VEREIN NETZWERK LOGISTIK ÖSTERREICH

Institut für Technische Logistik

TU Graz

Logistics at its best – Krisenfest mit Wissen und Innovation

Tagungsband 2025, Graz

27. und 28.05.2025

LogistikWerkstatt Graz

Logistics at its best – Krisenfest mit Wissen und Innovation

Tagungsband 2025, Graz

27. & 28. Mai 2025

Herausgeber:
Institut für Technische Logistik, Technische Universität Graz
Domenik Kaever
Christian Landschützer

Redaktion:
Petra Gasser
Christian Landschützer

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

Veranstaltung:
Logistikwerkstatt Graz 2025
Technische Universität Graz
Rechbauerstraße 12
Aula
8010 Graz

2025 Verlag der Technischen Universität Graz
www.tugraz-verlag.at

Reihe:
Logistik Werkstatt Graz / ISSN 2411-3735

978-3-99161-036-6
DOI: 10.3217/978-3-99161-036-6

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.

Vorwort

Was macht Logistik krisenfest – in einer Zeit, in der Unsicherheiten zur neuen Normalität geworden sind? Wie können wir als akademische und industrielle Gemeinschaft mit Wissen, Reflexionsfähigkeit und technologischer Innovationskraft robuste, resiliente und zugleich zukunftsfähige Systeme gestalten? Diesen grundlegenden Fragen widmet sich die Logistikwerkstatt Graz 2025, heuer unter dem Leitmotiv „Logistics at its best – Krisenfest mit Wissen und Innovation“.

Die vergangenen Jahre haben deutlich gemacht, wie verletzlich selbst hochentwickelte logistische Strukturen sein können – sei es durch globale Störungen, volatile Marktbedingungen, disruptive technologische Entwicklungen oder neue regulatorische Rahmenbedingungen. Dazu kommen langfristige und gesellschaftlich unabdingbar notwendige Ziele wie die Dekarbonisierung, die Steigerung der Liefertreue und die Gestaltung humanzentrierter Arbeitsplätze. Inmitten dieser Herausforderungen sehen wir es als Kernaufgabe der akademischen Logistikforschung, fundiertes Systemverständnis mit praxisnaher Problemlösungskompetenz zu verknüpfen. Wissenschaftlich fundiertes Denken, vernetztes Forschen und kollaboratives Entwickeln sind mehr denn je gefordert – nicht nur im Labor oder auf dem Papier, sondern in direkter Wechselwirkung mit der industriellen Anwendung.

Die Logistikwerkstatt Graz versteht sich auch 2025 als offenes Forum für diesen Dialog. Sie bringt Nachwuchswissenschaftler:innen mit etablierten Expert:innen aus Forschung und Industrie zusammen, fördert den Austausch über aktuelle Fragestellungen und eröffnet Räume für Kontroversen, neue Perspektiven und gemeinsame Lösungsansätze. Besonders erfreulich ist die thematische Breite des diesjährigen Programms: Von innovativen AGV/AMR-Konzepten über nachhaltige KEP-Logistik, intelligente Lagertechnik, Digitalisierungstrends im E-Commerce bis hin zu maschinellem Lernen und Simulationsmethodik reicht das Spektrum der Beiträge. Dass diese Vielfalt von sowohl akademischen als auch industriellen Akteur:innen gestaltet wird, spiegelt die besondere Stärke dieser Veranstaltung wider.

Ein wesentliches Ziel der diesjährigen Logistikwerkstatt ist es, den Blick nicht nur auf technologische Neuerungen zu richten, sondern auch die strukturellen, kulturellen und methodischen Voraussetzungen zu diskutieren, die notwendig sind, um Innovationen wirksam zu machen. Dazu zählt auch die Frage, wie wir Ausbildung, Forschung und Transferprozesse gestalten müssen, um resilientere logistische Systeme im Sinne gesellschaftlicher Verantwortung zu ermöglichen. In diesem Kontext freuen wir uns besonders über die Teilnahme zahlreicher Hochschulen, Forschungsinstitute und Studierender, die mit neuen Impulsen, wissenschaftlicher Tiefe und frischer Perspektive zur Tagung beitragen.

Nicht zuletzt lebt die Logistikwerkstatt von der persönlichen Begegnung, vom informellen Austausch zwischen Vortrag und Posterpräsentation, beim Kaffee oder beim abendlichen Zusammensitzen. Sie lebt von der Neugier, voneinander zu lernen, Positionen zu hinterfragen und gemeinsam neue Ideen zu entwickeln.

Ein besonderer Dank gilt unseren Sponsoren, die allesamt zu den Branchenprimi der Logistik bzw. Intralogistik zählen, ohne deren großzügige Unterstützung diese Veranstaltung nicht möglich wäre. Wir bedanken uns herzlich bei:

- AutoStore System GmbH
- cellumation GmbH
- Österreichische Post AG
- Caljan GmbH
- Invenium Data Insights GmbH
- KNAPP AG
- Körber Supply Chain GmbH
- ligenium GmbH
- LTW Intralogistics GmbH
- MotionMiners GmbH
- BEUMER Group GmbH & Co. KG
- SSI SCHAEFER AUTOMATION GMBH
- utb Laser und Vermessungstechnik GmbH

Mit kollegialen und freundschaftlichen Grüßen

Christian Landschützer
für das Organisationsteam der Logistikwerkstatt Graz 2025.

Sponsoren

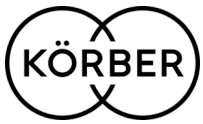
AutoStore

cellumation

CALJAN

INVENIUM
DATA INSIGHTS

KNAPP


KÖRBER

ligenium
next level productivity

LTW
INTRALOGISTICS

MOTIONMINERS

BEUMERGROUP

SSI SCHÄFER

HP SitePrint
powered by
utb
LASER + VERMESSUNGSTECHNIK

Programm 27.05.2025

08:30	Frühstückskaffee u. Networking
09:00	Begrüßung
09:30	StartUp 01 KI in der operativen Transportplanung. Stefan Kremsner, S2data 02 Making industrial complexity visible. Thomas Kaufmann, Patrick Gröller, EXARON 03 Holz im Maschinenbau – Chancen und Grenzen im Produktionsumfeld. Sven Eichhorn, ligenium - TU Chemnitz
10:30	Kaffeepause u. Networking Poster- und Industrieausstellung
11:00	Fahrerlose Transportsysteme 04 Die Logistik der Zukunft. Franz Leitner, Österreichische Post AG 05 Intelligente Mobilität: Innovative Ansätze für kooperierende AGV und AMR. Robert Schulz, Universität Stuttgart 06 #LeanLogistik und Automation am LKH-Univ. Klinikum Graz. Michael Kazianschütz, LKH Graz
12:00	Mittagessen u. Networking Poster- und Industrieausstellung
13:00	KEP und e-commerce I 07 Von der Idee bis zum Industrieeinsatz: Der celluveyor im Einsatz rund um die Welt. Hendrik Thamer, Cellumation 08 Nachhaltigkeit im Fokus: LCA und EPD in Produkten und Systemen. Tobias Kucharz, Körber Supply Chain Parcel Logistics 09 BG Pouch System mit Auto-Drop – Wie es Verteilzentren verändert. Sandra Lückmann, BEUMER GROUP
14:00	KEP und e-commerce II 10 Automatisch Be- & Entladen: Trends, Herausforderungen und Lösungskonzepte. Matthias Fritz, Eduard Arendt, Caljan 11 Konzeptentwicklung für den Transport von Schneidgut an Bergbaumaschinen – Eine effiziente Kombination von Simulation und Test. Hubert Kargl, Sandvik
14:40	Kaffeepause u. Networking Poster- und Industrieausstellung
15:10	Lagertechnik 12 Die Zukunft gestalten mit intelligenten Lagerprozessen. Dynamics 365 F&O und das xalax Autostore-Modul – Eine perfekte Kombination. René Pachler, xalax 13 Rekuperierende Regalbediengeräte - Zukunftsweisende Technologie oder doch nur Marketing? Michael Schedler, LTW 14 KLFT @ IKP – Ein Einblick in die Logistikforschung an der Technischen Universität Wien. Philipp Trost, Technische Universität Wien
16:10	15 Motivationsvortrag: Michael Kemeter
18:00	Abendveranstaltung: aiola upstairs: Schlossberg 2, 8010 Graz

Programm 28.05.2025

08:30	Frühstückskaffee u. Networking
09:00	Resümee
09:15	Alles Logistik in Graz 16 Couchtalk *Jörg Schweiger, FH Joanneum* *Uwe Brunner, FH Joanneum* *Wolfgang Wurzer, Customer Experts* *Christian Landschützer, Institut für Technische Logistik der TU Graz* 17 Mastering logistics challenges with Robotics. Roman Schnabl, Knapp AG 18 Systemintegration als Weg zum Erfolg. Robert Reithofer, SSI Schäfer
10:30	Kaffeepause u. Networking Poster- und Industrieausstellung
11:00	KI & Simulation I 19 Potenzial von Mobilfunkdaten in der Logistik. Michael Cik, Invenium 20 ACT ON FACTS -Datenbasierte Prozessoptimierung mit Motion-Mining®: Effizienzmeilensteine erreichen. Sebastian Heydorn, MotionMiners 21 Simulation Testing Methods: A Key Tool in Logistics Process Development. Péter Tamás, Univer-sity of Miskolc
12:00	Mittagessen u. Networking Poster- und Industrieausstellung
13:00	KI & Simulation II 22 Logistik mal anders – Kilovolt statt Kilogramm. Wolfgang Troppauer, Mosdorfer, Christian Land-schützer, ITL 23 SIMPLIFY OR DIE: DIE NEUE REGEL DER INDUSTRIE. Warum die Einfachheit der Lösung der Schlüssel der Zukunft ist. Peter Stelzer, ivii 24 Methoden des bestärkenden Lernens für die Produktionsablaufplanung. Sebastian Lang, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 25 Entwicklung intelligenter, technischer Logistiksysteme durch den Einsatz Cyberphysischer Zwil-linge. Moritz Roidl, FLW, Technische Universität Dortmund
14:20	Zusammenfassung und Abschluss
14:30	Kaffeepause u. Networking
15:00	PhD & Post-Doc Program @ ITL

Inhaltsverzeichnis

1. Referent:innen der Logistikwerkstatt Graz 2025 1

2. Tagungsbeiträge der Logistikwerkstatt Graz 2025 15

3. KI in der operativen Transportplanung 16
Stefan Kremsner

4. Making industrial complexity visible 26
Thomas Kaufmann, Patrick Gröller

5. Holz im Maschinenbau – Chancen und Grenzen im Produktionsumfeld 41
Sven Eichhorn

6. Die Logistik der Zukunft. 51
Franz Leitner

7. Intelligente Mobilität: Innovative Ansätze für kooperierende 62
Robert Schulz

8. Von der Idee bis zum Industrieeinsatz: Der celluveyor im Einsatz rund um die Welt 82
Hendrik Thamer

9. Nachhaltigkeit im Fokus: LCA und EPD in Produkten und Systemen 97
Tobias Kucharz

10. BG Pouch System mit Auto-Drop – Wie es Verteilzentren verändert 109
Sandra Lückmann

11. Automatisch Be- & Entladen: Trends, Herausforderungen und Lösungskonzepte 120
Matthias Fritz, Eduard Arendt

12. Konzeptentwicklung für den Transport von Schneidgut an Bergbaumaschinen – Eine effiziente Kombination von Simulation und Test 134
Hubert Kargl

13. Die Zukunft gestalten mit intelligenten Lagerprozessen. Dynamics 365 F&O und das xalax Autostore-Modul – Eine perfekte Kombination 147
René Pachler

14. A Rekuperierende Regalbediengeräte - Zukunftsweisende Technologie oder doch nur Marketing? 161
Michael Schedler

15. Systemintegration als Weg zum Erfolg 175
Robert Reithofer

16. Potenzial von Mobilfunkdaten in der Logistik 182
Michael Cik

17. ACT ON FACTS -Datenbasierte Prozessoptimierung mit Motion-Mining®: Effizienzmeilensteine erreichen 193
Sebastian Heydorn

18. Simulation Testing Methods: A Key Tool in Logistics Process Development 203
Péter Tamás

19. Logistik mal anders – Kilovolt statt Kilogramm 216
Wolfgang Troppauer, Christian Landschützer

20. SIMPLIFY OR DIE: DIE NEUE REGEL DER INDUSTRIE. Warum die Einfachheit der Lösung der Schlüssel der Zukunft ist 223
Peter Stelzer

21. Methoden des bestärkenden Lernens für die Produktionsablaufplanung 238
Sebastian Lang

22. Entwicklung intelligenter, technischer Logistiksysteme durch den Einsatz Cyberphysischer Zwillinge 257
Moritz Roidl

23. Posterbeiträge der Logistikwerkstatt Graz 2025 269

24. CBE4I. Clean bioenergy for industry 270
Alexander Ortner-Pichler, Christian Landschützer, Max Cichocki

25. FutureWoodTrans: Sustainable Autonomous Forestry Logistics 275
Alexander Ortner-Pichler, Christian Landschützer

26. Soziale Nachhaltigkeit in Paketverteilzentren. Methodische Perspektiven zur quantitativen Bewertung und Integration in Planung sowie Betrieb 280
Harald Steinkellner, Domenik Kaever

27. Reduzierung des Aufwandes zur Erstellung von Ereignisdiskreten Simulationsmodellen durch Automatisierung der Modellgenerierung 285
Armin Lozic, Harald Steinkellner, Domenik Kaever

28. ‘indicAIte’: A mobile, AI-powered condition monitoring system for fault detection in roller conveyors 290
Michael Schadler

29. Simulation-Based Optimization of the MC350 Continuous Miner Undercarriage 295
Patrick Kröpfl, Alexander-Ortner Pichler, Christian Landschützer, Andreas König, Karl Irregger

30. Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: DEM-Based Analysis of an innovative Loading Concept 300
Patrick Kröpfl, Gabriel Leitner, Alexander-Ortner Pichler, Christian Landschützer, Hubert Kargl

31. Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: Methodological Design and Mobility Concepts 305
Gabriel Leitner, Patrick Kröpfl, Alexander-Ortner Pichler, Christian Landschützer, Hubert Kargl

32. Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: Kinematic and Kinetic Analysis 310
Patrick Kröpfl, Gabriel Leitner, Alexander-Ortner Pichler, Christian Landschützer, Hubert Kargl

33. Virtual Bulk Handling: Simulating Non-Rigid Parcel Flows for CEP Automation 315
Dominik Stadlthanner, Gabriel Leitner, Harald Steinkellner

Referent:innen der Logistikwerkstatt Graz 2025

Dr.

