead (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Zeitanteil [%]	Energieanteil $E_k$ [Wh]	Gebäude/Infrastruktur (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Zeitanteil [%]	Energieanteil $E_k$ [Wh]
08:46 09:06 23	3,29%	59	09:47 12:02 135	0,54%	54
11:43 12:02 19	2,71%	49	10:32 12:52 140	0,56%	56
12:29 12:49 20	2,86%	51	10:38 13:43 185	0,74%	74
12:33 13:00 27	3,86%	69	12:30 13:55 85	0,34%	34
13:21 13:38 17	2,43%	44	13:07 14:02 55	0,22%	22

Verteilförderer (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Zeitanteil [%]	Verteilförderer #2 (von[mm:ss]/bis[mm:ss]/ $\Delta t_i$ [s])	Zeitanteil [%]	$\Sigma$ Zeitanteil [%]	Energieanteil $E_k$ [Wh]
7:13 12:03 290	1,58%			1,58%	87
8:11 13:11 300	1,63%			1,63%	90
10:59 12:29 90	0,49%	12:29 12:49 40	0,22%	0,71%	39
12:51 13:41 50	0,27%			0,27%	15
13:10 14:00 50	0,27%			0,27%	15

Abbildung 7: Auswertung betrachtetes Paket

Insgesamt ergibt die Auswertung dieses angenommenen Szenarios für das betrachtete Paket einen zurechenbaren Energieanteil von 197 Wh. Ein Großteil dieses Anteils entfällt auf die zugerechnete Energie des Verteilförderers und der NoRead-Strecke (90 Wh).

Als Beispiel für eine weiterführende Untersuchung wird diese Analyse nun für alle Pakete durchgeführt, die dem Paketspektrum 2 zuzuordnen sind und im Zeitraum von 22:00 bis 23:00 im gesamten System behandelt wurden. Die Ergebnisse sind in einem Säulendiagramm in Abbildung 8 dargestellt.

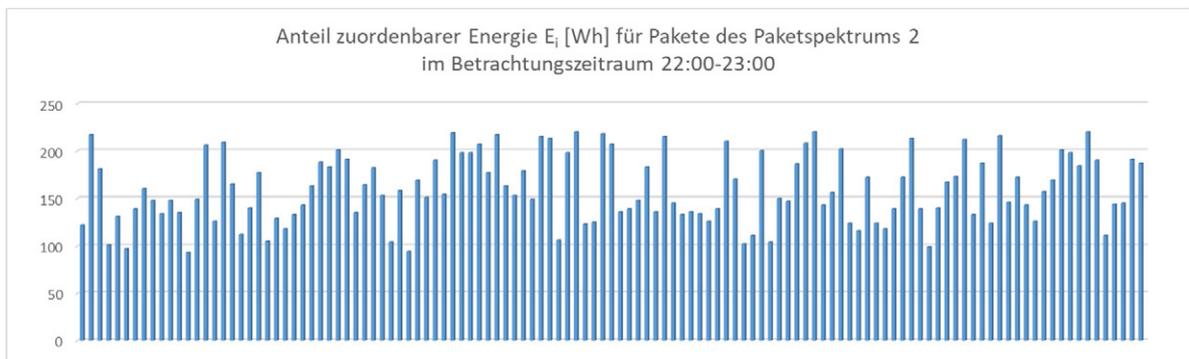


Abbildung 8: Auswertung Paketspektrum 2

12 Die in den Tabellen Tabelle 1 und Tabelle 2 vermerkten Zeitpunkte folgen dem Format [mm:ss] ausgehend vom Beginn der Simulationszeit (in diesem Fall 22:00). Die hier erwähnte absolute Zeit 22:10 entspricht dem Zeitstempel 10:38 und die absolute Zeit 22:13 entspricht dem Zeitstempel 13:43

Für alle Pakete des Paketspektrums 2, die im gesamten System während des betrachteten Zeitraums behandelt wurden, ergibt sich im arithmetischen Mittel ein Betrag von 159 Wh. Dieser Wert dient lediglich zur groben Einordnung des Ergebnisses im Vergleich zum Wert der Energiezuordnung für das spezifisch untersuchte Paket, dessen Pfad in Abbildung 6 beschrieben wurde. Die Schwankungen der Werte für die Pakete des Paketspektrums 2 können auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden:

- Transport und Manipulation von Paketen auf der NoRead-Strecke.
- Unterschiedliche Wege auf dem Verteilförderer aufgrund der Anordnung der Zuführlinien und Endstellen.
- Kreisläufer (siehe Fußnote 6).
- Unterschiedliche Auslastung der Verbraucher zu verschiedenen Zeitpunkten.