Stefan Kremsner

- CEO bei S2data GmbH
- **Motto:** „Machen ist wie wollen, nur krasser.“

Dr.-Ing.

Sven Eichhorn

- seit 2024: Leiter Forschung & Technologie, ligenium GmbH, Chemnitz
- 2018-2024: Leiter Fertigung & Spezialprojekte, ligenium GmbH, Chemnitz
- 2018: Mitgründung der ligenium GmbH in Chemnitz
- seit 2013: Forschungstransfer „Holz im Maschinenbau”, Schwerpunkt Logistik
- 2012: Promotion zum Dr.-Ing., Themenfeld: Berechnung von Holz im Maschinenbau
- seit 2007: Leiter der Forschungsgruppe: „Anwendungstechnik erneuerbarer Werkstoffe (AEW)“ an der TU Chemnitz, Professur Fördertechnik
- seit 2006: wiss. Mitarbeiten an der TU Chemnitz, Professur Fördertechnik, Themenfeld: Holz im Maschinenbau
- 2000-2006: Maschinenbaustudium an der TU Chemnitz, incl. Abschluss: Dipl.-Ing., Diplomarbeit im Themenfeld: Holz im Maschinenbau
- 1996-2000: Berufsausbildung incl. Abschluss: Konstruktionsmechaniker Metall – und Schiffbautechnik mit anschließender Berufstätigkeit bei mg engineering Stahlbau Plauen GmbH.
- **Motto: „**Auf dem Holzweg zu sein, heißt einen Weg zu kennen, der zum Ziel führt.”

Thomas Kaufmann

- Co-Founder & CEO EXARON GmbH

Patrick Gröller

- Co-Founder & CTO EXARON GmbH

Ing.

Franz Leitner

- Geschäftsfeldleitung Logistikzentren & Transport bei der Österreichischen Post AG
- **Motto:** „Mit Ausdauer, Zielstrebigkeit und Teamgeist zum Erfolg – im Business als auch im Sport!“

Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Robert Schulz

- Institutsleiter am Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart

Dipl. KHBW

Michael Kazianschütz, MBA, MSc

- Bereichsleiter Wirtschaft / Logistik und Leiter Stabsstelle Supply Chain Management am LKH-Univ. Klinikum Graz
- **Motto:** „Für jedes Problem gibt es eine Lösung.“

Dr.-Ing.

Hendrik Thamer

- CEO bei cellumation GmbH
- **Motto:** „If you have a problem which you can solve with action, you don´t have a problem.“

Tobias Kucharz

- Product Lifecycle Management bei Körber Supply Chain Logistics GmbH
- Conveying & Sustainability
- **Motto:** „Work smarter not harder!“

Sandra Lückmann

- Head of Sales CEP bei der BEUMER Maschinenfabrik GmbH & Co. KG
- Aufgabenbereich: Design und Vertrieb von Intralogistiklösungen, Partner Account Management, sowie Business Development,
- **Motto:** „Wenn man aufhört zu lernen, hört man auf zu wachsen.“

Dipl.-Ing. Dr.techn.

Matthias Fritz

- Product Manager bei CALJAN Austria GmbH

Eduard Arendt

- Account Manager bei CALJAN GmbH

Hubert Kargl

- Manager Technology and Concept Development bei der Sandvik Mining and Construction G.m.b.H.

René Pachler, MSc

- Sales Manager bei der xalax GmbH
- **Motto:** „Die Ideen von heute sind die Innovationen von morgen.“

DI Dr.techn.

Michael Schedler

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

Dipl.-Ing. Dr.

Philipp Trost

- Universitätsassistent an der Technischen Universität Wien
- **Motto:** „Forschung anwendungsnah zu verstehen. Lösungen für die Probleme der Industrie zu finden anstatt Probleme zu schaffen, die gar keine mehr sind, nur um eine Aufgabe zu haben.“

Michael Kemeter

- Professional slackliner / climber / base jumper & mental coach

Roman Schnabl, DI (FH)

- Vice President Product Management bei der KNAPP AG
- Kernkompetenzen:
    - Langjährige Erfahrung in Material Handling und Intralogistik
    - Produktmanagement, Innovationen und Marktanalysen
    - Experte für Robotik und Automatisierung
- **Motto:** „Innovation is a tradition at KNAPP, which is why we work hard to ensure that innovative products are available for industry solutions that continue to shape the industry.“

Ing.

Robert Reithofer

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

Dr.

Michael Cik

- Co-Founder & Chief Scientific Officer bei der Invenium Data Insights GmbH
- **Motto:** „Sustainable influence on future mobility”

Sebastian Heydorn

- Sales bei der MotionMiners GmbH
- **Motto:** „Ich unterstütze Logistik- und Produktionsverantwortliche dabei, ihre manuellen Prozesse zu analysieren und zu optimieren."

Prof. Dr.

Péter Tamás

- Full Professor, Director of the Institute of Logistics, and Vice Dean for Economic and Development Affairs.
- Responsible for teaching, academic leadership, research, and industrial collaboration in logistics process development, simulation, and digitalization.
- **Motto:** „Turning logistics complexity into clarity — through simulation, data, and innovation"

DI(FH)

Wolfgang Troppauer, MBA

- Innovation Director bei der Mosdorfer GmbH
- aktives Mitglied in verschiedenen Komitees der CIGRE, sowie im österreichischen Normungsausschuss L1 für Hochspannungsleitungen
- **Motto:** „Wer noch nie gescheitert ist, hat noch nie etwas Verrücktes probiert!"

Peter Stelzer, BKKA Techn, MBA

- Geschäftsführung ivii GmbH
- **Motto:** „REDEFINING REALITY"

Jun.-Prof. Dr.-Ing.

Sebastian Lang

- Juniorprofessur für KI-Anwendung in Produktion und Logistik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Dr.-Ing.

Moritz Roidl

- Oberingenieur, Entwicklung intelligenter System der Intralogistik, Multiroboter Systeme an der TU Dortmund – Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen

Tagungsbeiträge der Logistikwerkstatt Graz 2025

KI in der operativen Transportplanung

Stefan Kremsner

S2data

Logistikwerkstatt Graz

KI in der operativen Transportplanung

Dr. Stefan Kremsner

S2data

Der beste Transport ist derjenige, der nicht stattfinden muss.

3

Status Quo

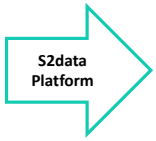
S2data

Probleme der Logistik in der Produktion

- ✕ **Unausgelastete Transporte** & feste Liefertage
- ✕ **Fehlende Transparenz** zw. Beschaffung & Logistik
- ✕ **Fachkräftemangel** & hohe Komplexität

- ✓ **Dynamische** Laderaumoptimierung
- ✓ **Digitalisierung** der Transportplanung
- ✓ **Automatisierung** der Material- & Transportplanung

Abteilungen verfolgen eigene Ziele



Gemeinsames Ziel: Supply Chain Sweetspot

Optimierung auf Basis geteilter Daten

S2data

Anwendungsbeispiele

5

Use Case Automotive Tier-1

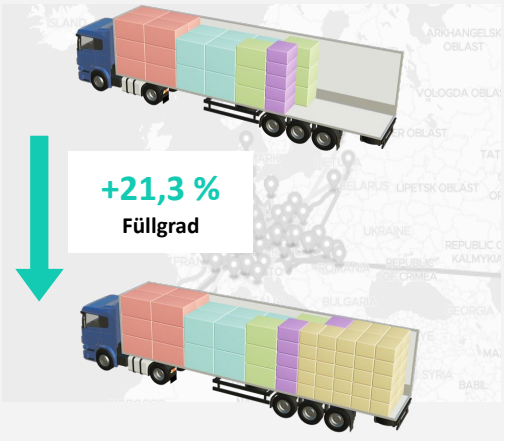
S2data

Yanfeng spart jeden 5. Transport

- **Ausgangssituation**
  - Statische und manuelle Transportplanung
  - Spezifische Verpackungsregeln
- **S2data Lösung**
  - Tägliche Optimierung von FTLs, LTLs und Milkruns durch Vorziehen von Bedarfen
  - Strategisches Netzwerk wird taktisch und operativ voll ausgenutzt
  - Optimierung von Laderaum, Tarif, Lager & Produktion

Yanfeng

Auslastung – 70.9 %



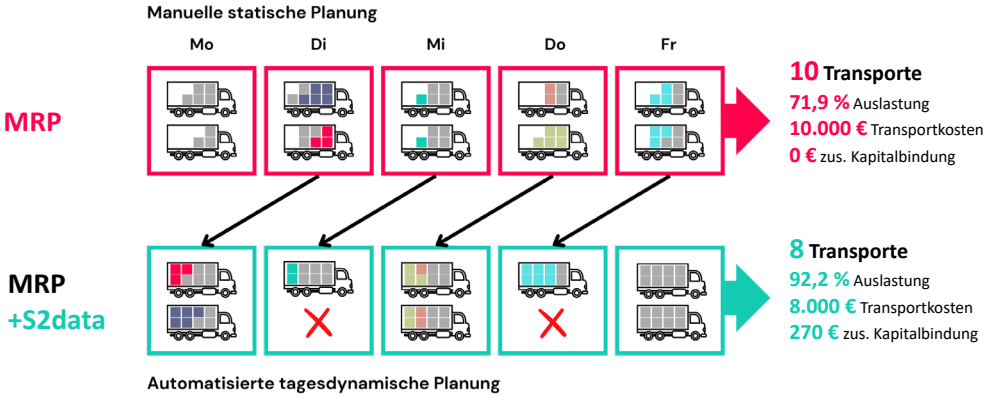
Auslastung – 92.2 %

6

Integrierte Material- und Transportplanung

S2data

Frühzeitige Optimierung mit smarter Konsolidierung



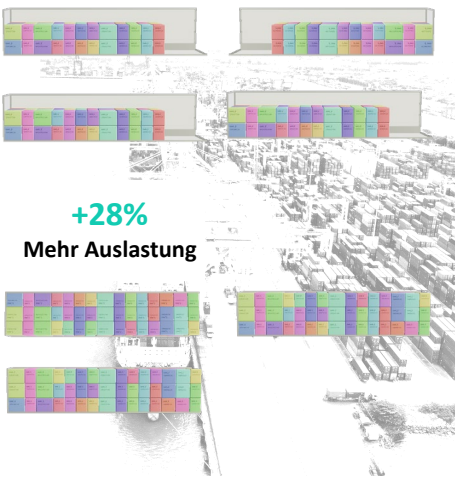
7

Use Case 3PL Seefracht-Optimierung

S2data

Taktische Planung der 20ft/40ft Container und optimierte Beladung

- +28%-ige Steigerung Containerauslastung
- Vorhersage der Containernachfrage
- Zuweisung der tatsächlichen Ladungen
- Erhalt der vollständigen Sendungen

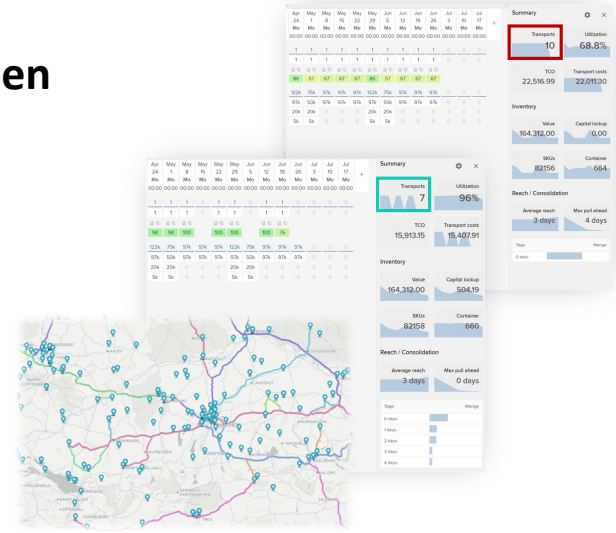


Use Case Automotive OEM

S2data

OEM spart bis zu 20% Kosten und CO2-Emissionen

- Mehrfache Entladung an verschiedenen Docks
- Unterschiedliche Timeslots
- Vollständig mit SAP integriert
- Tagesdynamische Materialsteuerung
- Lieferantenfreigabe-Loop
- TCO: Transportkosten vs. Kapitalbindung

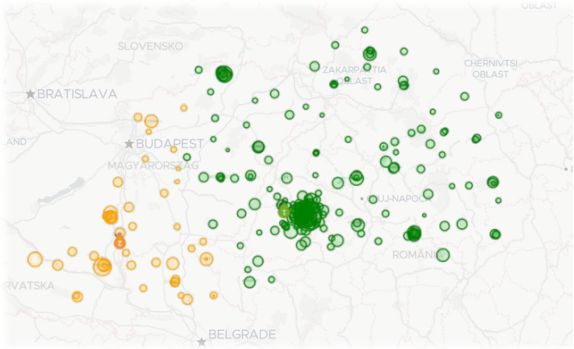


Use Case Retail

S2data

Strategische/taktische Optimierung der Distribution

- Einsparungen von 17.5% der Frachtkosten
- Szenarien und Auswertungen der Warenströme
- Optimierte Supply-Chain-Struktur
  - Planung und Standortbestimmung eines neuen Crossdocks für kürzere Distributionswege
  - Tarifoptimierung von LTL-Sendungen zu Milkruns
  - Optimierte Flottenzusammensetzung
  - Saisonale Rahmentouroptimierung



Die Hebelwirkung der KI

S2data

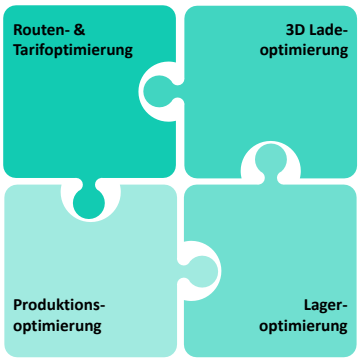
KI für komplexe Planung

Tarifstrukturen, Verkehrsmittel, multimodaler Verkehr, stochastische Reisezeiten, fahrzeugabhängige Fahrverbote, Personalplanung und Ruhezeiten, Tankkosten, Ladezeiten für E-Fahrzeuge, ...

> 2^{30} Parameter-Kombinationen

> 2^{40} Parameter-Kombinationen

Losgrößen, Aufträge, Freigaben und Fristen, Maschinenkapazitäten, Personalverfügbarkeit, Materialverfügbarkeit, Umrüstzeiten, Durchlaufzeiten, ...



Maße, Gewicht, Stapelbarkeit, Mischpaletten, Warenpaare, Gruppierung gleichartiger Artikel, bevorzugte Stapelung von Artikeln mit gleichartigen Lagerplätzen, optimierte Be-/Entladereihenfolge, Rundungsmengen, Mindest-/Maximalentnahmemengen, Ladungssicherheit, Achslasten, ...

> 2^{40} Parameter-Kombinationen

> 2^{20} Parameter-Kombinationen

Lagerbestände, Kapitalbindung, Lagerkapazitäten, Lagertypen, Engpässe, Pull-Ahead-Reichweiten pro Material, Kommissionierzeiten, Reichweitensteuerung, Torsteuerung, ...

Sequentiell: $2^{30} + 2^{40} + 2^{40} + 2^{20} = 2\ 200\ 098\ 045\ 952$

Holistisch: $2^{30} \times 2^{40} \times 2^{40} \times 2^{20} = 1\ 361\ 129\ 467\ 683\ 753\ 853\ 853\ 498\ 429\ 727\ 072\ 845\ 824$

s2-data.at

S2data

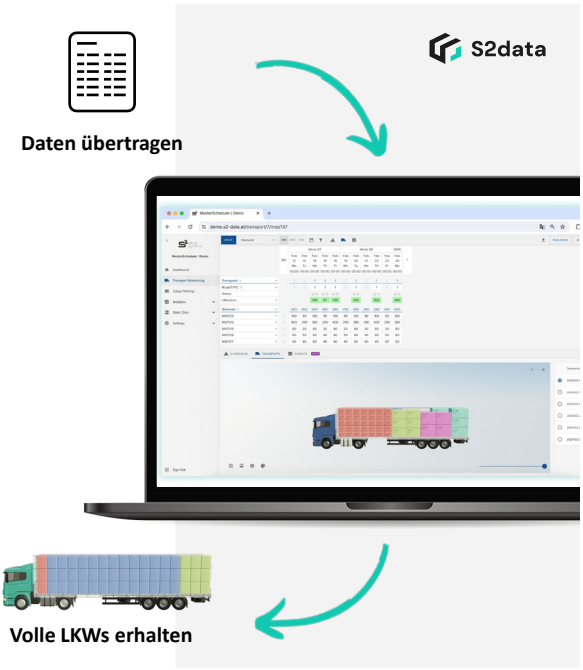
Die S2data Platform

13

Die Materialplanung kennt keine Transporte

Mehr Auslastung. Weniger Lkws.

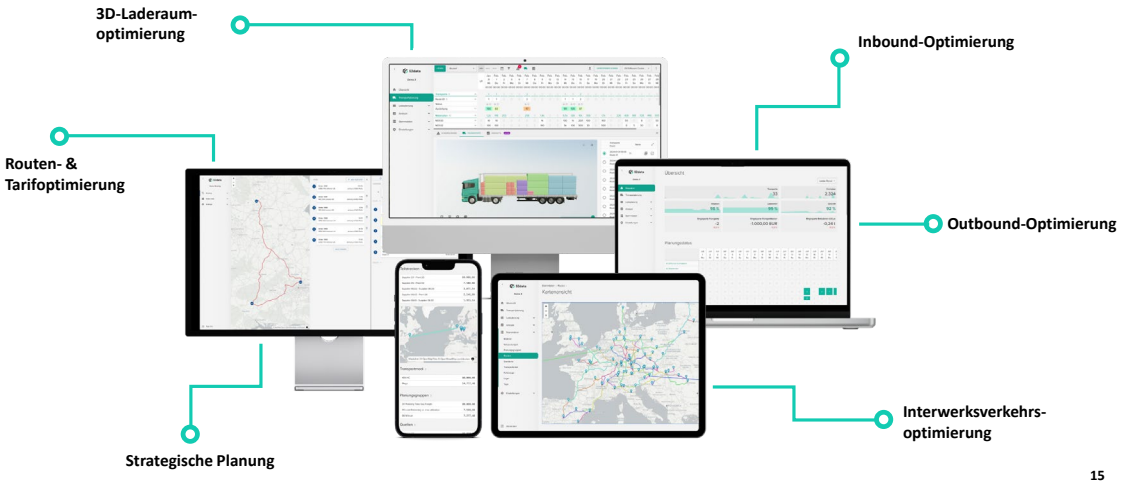
- Planung von Bedarfen zu vollen Transporten/Containern
- Werksübergreifende Planung
- 3D-Visualisierung für Inbound & Outbound
- Volle Automatisierung & Transparenz



Die moderne Lösung für effizientere Logistik

S2data

Software & Algorithmen für Transparenz und Effizienz

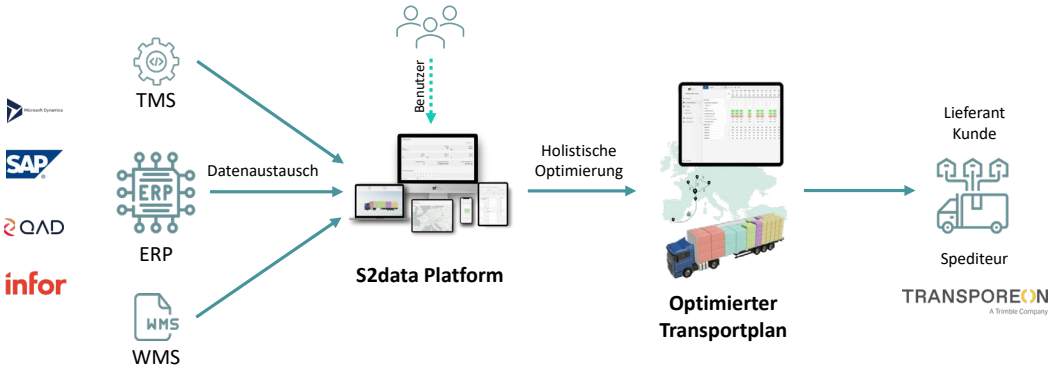


15

Schematische Darstellung

S2data

Durchgängige Automatisierung: Integrierte Material- und Transportplanung von der Anfrage bis zur Ausführung



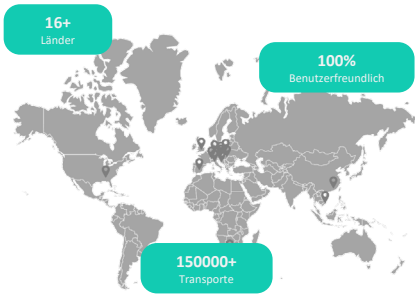
s2-data.at

Vertrauen bei Branchenführern

S2data

Wir optimieren Transportplanung weltweit

- Software für alle Logistik-Herausforderungen
- Flexible Software, perfekt angepasst für den Kunden



MAGNA, DUVENBECK, TRANSPOREON, RHENUS LOGISTICS, thyssenkrupp, SCHMITZ CARGOBULL, motherson, Yanfeng, FRESENIUS KABI, ALFHA, OHM Kunststoff-Bohrwerk, UNSER LAGERHAUS

17

S2data

» Optimization for greener logistics

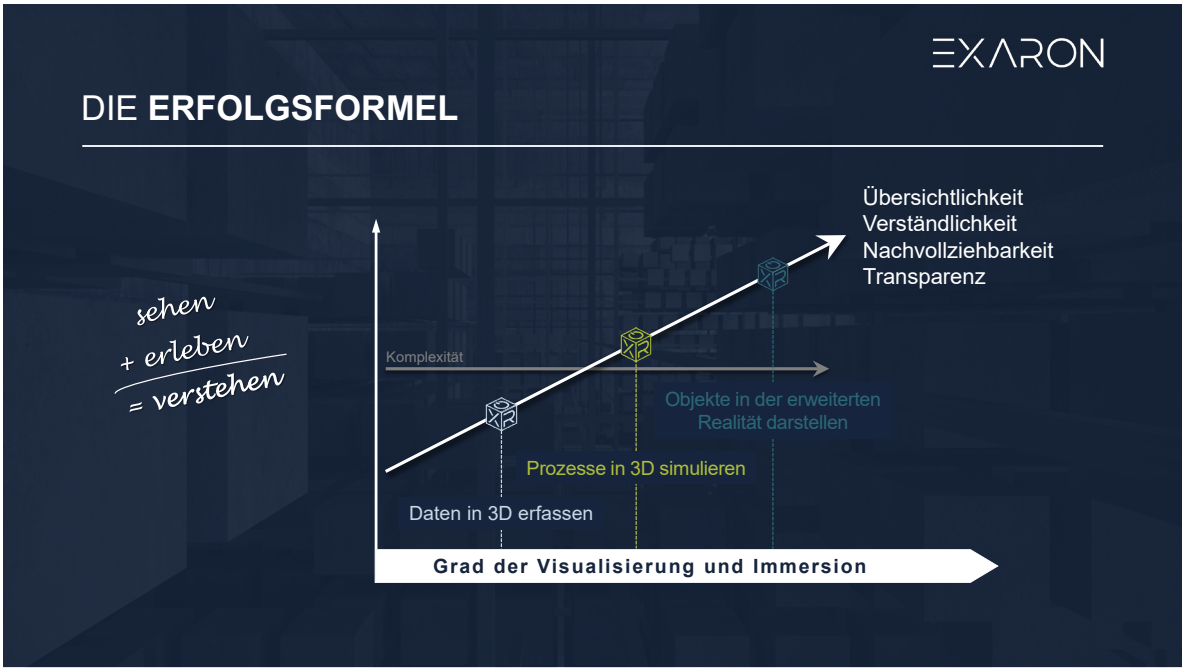
Dr. Stefan Kremsner
CEO
+43 664 137 90 69
stefan.kremsner@s2-data.at
s2-data.at

18

Making industrial complexity visible

Thomas Kaufmann, Patrick Gröller

EXARON
MAKING INDUSTRIAL COMPLEXITY VISIBLE


EXARON
DIE ERFOLGSFORMEL
sehen
+ erleben
= verstehen
Übersichtlichkeit
Verständlichkeit
Nachvollziehbarkeit
Transparenz
Komplexität
Objekte in der erweiterten Realität darstellen
Prozesse in 3D simulieren
Daten in 3D erfassen
Grad der Visualisierung und Immersion

EXARON

DIE EXARON **EXPERTISE**

3D CAPTURING

→ 3D Datenerfassung: *Digitaler Zwilling*
→ Gaussian Splatting

SIMULATION

→ Digitale Fabrikplanung
→ Digitale Produktions- & Prozess-optimierung

EXTENDED REALITY

→ Augmented Reality (AR)
→ Virtual Reality (VR)

EXARON

FOKUS: **KOMPLEXITÄT VISUALISIEREN**

- EXARON ist ein Solution Provider, der sich auf das **3D Capturing** sowie die **Modellierung** und **Simulation komplexer Objekte** und **Prozesse** spezialisiert hat.
- Wir erstellen und nutzen immersive 3D Umgebungen*, in denen z.B. Datenvisualisierungs-, Kollaborations- und KI-Technologien kombiniert werden können. Das ermöglicht die Entwicklung kundenspezifischer Lösungen, die den Herausforderungen wachsender Komplexität in allen Branchen gewachsen sind.
- Als Werkzeuge setzen wir **Lixel L2 Pro** (3D Scanner), **Visual Components** (3D Simulationsplattform) und **Extended Reality** (XR)** **Technologien** ein.