Für genauere statistische Auswertungen wie die Abschätzung der Verteilung und die Ermittlung von Erwartungswerten wird auf etwaige Folgeforschung verwiesen

### 3.1.4 Ergebnisinterpretation

Die Auswertung zeigt, dass die Varianz der zugerechneten Energiemengen einzelner Pakete hauptsächlich auf die Verweildauer im System zurückzuführen ist, die wiederum stark davon abhängt, welche Strecke das Paket auf dem Verteilförderer zurücklegt und ob es sich gegebenenfalls um einen Kreisläufer handelt. Zusätzlich scheint die Auslastung der einzelnen Elemente im betrachteten Zeitrahmen einen erheblichen Einfluss auf die Energieanteile der spezifischen Pakete zu haben. Durch die ereignisdiskrete Materialflusssimulation konnten die Auswirkungen verschiedener Parameter, die den Weg eines Pakets durch das Paketverteilzentrum definieren (Position der Zuführlinien und Endstellen entlang des Verteilförderers, Leserate usw.) sowie die Wechselwirkungen zwischen den Paketen (Überlastungsbedingte Blockierung von Endstellen, Schwankende Auslastung des Verteilförderers usw.) abgebildet werden.

Physikalische Effekte wie beispielsweise der Einfluss der Masse einzelner Pakete oder Höhenunterschiede im System wurden in dem Modell nicht berücksichtigt und können daher nicht mit dem vorliegenden Modell abgeschätzt werden<sup>13</sup>. Außerdem wurde in der vorliegenden Modellierung eine Normalverteilung für die Ankunftsrate der Transportmittel (LKW und WAB) angenommen. Diese Annahme dient dazu, die grundlegende Funktionsweise der Methode aufzuzeigen. Für weitere Untersuchungen ist es jedoch notwendig, die zeitliche Auslastung des Systems realistischer durch entsprechende Verteilungen zu modellieren

## 4 Outlook und Folgeforschung

Im folgenden Kapitel wird abschließend eine Übersicht über mögliche zukünftige Forschungsarbeiten und Weiterentwicklungen der Methode gegeben.

---

<sup>13</sup> Diesbezüglich wird auf die Folgeforschung verwiesen, in der dieses Thema unter anderem aufgegriffen wird

## 4.1 Verifizierung und Validierung

Da das Ziel dieser Arbeit darin besteht, den Ansatz der Methode anschaulich zu präsentieren, wurden für die beispielhafte Anwendung (siehe Kapitel 3) ausschließlich fiktive Werte verwendet. Diese Werte wurden jedoch so gewählt, dass sie realen Systemen und Anlagen ähneln. Dabei wurde stets auf eine realitätsnahe Darstellung geachtet. Aufgrund dessen sind die Ergebnisse dieses Beitrags nur eingeschränkt aussagekräftig. Ein wichtiger Schritt zur Weiterentwicklung der Methode ist daher die Verifikation und Validierung des Modells anhand realer Parameter und Daten.

## 4.2 Statistische Auswertung

Weitere Möglichkeiten zur Auswertung der in Kapitel 2.3.2 generierten Daten ergeben sich aus der potenziellen Ermittlung statistischer Kennwerte. Dazu gehört die Berechnung von Verteilungsfunktionen und Erwartungswerten. In weiteren Schritten könnte eine Anforderungsanalyse für eine repräsentative Stichprobe durchgeführt werden, was letztendlich zu einer Verkürzung der Rechenzeit während der Materialflusssimulation führen kann.

## 4.3 Durchführung einer Multiparameteranalyse

Eine weitere wichtige Anwendungsmöglichkeit der Methode liegt im Potenzial der Durchführung einer Multiparameteranalyse. Diese Analyse kann dazu dienen, zu ermitteln, wie verschiedene Eingangsparameter das Ergebnis der Simulationsstudie beeinflussen und welche Wechselwirkungen zwischen diesen Parametern bestehen.

## 4.4 Variation des Betrachtungszeitraumes

In dieser Arbeit wurde ein definierter Betrachtungszeitraum von einer Stunde für die Auswertung der Ergebnisse gewählt. Es wäre jedoch interessant, in weiteren Untersuchungen zu prüfen, wie sich eine Veränderung dieses Zeitraums (Verkürzung oder Verlängerung) oder die Anwendung flexibler Betrachtungszeiträume auf die Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse auswirken könnte.