*Metaverse, Omniverse, Spatial Computing/Reality etc.
**XR = Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality

EXARON GmbH
CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

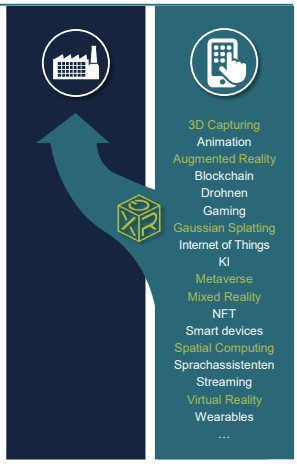
USP: **SYMBIOSE AUS ZWEI WELTEN**

INDUSTRIE

- Ausbildung & Berufserfahrung: **Maschinen-/Anlagenbau**, **Robotik**, **Mechatronik**, **Automatisierung**, **Simulation**, **Produktionstechnik**
- Wissen über Tools und Prozessschritte, die zur Lösung kundenspezifischer Anforderungen zum Einsatz kommen

CONSUMER TECH

- seit 2012 Wissensaufbau über 3D Visualisierungs- und Extended Reality (XR) Technologien
- „Blick über den Tellerrand“ ermöglicht die Entwicklung innovativer Ansätze, die den Herausforderungen wachsender Komplexität gewachsen sind



CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

ZIELMARKT: **NO LIMITS**

- Industrie
  Elektronik, Fahrzeugbau, Holz, Kunststoff, Lebensmittel, Logistik, Maschinen-/Anlagenbau, Papier, Pharma, Textil etc.
- Produzierende Unternehmen
  inkl. Auftragsfertiger und Prototypenbauer
- Bau, Architektur, Immobilien
- Gesundheit und Soziales
- Gewerbe und Handwerk
- Handel
- Kunst, Kultur und Medien
- Land- und Forstwirtschaft, Umwelt
- Öffentliche Einrichtungen
- Tourismus, Gastgewerbe, Freizeitwirtschaft
- Transport und Verkehr
- Wissenschaft und Bildung
- …

Image by usertrmk on Freepik

Image by Freepik

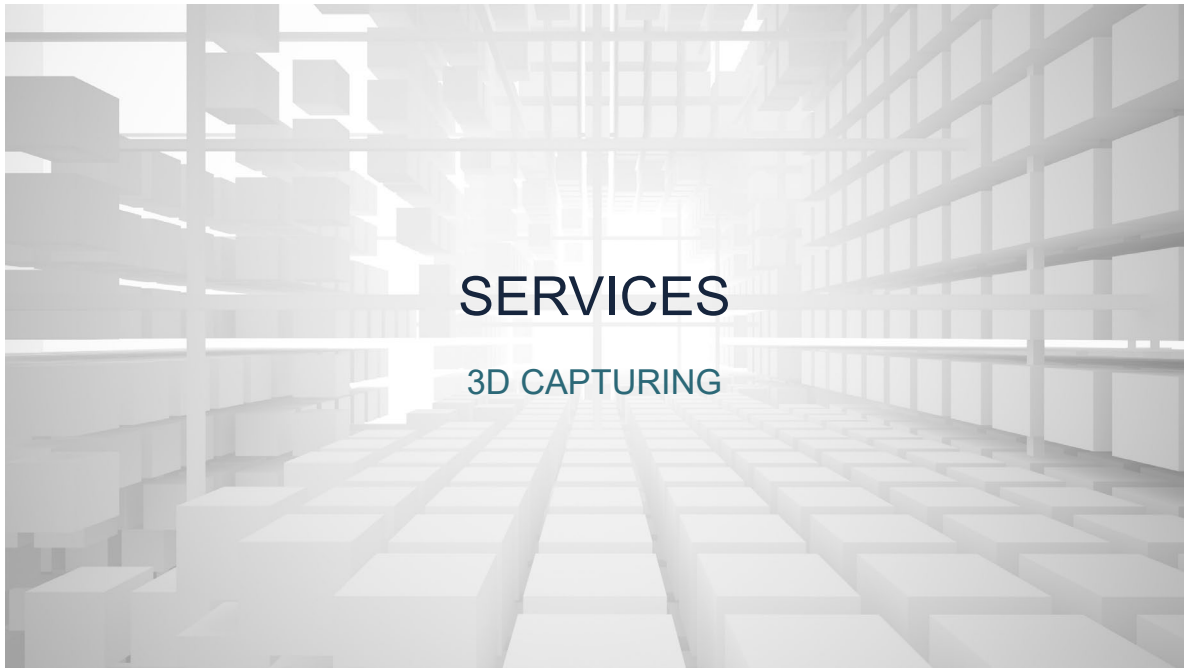
CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

REFERENZKUNDEN (AUSWAHL)

DS AUTOMOTION
ZEISS
GÜDEL
DIEFFENBACHER
MOVE FORWARD. TOGETHER.
ROSENDAHL NEXTROM
KNILL GRUPPE
ortner
cleanrooms unlimited
pia
AUTOMATION
T-ROB
DAM
PROMAX
Project Management GesmbH
STRANGER
MASCHINENBAU
VESCON
SCIO
AUTOMATION
DUALIS®
JOANNEUM
RESEARCH

EXARON GmbH CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON 7



EXARON

3D CAPTURING

VON	FÜR	VORTEILE
Prototypen & Produkte	Fotorealistische Visualisierung & Rekonstruktion	User Experience ⇧
Maschinen, Anlagen, Fabriken (Brownfield)	Integration in Visual Components für Simulationen	Datenerfassung ⇧
Objekte & Gebäude	Integration in Unreal, Unity oder Web-Applikationen	Zeitersparnis ⇧
Landschaften & Bauareale (Greenfield)	…	Interpretationsspielraum ⇩
…		Planungsfehler & Ausführungsmängel ⇩

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

LIXEL L2 PRO

- **Innovative 3D Capturing-Technologie**, die Gaussian Splatting[1] und SLAM[2] kombiniert
- **Hochpräzise 3D Scans** zur exakten Datenerfassung für realitätsnahe Simulationen und XR Anwendungen
- **Effizienzsteigerung**: optimiert Planungsprozesse und reduziert Fehler durch präzise und schnelle Modellierung

Panorama | Punktwolke | Mesh

[1]Gaussian Splatting: Technik, die 3D Objekte und Szenen durch die Kombination von vielen kleinen Punkten („splats“) darstellt, um realistische Bilder schneller und effizienter zu erzeugen

[2]SLAM (Simultaneous Localization and Mapping): Technologie, die es einem Gerät ermöglicht, sich selbst in einer unbekannten Umgebung zu orientieren und gleichzeitig eine Karte zu erstellen

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

LIXEL CYBERCOLOR (LCC)

Funktionalität
- automatische Generierung von 3D Szenen mithilfe von Gaussian Splatting
- Nutzung eines Multi-SLAM-Algorithmus für präzise und schnelle Modellierung
- entfernt dynamische Objekte automatisch während des Scans

Besonderheit
- Unreal/Unity-Integration: Entwicklungspipelines für Spiele-Engines in Vorbereitung

Vorteile
- Effizienz: schnelle Erstellung hochwertiger 3D Modelle
- Speicherplatz: kleine Dateigröße (< 90 % im Vergleich zu anderen Methoden) bei hoher Qualität
- Kompatibilität: nutzbar mit verschiedenen Systemen (PC, mobile Geräte, Apple Vision Pro etc.)
- immersive Darstellung: maßstabsgetreue Visualisierung für VR-/AR-Anwendungen

Multi-SLAM kombiniert Daten verschiedener Sensoren (LiDAR, Kamera, IMU), um präzise und robuste 3D Modelle in Echtzeit zu erstellen

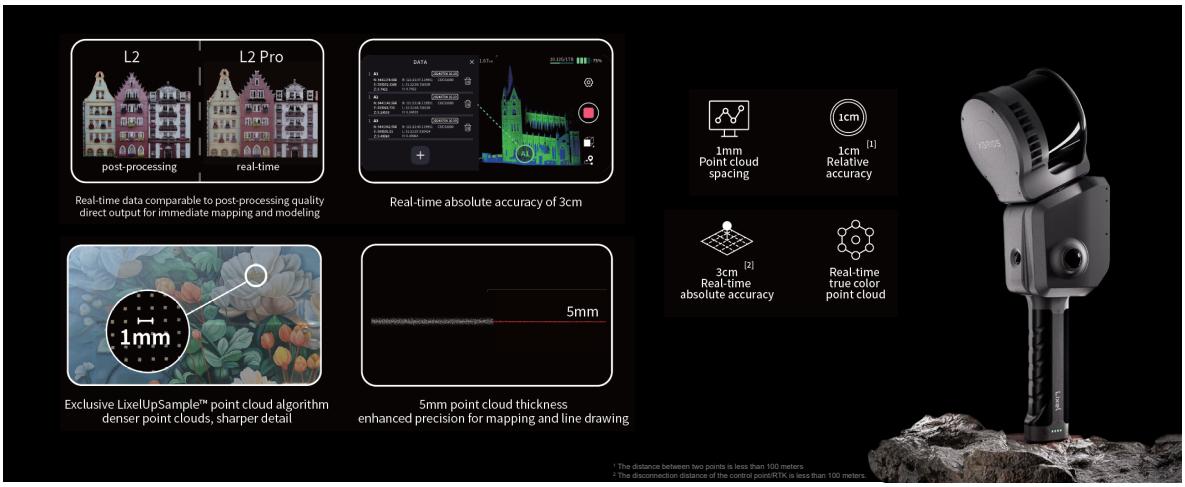
Funktionalität: simultane Lokalisierung und Kartierung in unbekannten Umgebungen

Besonderheit
- funktioniert auch ohne Satellitensignale (z.B. in Innenräumen oder subterran)
- liefert kontinuierlich absolute Koordinaten

Vorteil: perfekt für komplexe Umgebungen, in denen Stabilität und Genauigkeit entscheidend sind

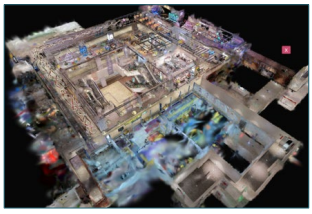
EXARON

LIXEL L2 PRO: SPEZIFIKATION



EXARON

EINSATZGEBIETE (AUSWAHL)



Fabriksimulation

präzise 3D Daten für realistische Simulationen und optimierte Planung

XR Training

immersive Lernwelten mit fotorealistischen Modellen und Umgebungen

Dokumentation

detaillierte Erfassung von Objekten und ihrer zeitlichen Veränderungen

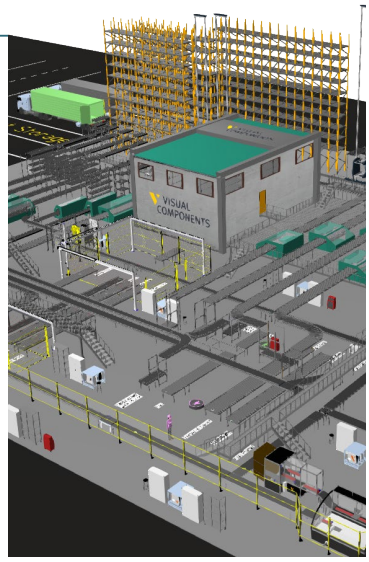
EXARON GmbH

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

SIMULATION

VON	FÜR	VORTEILE
Prozesse & Abläufe	3D Visualisierung (3D Bibliothek)	User Experience ⇧
Material- & Warenflüsse	Proof of Concept	Interpretationsspielraum ⇩
Ressourcen (Werker, FTS/AGV etc.)	Optimierungs-maßnahmen	Fehleridentifizierungsrate ⇧
Roboter	Virtuelle Inbetriebnahme	Risiko ⇩
Fabriken & Anlagen		Inbetriebnahmezeit ⇩
		Erfolgschancen ⇧



EXARON GmbH

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

SIMULATION IN DER FABRIK

ANLAGEN	RESSOURCEN*	ROBOTER
– Taktzeit	– Wege und Wegezeiten	– Taktzeit
– Bottlenecks	– Idle- und Busy-Zustände	– Auslastung
– Material- & Warenfluss	– Bottlenecks	– Erreichbarkeit
– Schrittketten	– Ergonomie	– Kollisionskontrolle
– Overall Equipment / Line Effectiveness (OEE / OLE)	– Energiemanagement	– Sicherheitsbereich
– Transferauslastung und -pufferplätze	– Methods to measurement (MTM) Taktzeitanalysen	– …
– …	– …	– Offline-Programmierung (OLP)
	*Werker, Fahrerlose Transportsysteme (FTS/AGV), Autonome mobile Roboter (AMR) etc.	– Virtuelle Inbetriebnahme

EXARON GmbH

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

16

EXARON

PLATTFORM FÜR 3D SIMULATION

- Visual Components (VC) ist eine führende 3D Simulationssoftware in der Fabrik- und Produktionsplanung
  - Features: eCatalog (> 3.000 Komponenten), Roboter OLP etc.
  - Einsatzbereiche: Vertrieb, Projektleitung, Konstruktion, Montage, PLC/SPS, Robotik, F&E, Marketing etc.
- DUALIS ist VC Vertriebspartner und Entwickler von Add-ons (z.B. AGV-Bibliothek, Statistikmodul)

VISUAL COMPONENTS

DUALIS® Simulation Integration Partner

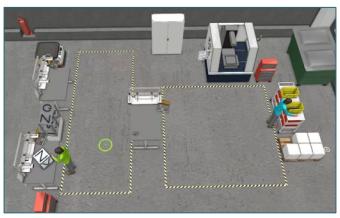
- EXARON ist VC „Power User“ (Erfahrung seit 2014) und DUALIS Simulation Integration Partner
  - Entwicklung kundenspezifischer Add-ons (z.B. Bausteine für VR Trainings)
  - Durchführung von VC Schulungen (individuell angepasst an den Teilnehmerkreis)
  - Beschaffung kostenloser VC Testlizenzen

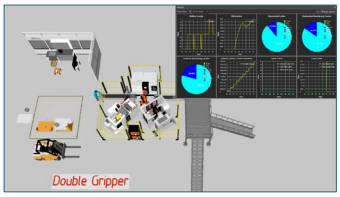
CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

SIMULATION: SERVICEBEISPIELE

- Animation von Prozessen
- Erstellung von Simulationen*
  - Simulation eines vorgegebenen Prozesses
  - Gesamtsimulation inklusive Proof of Concept und Szenarien-analysen (= Prozessoptimierung)
  - Robotersimulation inkl. Virtuelle Inbetriebnahme und Offline-Programmierung
- Durchführung von Visual Components Schulungen
- Entwicklung kundenspezifischer Add-ons für Visual Components



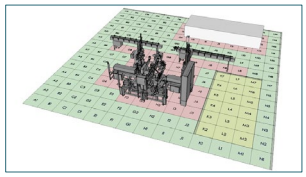


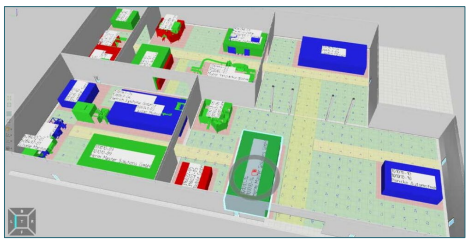
*Die Simulation wird als interaktive VCAX-Datei zur Verfügung gestellt. Die Betrachtung erfolgt mittels kostenlosem VC Experience Viewer auf allen herkömmlichen Endgeräten sowie mit Head-Mounted Displays (VR Brillen).

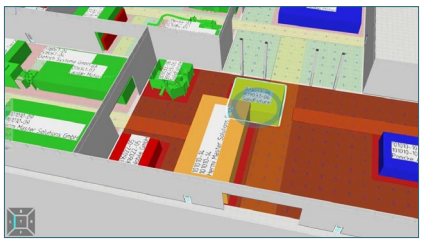
CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

AREAPLAN: EFFIZIENTE FLÄCHENBELEGUNG

- AREAPLAN: Software für die Erstellung von Flächenbelegungsplänen für Fertigungs- oder Montageprojekte über alle Werke hinweg
  - räumliche Flächenbelegung und zeitliche Ablaufplanung
  - Ermittlung konkreter Liefertermine und Belegungszeiten
  - optimale Auslastung verfügbarer Flächen
- perfekte Ergänzung zu Visual Components und CAD-Programmen



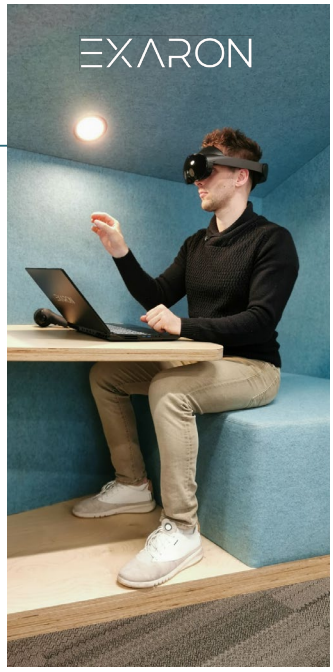




EXARON GmbH CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXTENDED REALITY (XR)

VON	FÜR	VORTEILE
Prototypen & Produkte Anlagen, Maschinen, Fabriken Objekte & Gebäude …	XR Engineering XR Marketing XR Training	User Experience ⇧ Interpretationsspielraum ⇩ Entscheidungs- & Abnahmezeit ⇩ Erfolgschancen ⇧ Lernerfolg ⇧ Inbetriebnahme- & Stillstandszeit ⇩



CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

XR ENGINEERING: VORTEILE

EXARON

Meeting
Review
(Design, Ergonomie etc.)
FMEA
(Failure Mode & Effects Analysis)
FAT
(Factory Acceptance Test)
…

User Experience durch Interaktion und Live-Modifikation

Multi-User Fähigkeit

Risikominimierung:
fail virtual = fail fast, safe & cheap

Digitale **Dokumentation** (Historie)

Hardware-Kombinierbarkeit:
XR und klassische Endgeräte

Realitätsnähe reduziert Interpretations-spielraum
- Verkürzung von **Entwicklungs-** und **Abnahmezeiten**
- Erhöhung der **Erfolgschancen**

Virtuelle Modelle = **Einsparung** von **Kosten** und **Zeit**

Verfügbarkeit 24/7

Reduktion von Reisen = Erhöhung der **Mitarbeiterverfügbarkeit**

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

XR MARKETING: VORTEILE

B2B / B2C Meeting
Messeauftritt
Recruitingevent
(Employer Branding)
Inhouse-Veranstaltung
(Retention Management)
…

User Experience durch Interaktion und Live-Modifikation

Unabhängigkeit von Zeit & Ort sowie realen Produkten & Objekten

Showcases **kunden-** und **themenspezifisch** gestaltbar

Kostenreduktion von Messe-auftritten (Transport, Stand etc.)

Realitätsnähe erleichtert Vorstellbarkeit und Entscheidungsfindung = Erhöhung der **Erfolgschancen**

Mehrsprachigkeit (Audio, Video)

Reproduzierbar- & Nachhaltigkeit
- Inhalt erweiterbar
- vorhandenes Material integrierbar
- Unternehmensübergreifend einsetzbar

Desktopmodus & Videoexport

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON

XR TRAINING: VORTEILE

Montage
Inbetriebnahme
Bedienung
Instandhaltung
Safety
Onboarding
…

User Experience und **Lernerfolg** durch interaktives *learning by doing*

Unabhängigkeit von Zeit, Ort, Trainer und realen Objekten

PC-gebunden oder **Stand-alone**

Trainingserstellung = **Proof of Concept** für reale Prozesse

frühe Trainingsphase = **kurze unproduktive Phase**

Mehrsprachigkeit (Audio, Video)

Desktopmodus & Videoexport

Reproduzierbar- & Nachhaltigkeit
- Szenarien erweiterbar
- Schulungsniveau anpassbar
- Unternehmensübergreifend einsetzbar

Risikominimierung: *fail safe & cheap*

Digitale **Dokumentation**

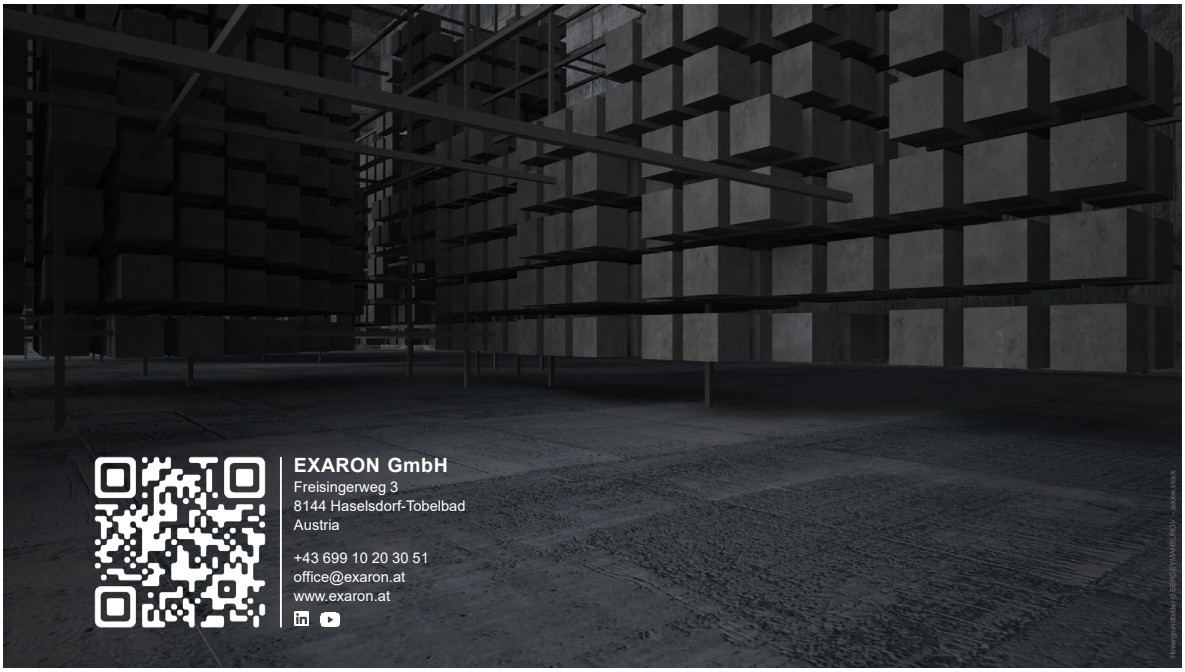
Reduktion von Reisen (Trainer, Trainee) = Erhöhung der **Mitarbeiterverfügbarkeit**

Überprüfbarkeit: Abschluss mit Zertifikat

CONFIDENTIAL: Do not duplicate or distribute without written permission from EXARON

EXARON
YOUR VISUALIZATION ONE-STOP-SHOP

EXARON
WE ARE YOUR VISUALIZATION ONE-STOP-SHOP
3D LAYOUT
Konzepte oder (CAD) Modelle
Reale Objekte & Umgebungen
3D CAPTURING
Erzeugung fotorealistischer Modelle und Umgebungen
SIMULATION
Einbindung realer Prozess-abläufe in fotorealistische Umgebungen
EXTENDED REALITY
Schaffung interaktiver Marketing- und Trainings-erlebnisse in fotorealistischen Umgebungen


EXARON GmbH
Freisingerweg 3
8144 Haselsdorf-Tobelbad
Austria
+43 699 10 20 30 51
office@exaron.at
www.exaron.at

Holz im Maschinenbau – Chancen und Grenzen im Produktionsumfeld

Sven Eichhorn

Professur Förder- und Materialflusstechnik

Holz im Maschinenbau
–
Chancen und Grenzen im Produktionsumfeld

Dr.- Ing. Sven Eichhorn (1/2),

Dipl.-Ing. Christoph Alt (1), Dr.-Ing. Ronny Eckardt (1), M. Sc. Max Geistert (1/2),

Dr.-Ing. Eric Penno (2), Dr.-Ing. Christine Schubert (2), Dipl.-Ing. Patrick, Kluge (2)

1 ligenium GmbH, Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz

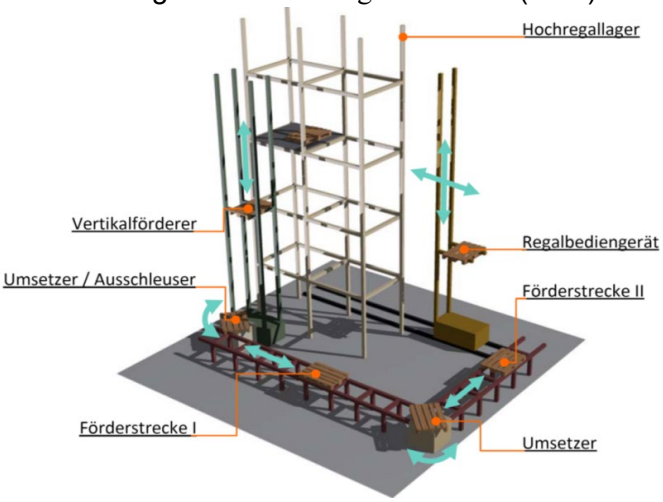
2 Technische Universität Chemnitz, Professur Förder- und Materialflusstechnik, Prof. Dr.-Ing. Markus Golder

ligenium next level productivity

Professur Förder- und Materialflusstechnik

Zielstellung: Holz im Maschinenbau z.B. Intralogistik – Green Logistics Plant (GLP)

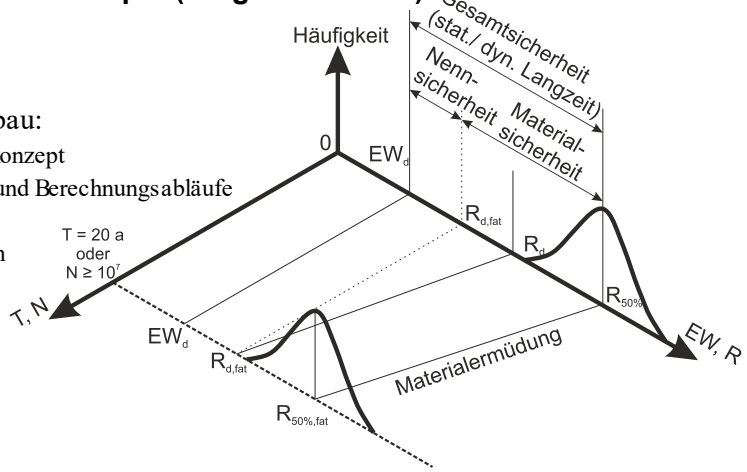
- Holzbauweise vorteilhaft :
  - Technisch
    - z.B. Leichtbau, Ergonomie, Haptik…
  - Ökologisch
    - Reduzierte CO2-Eqv., kreislauffähig…
  - Ökonomisch
    - Gutes Preis-Leistungsverhältnis…
- Ansatz für Forschung bei:
  - Berechnungs- und Sicherheitskonzept
  - Bauweisen incl. Verbindungstechnik
  - Sichere technische Systeme



Berechnungs- und Sicherheitskonzepte (Kluge et al. 2024)

- Zielstellung für den Maschinenbau:
  - Semiprobalistisches Sicherheitskonzept
  - Zuverlässige Dimensionierungs- und Berechnungsabläufe
  - Materialkennwerte
  - relevante „Beiwerte“ und Faktoren
  - „einfaches“ Vorgehen

→Sicherheitskonzept
→ sicheres, technische System

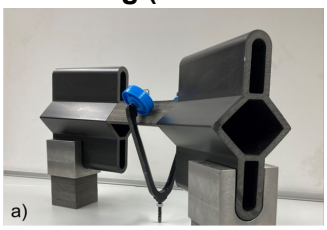


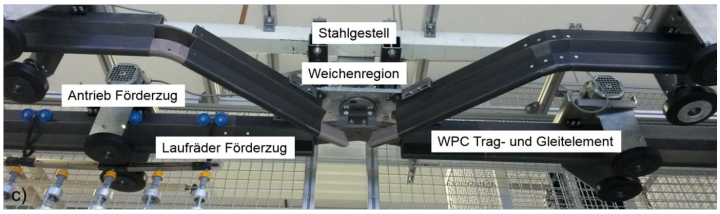
Quelle: Projekt Holz im Maschinenbau – Berechnungs- und Sicherheitskonzepte, Tagungsband zum 21. HTK in Dresden