# 5 Literaturverzeichnis

- [ABB20] Amaral, R.E.C.; Brito, J.; Buckman, M.; Drake, E.; Ilatova, E.; Rice, P.; Sabbagh, C.; Voronkin, S.; Abraham, Y.S., Waste Management and Operational Energy for Sustainable Buildings: A Review. Sustainability 2020, 12, 5337. <https://doi.org/10.3390/su12135337>
- [BOG16] Bogner, J., Graue Energie, In: Konferenzband: Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld, Hrsg. Prof Maik Sippel, Konstanz, 2016
- [DEC21] Deckert, C., CSR und Logistik Spannungsfelder Green Logistics und City-Logistik, Publisher Deckert, C., Springer Gabler, Berlin (2021) ISBN 978-3-662-63569-8
- [DIN18] DIN EN ISO 50001:2018: Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2018); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2018
- [DIN22] DIN EN ISO 14083:2022-03. Treibhausgase - Quantifizierung und Berichterstattung über Treibhausgasemissionen von Transportvorgängen (ISO/DIS 14083:2022)
- [DIN12] DIN EN 16258:2013-03, Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)

- [EEA22] European Environment Agency: Transport and environment report 2022; Digitalisation in the mobility system: challenges and opportunities; EEA Report No 07/2022; 2022
- [FSM16] Finke, J.; Sumpf, J.; Maximow, I., Strategien zur Reibungsminderung und deren Auswirkung auf die Energieeffizienz von Stetigförderern mit Zug- und Tragmittel. Logistics Journal : Proceedings, Vol. 2016.
- [FEM17] Federation Europeenne de la Manutention (FEM) (Hrsg.) Hrsg.: FEM Richtlinie Nr. 9.865: Energy consumption – determination methods (ECoDeMISE). Calculation, measurement and evaluation methods of Intralogistics Systems and material handling equipment. VDMA - Fachverband Fördertechnik und Intralogistik, Frankfurt am Main, 2017
- [JSN16] Joerss, M.; Schröder, J.; Neuhaus, F.; Klink, C.; Mann, F., Parcel delivery: The future of last mile, In: Travel, Transport and Logistics, McKinsey & Company, 2016
- [LSB24] Landschützer, C.; Steinkellner, H.; Beumer, C., Sortier- und Verteilsysteme, In: K. Furmans et al. (Hrsg.), Handbuch Logistik, Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2024 [https://doi.org/10.1007/978-3-642-54476-7\\_32-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-54476-7_32-1)
- [MAR23-1] BRANCHENRADAR.com Marktanalyse GmbH, Anzahl der von KEP-Diensten transportierten Pakete in Österreich von 2018 bis 2022 und Prognose für 2023 und 2024 (in Millionen), In: Statista.com, Zugriff am 16. Februar 2024
- [MAR23-2] BRANCHENRADAR.com Marktanalyse GmbH, Umsatz der KEP-Dienste in Österreich von 2018 bis 2022 und Prognose für 2023 und 2024 (in Millionen Euro), In: Statista.com. Zugriff am 16. Februar 2024
- [OEP23] Österreichische Post, Anzahl der Paketsendungen der Österreichischen Post AG von 2011 bis 2022 (in Millionen), In: Statista.com, Zugriff am 16. Februar 2024
- [RD13] Rüdiger, D.; Dobers, K., Strommessungen an Logistikstandorten zur Ermittlung von Energietreibern und Einsparpotentialen; In: Schenk, M.; Zadek, H., Magdeburger Logistiktage, Volume 18, Magdeburg, 2013
- [SH16] Stöhr, T.; Hafner, N., Potentiale und Möglichkeiten einer Energieeffizienzsteigerung von Stückgutstetigförderern durch optimierte Antriebssystemauswahl. In: Logistics Journal, 2018.
- [SH22] Schrampf, J., Hartmann, G.: Energiebedarf in Lieferketten: Ein Screening von exemplarischen Supply Chains zur Bestimmung von Energieverbrauchswerten, Publisher: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien (2022)
- [UBA20] Umweltbundesamt, Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Güterverkehrs, <https://www.umweltbundesamt.de/>, Zugriff am 23.03.24
- [UMU19] Umudum, P., Die letzte Meile – Königsdisziplin der Logistik, In: Logistik – die unterschätzte Zukunftsindustrie, Publisher Voß, P.H., Springer Gabler, Dortmund, 2019
- [ZMR20] Zimmermann, T., Memelink, R., Rödiger, L., Reitz, A., Pelke, N., John, R., Eberle, U.: Die Ökologisierung des Onlinehandels - Neue Herausforderungen für die umweltpolitische Förderung ein blanes nachhaltigen Konsums, Publisher: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020