Hängefördersystem – Dynamische Tragfähigkeit WPC-Strukturhohlprofil unter schwingender Dreipunktbiegebelastung (Schubert et al 2024)

- Anwendungsfall Fördertechnik

- Bestimmung Abminderungsfaktor
  - Stat./dynamisch (Ermüdung)
  - Kurzversuch und Dauerversuch
  - Holzpartikelwerkstoff WPC
  - Spezielles, extrudiertes Profil

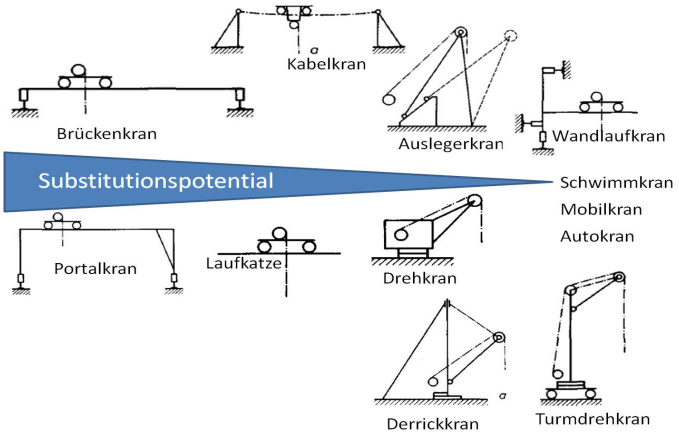




Quelle: Dynamische Tragfähigkeit des WPC-Strukturhohlprofils unter schwingender Dreipunktbiegebelastung, Tagungsband zum 21. HTK in Dresden

Sichere, leichte, ökologische Kransystem in Holzbauweise (Penno et al. 2024)

- Anwendungsfall Fördertechnik
- Zielstellung:
  - Bauweise entwickeln
  - Fokus:
    - Brückenkrane
    - Portalkrane
  - angepasstes Sicherheitskonzept
  - Hoher Leichtbaugrad



Quelle: Sichere, leichte, ökologische Kransysteme aus Holzwerkstoffen, Tagungsband zum 21. HTK in Dresden

Entwicklung eines Aufzugsystems in Holzleichtbauweise mit miniaturisiertem Trommelantrieb zur Nachrüstung von Bestandsgebäuden (Eichhorn et. al 2024)

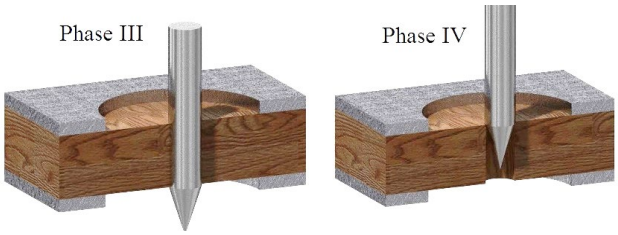
- Anwendungsfall Personenfördertechnik
- Partner: Sauter Lift Components GmbH, Vogel Gutachten

- Zielstellung: Modulares, flexibel anpassbares, kompaktes Aufzugssystem
  - ohne Gegengewicht,
  - ohne Maschinenraum und Schachtgrube,
  - Mehrlagenwicklung des Antriebseils,
  - minimalen Abmessungen des speziellen Drahtseiles auf einer speziellen Trommel,
  - Leichte, modulare Aufzugskabine in Holzbauweise

Quelle: Pressemeldung TU Chemnitz „Mit hoher Leichtigkeit des Aufzugs für mehr Barrierefreiheit“ 02/2025, Foto von der Messe Bau2025

Prozesseinflussgrößen zum Fließlochformen in Holzwerkstoffe (Penno 2024)

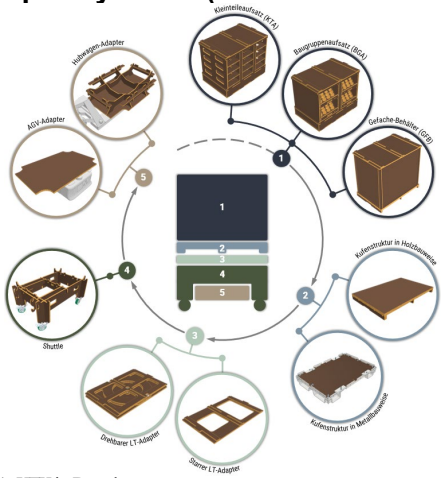
- Anwendungsfall Verbindungstechnik
- Zielstellung:
  - Bionische, hochbelastbare Verbindungsstelle
  - Holz wird verdrängt und damit verdichtet
  - Bestimmung von Prozesseinflussgrößen
  - Ableitung vorteilhafter Prozessparameter



Quelle: Prozesseinflussgrößen zum Fließlochformen in Holzwerkstoffe, Tagungsband zum 21. HTK in Dresden

Leichte, ökologische & ökonomische, smarte Transportsysteme (Geistert et. al 2024)

- Anwendungsfall Fördertechnik
- Zielstellung:
  - Modulares, flexibles Transportsystem in Holzbauweise
  - System und Transportgut werden per Sensorik überwacht
  - Sensorik in Holzbauweise integriert
  - Vision: Monitoring der Transport- und Versorgungskette



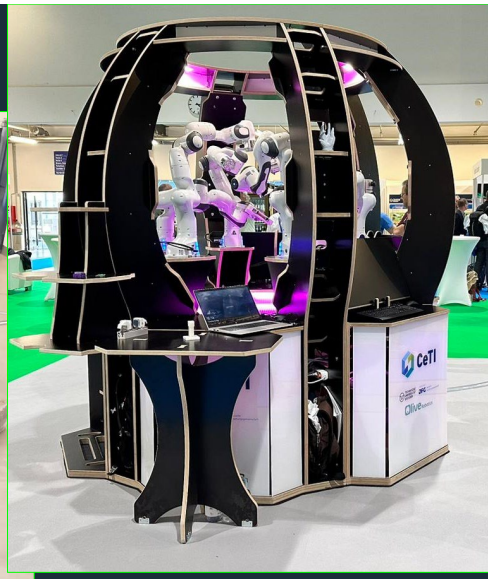
Quelle: Projekt „LÖST“ - Leichte, ökonomische, smarte Transportsysteme, Tagungsband zum 21. HTK in Dresden

Transportwagen / Schutzeinhausung

Holz- vs. Mischbauweise (Stahl, Alu Kunststoff), Serie VW ID (GMD DD) – Holzprofilbauweise

ligenium – Intralogistik, Anlagentechnik

Paketförderer, Maschinengestell Robotermontage



ligenium
next level productivity

ligenium – Intralogistik

BULLiG – Shuttle: einfacher Betrieb per Hand, motorisch unterstützt oder spurgeführt, automatisch

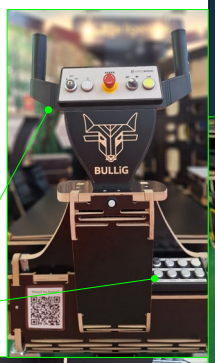
Lastaufnahme max. Größe „Europalette“, aktuell ligBOX

„Hörner“ = Griffe und Bedienfeld für Handbetrieb und motorische Unterstützung

Bedienfeld für Automatikbetrieb

hochbelastbare Holzstruktur

Laserscanner für Objekterkennung



In Kooperation mit

AUTEKO GmbH & Co. KG
Automatisierung | Technik | Konstruktion

ligenium
next level productivity

Nachhaltige Lösungen

Vielfalt und Vorteile im Überblick

Green Logistics
Energieeffizienz, CO_2-Reduktion

Elektromagnetische Verträglichkeit
störungsfreie Funksignal-Durchdringung,
Echtzeitüberwachung der Supply Chain (Tracking)

Leichtbau
deutliche Gewichtseinsparung im Vergleich zu konventionellen Anwendungen

Beständigkeit
unter chemischen, aggressiven Umgebungsbedingungen – Holz weist eine höhere Beständigkeit als Metallkonstruktionen auf.

Wartungsarmut
Holzwerkstoffe sind besonders wartungsarm und halten dem intralogistischen Alltag problemlos stand.

Kosten
Vergleichbare Investitionskosten, geringere Betriebskosten gegenüber metallischen Gestellkonstruktionen

CSR
Ressourcenschonung, Nachhaltigkeit

Elektrostatische Entladung (ESD)
Ableitfähige Oberflächen, geeignet für den Transport elektrisch-sensibler Bauelemente

Ergonomie
Erhöhung der Arbeitssicherheit

Flexibilität
Modularität der Konstruktion, Kosteneinsparung bei Weiterverwendung, einfache Instandhaltung

Füllgradoptimierung
Mit passgenau optimierten Füllgrad unterstützen ligenium Lösungen komplexe Pack- und Füllstrategien und ermöglichen so eine hohe Bauteildichte bei sequenzgesteuerten Aufnahmen.

Lärmreduktion
Holz hat vorteilhafte Dämpfungseigenschaften

ligenium next level productivity

Grenzen

„Praxisschock" – Anwendung Normung

- Sicherheit von Maschinen - Vorbeugender und abwehrender Brandschutz
  - Interpretation Fall 1, „Auf Nummer sicher gehen":
    - kein Holz → Lösung in Metallbauweise
    - oder wenn dann nur B1 (schwerentflammbare Werkstoffe) einsetzen → teuer, Ökologie eingeschränkt
  - Interpretation Fall 2, „der Holzweg" von ligenium:
    - Anwendungsfall genau analysieren,
    - Brandlast minimieren,
    - Werkstoffe B2 (normalentflammbar)
      - selbstverlöschend ,
      - und / oder Brandgeschwindigkeit „klein" bzw. Grenzwert eingehalten (z.B. FMVSS 302 → Brandverhalten von Materialien in Fahrzeugen)
      - nicht brennbar Abtropfen,

ligenium next level productivity

Grenzen
Lastfall Brand

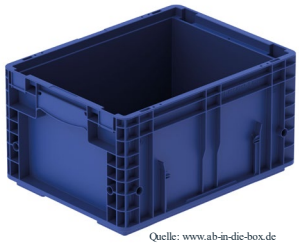
- Lastfall Brand = Drei Teillastfälle
  - Brandlast: → „Energiemenge“
  - Entflammbarkeit: → „Brennbarkeit“ → „Geschwindigkeit Freisetzung Energiemenge“
  - Feuerwiderstandsdauer: → „Evakuierungszeit“ → für Bauwerke relevant
- Metallwerkstoffe (z.B. Stahl): Brandlast = NULL, nicht brennbar (Problem Ausdehnung bei Erwärmung)
- Kunststoffe (z.B. PP): Brandlast > NULL, brennbar
- Holzwerkstoffe (z.B. WVC): Brandlast > NULL, brennbar

Grenzen
Lastfall Brand

ligBOX 300x400x191mm vs. R-KLT 4322

Abbrandfaktor mi = 1:
- ligBox aufgeklappt
- Einsparungen bzgl. Brandlast von 63%

Abbrandfaktor mi = 0,8:
- ligBox zugeklappt
- Einsparungen bzgl. Brandlast von 71%



Quelle: www.ab-in-die-box.de

Werkstoff ausgewähltes WVC
- Kein brennbares Abtropfen
- Flamme verlöscht nach gewisser Zeit, Brandgeschwindigkeit „klein“(z.B. FMVSS 302 → Brandverhalten von Materialien in Fahrzeugen)
- D-s2, d0; D-s3, d0 bzw. E

Werkstoff PP
- brennbares Abtropfen
- Flamme verlöscht nicht
- D-s1-3, d2 bzw. E-d2

Zusammenfassung

„Auf dem Holzweg zu sein“ = den Weg kennen

- Anwendungs- und Einsatzfälle zeigen das große Potenzial der Holzbauweisen
- technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile vordergründig im Fokus durch:
  - Leichtbau
  - Ergonomie (Optik, Haptik)
  - vergleichsweise geringe Kosten
  - Reduzierung des CO2-Äquivalentes + Kreislauffähigkeit (geringer Wartungsaufwand, reparaturfreundlich)

- Grenzen Beachten:
  - Risiken kennen aber Chancen ergreifen → Normung wenn mgl. „positiv“ interpretieren
  - Lastfall Brand → Vorteile Holz vs. Kunststoff

- Forschung: grundlagenbewusst mit starkem Praxisbezug auf den Industrieeinsatz fokussiert

- Industriellen Lösungen müssen kundenorientiert wissenschaftliche Erkenntnisse in Produkte übersetzten.

ligenium
next level productivity

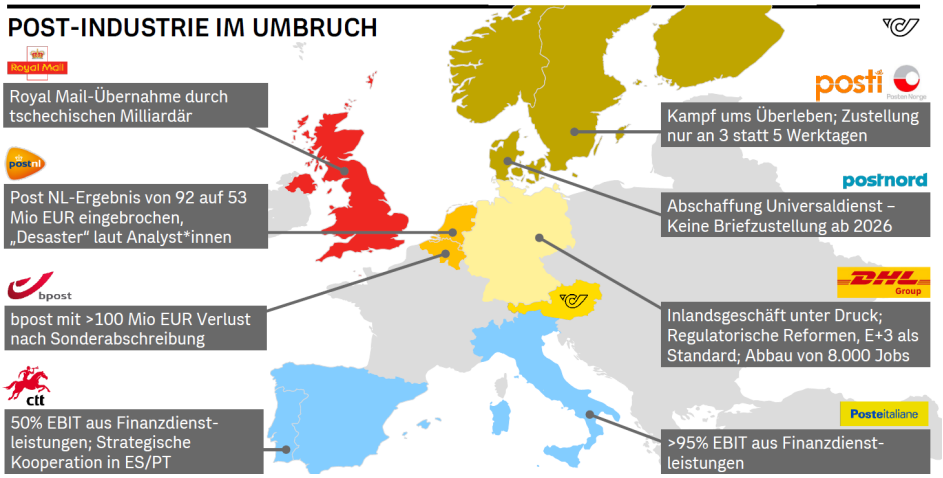
Die Logistik der Zukunft.

Franz Leitner

DIE LOGISTIK DER ZUKUNFT.

Mag. Franz Leitner, Österreichische Post AG,
Geschäftsfeldleiter Logistikzentren & Transport

POST-INDUSTRIE IM UMBRUCH



PROFITABLES WACHSTUM – ÜBER 3 MRD EUR UMSATZ ERREICHT

Konzern		2024 Mio EUR
Umsatz	+13,9%	3.123,1
EBITDA	+8,0%	422,7
EBIT	+9,0%	207,3

- Erstmals Umsatz von über 3 Mrd EUR
- Gute Preisrealisierung bei allen Leistungen
- Qualität als klarer Wettbewerbsvorteil
- Kostendisziplin in allen Bereichen

Brief & Werbepost		2024 Mio EUR
Umsatz	+4,1%	1.239,8

- Volumenrückgang bei Brief- und Werbesendungen
- Produkt- und Preisanpassungen sowie Kosteneffizienz als Top-Prioritäten
- Positive Effekte durch Superwahljahr 2024

Paket & Logistik		2024 Mio EUR
Umsatz	+20,9%	1.712,5
Österreich	+15,2%	
Türkei	+45,5%	
CEE/SEE	+7,8%	

- E-Commerce als Treiber für Privatkund*innenpakete
- Qualität, Geschwindigkeit und Kosteneffizienz
- Positiver Sondereffekt durch Inflation/ Wechselkurs in der Türkei

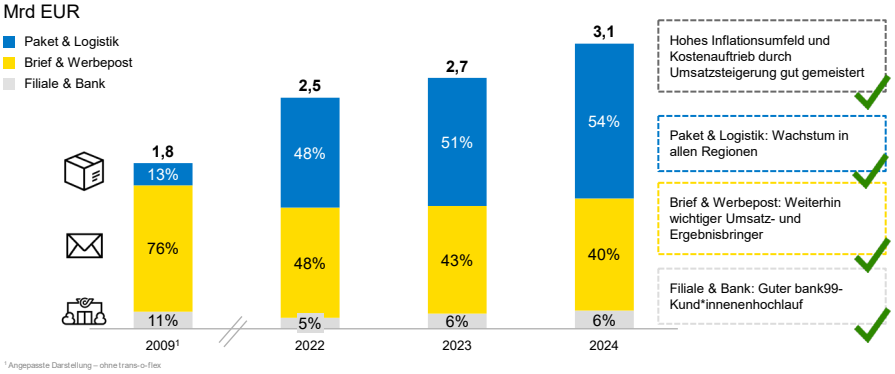
Filiale & Bank		2024 Mio EUR
Umsatz	+19,5%	201,5

- Gute Entwicklung des bank99-Kund*innen-hochlaufs
- Ausbau des Selbst-bedienungsnetzwerks
- Finalisierung IT-Migration als Top-Priorität

3

WACHSTUM IN 2024 VERDEUTLICHT STRUKTURELLEN WANDEL

Umsatzerlöse
Mrd EUR



- Hohes Inflationsumfeld und Kostenauftrieb durch Umsatzsteigerung gut gemeistert
- Paket & Logistik: Wachstum in allen Regionen
- Brief & Werbepost: Weiterhin wichtiger Umsatz- und Ergebnisbringer
- Filiale & Bank: Guter bank99-Kund*innenenhochlauf

¹ Angepasste Darstellung – ohne trans-o-flex

4

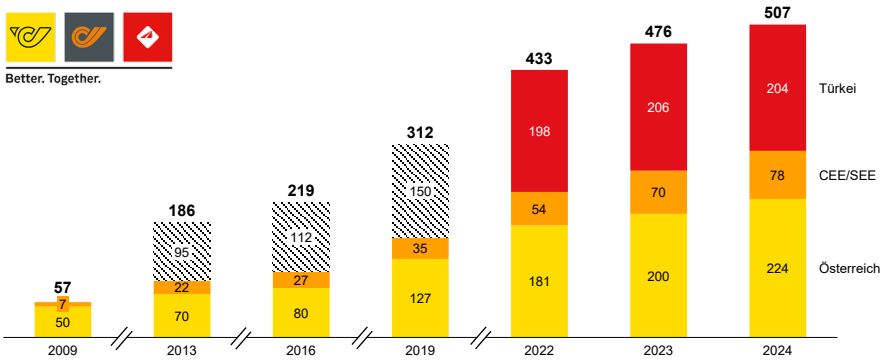
PAKETMARKT

5

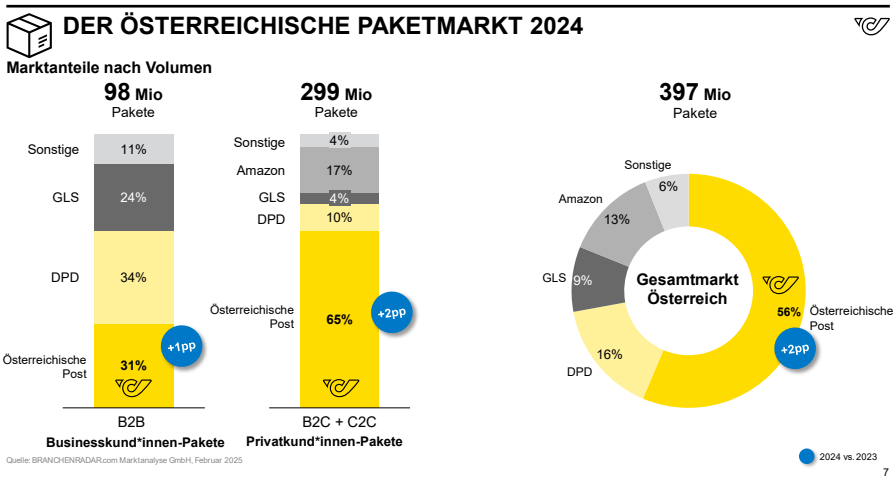
MEHR ALS 500 MILLIONEN TRANSPORTIERTE PAKETE 2024 IM POST-KONZERN

Mio Stück

Better. Together.



6


DER ÖSTERREICHISCHE PAKETMARKT 2024
Marktanteile nach Volumen
98 Mio
Pakete
Sonstige 11%
GLS 24%
DPD 34%
Österreichische Post 31%
+1pp
B2B
Businesskund*innen-Pakete
299 Mio
Pakete
Sonstige 4%
Amazon 17%
GLS 4%
DPD 10%
Österreichische Post 65%
+2pp
B2C + C2C
Privatkund*innen-Pakete
397 Mio
Pakete
Sonstige 6%
Amazon 13%
GLS 9%
DPD 16%
Gesamtmarkt Österreich
56% Österreichische Post
+2pp
2024 vs. 2023
Quelle: BRANCHENRADAR.com Marktanalyse GmbH, Februar 2025
7

Umstellung der LKW-Flotte auf HVO

Zwei E-LKW im Einsatz

Umsetzung grüne Städte in AT & TR

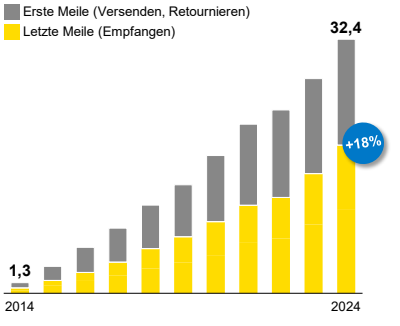
E-Flotte Aras Kargo

AUSBAU DER LOGISTIKZENTREN IN AT, CEE & TR

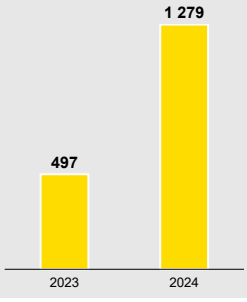
10

24/7-SERVICES BEI POSTKUND*INNEN IN ÖSTERREICH SEHR BELIEBT

Sendungsmengen
(Mio Stück)



Ausbau des österreichweiten Netzwerkes
(Poststationen Standorte)



10

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

Starkes Ausbauprogramm in 2025

Eigen-produktion

Österreich: ~2.500 OOH-Punkte davon:
- ~1.700 Post-Geschäftsstellen
- ~1.300 Post-Stationen
- >1 Mio Abstellgenehmigungen

CEE & Türkei: >11.000 OOH-Punkte davon:
- 800 Aras Filialen
- ~7.000 Shops/PUDOs
- ~3.500 Locker (eigen & fremd)

11

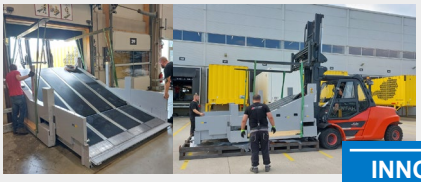
DER GRÖßTE LOGISTIKSTANDORT DER POST

12

LOGISTIKZENTRUM WIEN
Logistikzentrum Wien
Logistikzentrum Wien
13

LOGISTIKZENTRUM WIEN
Inbetriebnahme Q4 2023
Größter Logistikstandort
3-Sorter Konzept
Sortierkapazität 25.500 P/h

Auto-Unloader: Automatisierte Entladung



„Toni 3“: Autonomes Indoor-Fahrzeug

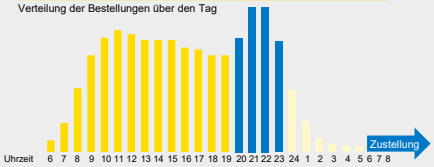
INNOVATION NEVER STOPS

Picking Roboter / Rollbehälter-Kipper

Prozessinnovation „Spectre“

~25% der Bestellungen zwischen 19:00 und 23:00 getätigt

Verteilung der Bestellungen über den Tag

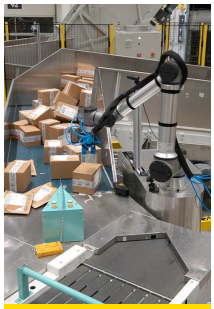


HIPO – 2024 IN ALLEN PAKET-LOGISTIKZENTREN

JANUS – AUTOMATISIERUNG IM LZ

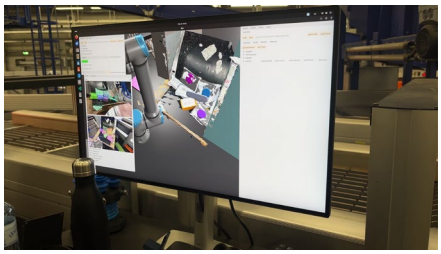
Flink Robotics

GSA Wien



KTS Wien

Test GSA Wien 25.02.2025

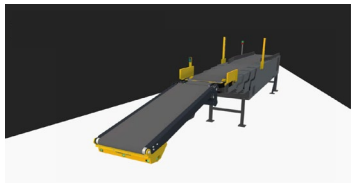


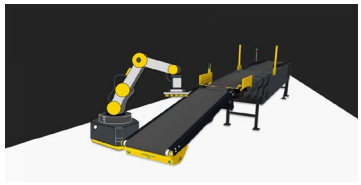
18

JANUS – AUTOMATISIERUNG IM LZ

Interne Transporte

Automatisierte Beladung





19

HERZLICHEN DANK.

Intelligente Mobilität: Innovative Ansätze für kooperierende AGV und AMR

Robert Schulz

Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik

IFT

Logistikwerkstatt Graz

Intelligente Mobilität:
Innovative Ansätze für
kooperierende AGV und AMR

27./28. Mai 2025

Prof. Dr.-Ing.
Robert Schulz

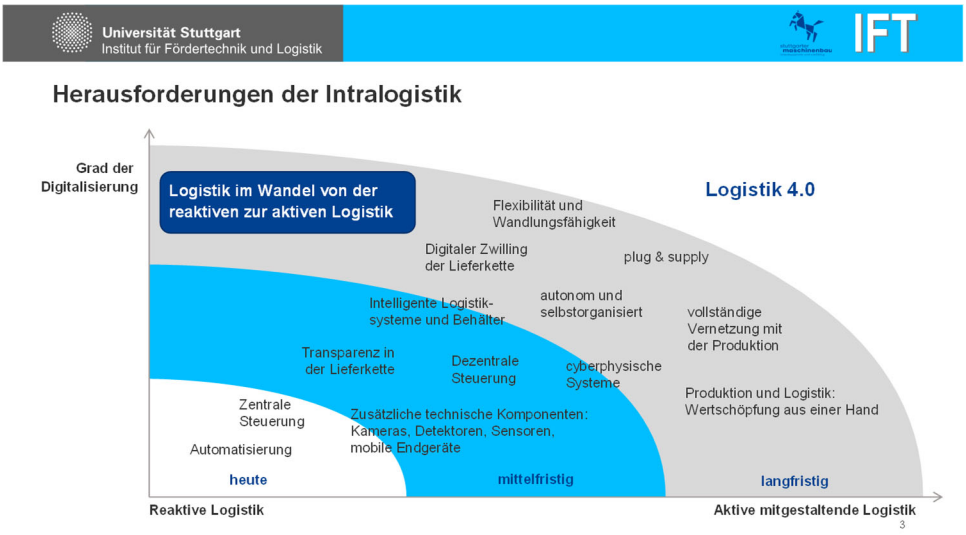
Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik

IFT

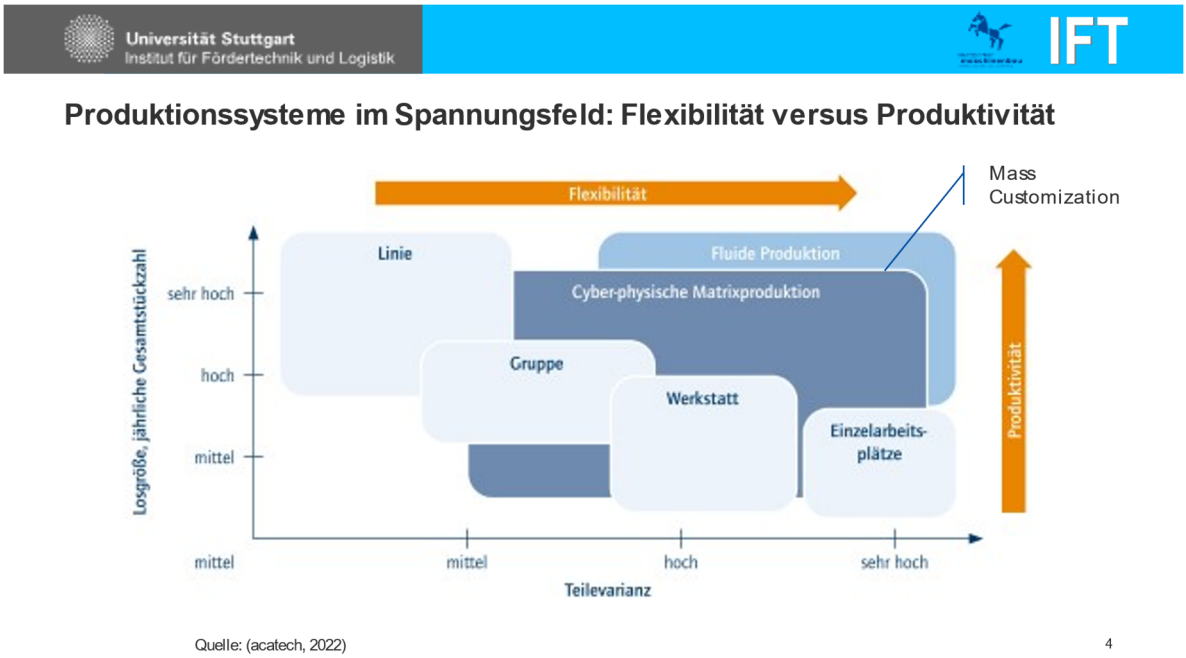
Agenda

Untertitel

1	Motivation	Herausforderungen der Intralogistik
		Produktionssysteme im Wandel
		ARENA2036
2	Kooperative Mobilität	Mobile Robotik für die Intralogistik
		AMR Versuchslabor
		Herausforderungen der kooperativen Fahrt: Analysen und Ergebnisse
		Ausblick



Die Darstellung der zukünftigen Anforderungen an die Intralogistik hebt hervor, wie wichtig der Grad der Digitalisierung in diesem Bereich ist und wird. Es zeigt, dass sich die Logistik zunehmend von einer reaktiven, also nur reagierenden, hin zu einer aktiven und mitgestaltenden Rolle wandelt. Zudem wird die Bedeutung von autonomen und selbstorganisierten Systemen betont, die die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Logistik erhöhen. Insgesamt wird die Intralogistik in Zukunft immer intelligenter, autonomer und anpassungsfähiger, um den sich ständig ändernden Anforderungen gerecht zu werden.



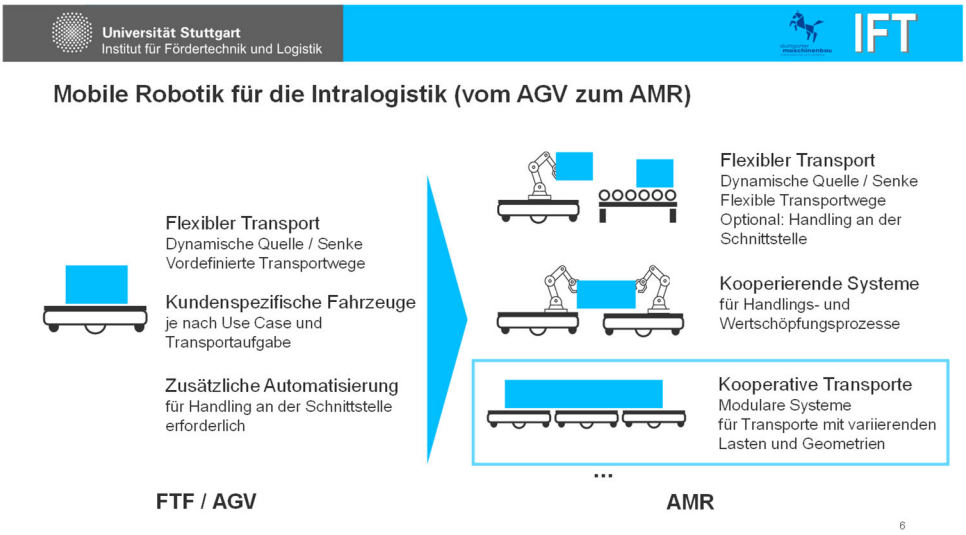
In klassischen Organisationsformen, wie Einzelplatzsystemen, Werkstattfertigung, Gruppenfertigung und Linienfertigung, sind die Funktionsumfänge der Betriebsmittel fest definiert. Eine Anpassung dieser Systeme ist nur mit großem Aufwand möglich und bedingt einen generellen Systemumbau, der in der Regel einen Stillstand des gesamten Produktionssystems nach sich zieht.

Demgegenüber stehen stetig kürzer werdende (Produkt-)Innovations- und Produktionszyklen, zunehmende Teilevarianz durch neue Technologien und Innovationen, Produktoffensiven und Individualisierung von Produkten. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind flexible und wandlungsfähige Produktions- und Logistiksystem erforderlich.

Mass Customization bezeichnet die Verknüpfung von Massenproduktion mit individuellen Produkten, die nach Anforderungen des Kunden hergestellt werden. Vorteile der Massenproduktion wie Skaleneffekte und Automatisierung bleiben dabei erhalten. Mass Customization ist auch ein wesentliches Ziel der Industrie 4.0. (Quelle: Wikipedia)

Die ARENA2036 bildet als Forschungscampus eine Innovationsplattform für die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft mit Schwerpunkt Mobilität der Zukunft. Diese Zusammenarbeit findet direkt in der wandlungsfähigen Fabrikhalle statt, die als offener Co-Working Space dient. Durch die Zusammenarbeit in heterogenen Projektgruppen wird ein Kompetenztransfer zwischen Industrie und Wissenschaft ermöglicht. So werden vor allem Forschungsergebnisse außerhalb der etablierten Lösungsräume angestrebt, gefördert und unterstützt.

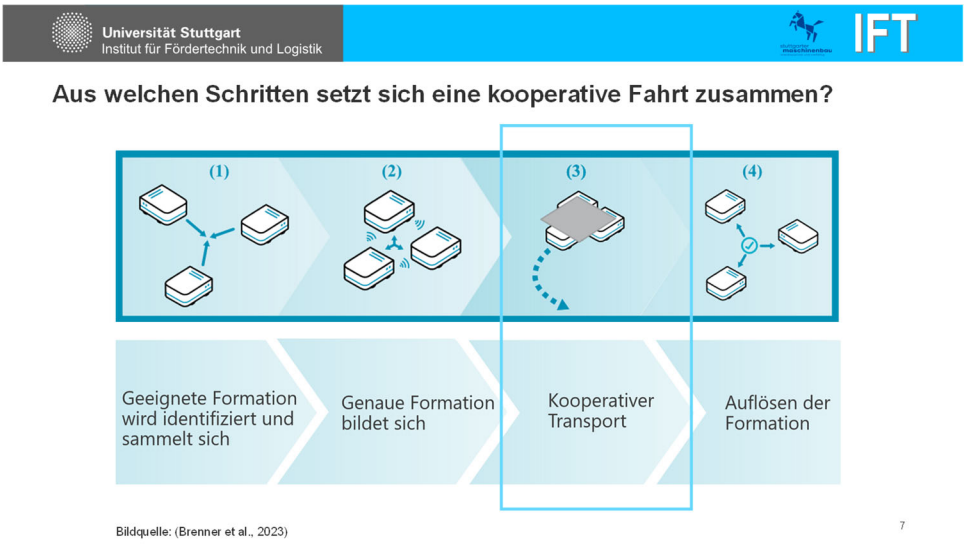
Die Mitglieder sind in verschiedenen Disziplinen – von der Automobilbranche über Luft- und Raumfahrttechnik, Textil- und Materialforschung bis hin zur Arbeitswissenschaft – tätig. Mit dem Standort Stuttgart liegt der Fokus auf Automobil und Produktion, daher ist der Blick auf das Jahr 2036 gelegt – das 150-jährige Jubiläum des Automobils.



Die Mobile Robotik für die Intralogistik beschreibt den Einsatz von beweglichen Robotern innerhalb von Lagerhäusern und Produktionsstätten, um den Materialfluss effizienter zu gestalten. Dabei erweitern sich die Einsatzgebiete der klassischen AGV (Automated Guided Vehicle) und werden um sogenannte AMR (Autonomous Mobile Robot) ergänzt.

AGVs sind fahrerlose Fahrzeuge, die meist auf vorgegebenen Wegen oder Linien fahren, um Güter zu transportieren. Sie sind zuverlässig, aber in ihrer Flexibilität eingeschränkt, da sie festen Routen folgen. AMRs hingegen sind deutlich intelligenter. Sie nutzen Sensoren, Kameras und KI, um ihre Umgebung zu erkennen und eigenständig Routen zu planen. Dabei sollen AMR zukünftig auch zusätzliche Handlingprozesse und kooperierende Transporte ausführen können. Das macht sie flexibler und anpassungsfähiger, was in der dynamischen Welt der Intralogistik ein großer Vorteil ist.

Ein Wandel vom AGV zum AMR bedeutet, dass die Logistiksysteme immer autonomer, smarter und effizienter werden, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Dennoch werden auch zukünftig AGV für Einsatzgebiete in definierten Logistik- und Produktionsbereichen aufgrund ihrer hohen Robustheit und Verfügbarkeit eingesetzt.



Schritte, die notwendig sind, um einen kooperativen Transport durchzuführen:

1. Zuerst muss eine geeignete Formation gefunden werden und die Fahrzeuge müssen sich an der vorgesehenen Stelle versammeln

2. Dann muss die gewählte oder notwendige Formation gebildet werden, wobei sichergestellt werden muss, dass sich jedes Fahrzeug an der richtigen Stelle befindet

3. Dann folgt der eigentliche Transport im Verbund

4. Und schließlich die sichere Auflösung der Formation, nachdem die Transportaufgabe erledigt ist

Herausforderungen der kooperativen Fahrt / Kooperativer Transport

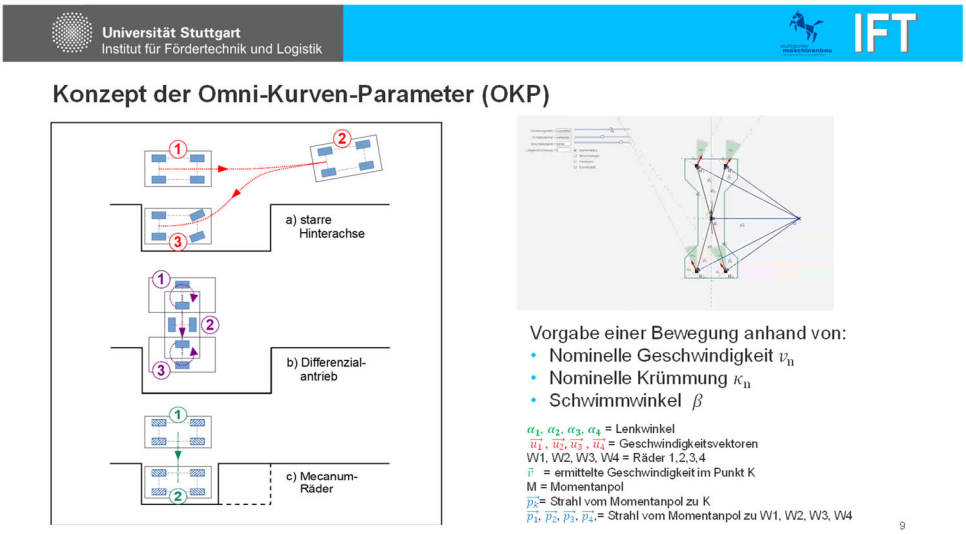
Chancen

- **Reduzierung der Varianz**
  Statt vielen unterschiedlichen Fahrzeugtypen wird nur noch ein Typ benötigt.
- **Ein System für mehrere Use-Cases**
  Einzelne Fahrzeuge können jeweils kleine Stückgüter transportieren oder im Verbund größere
- **Höhere Auslastung**
  Alle Fahrzeuge können für jede Transport-aufgabe genutzt werden, was ihre Auslastung erhöht.

Risiken

- **Sicherheitskonzept**
  gemeinsame Schutzfelder und gemeinsamer Nothalt
- **Kommunikationskonzept**
  zuverlässig und sicher
- **Positionsregelung der Fahrzeuge**
  Einhalten der Abstände und Ausrichtungen
- **Zentraler Auftragsmanager**
  Zuweisung der Aufträge an definierte AMR

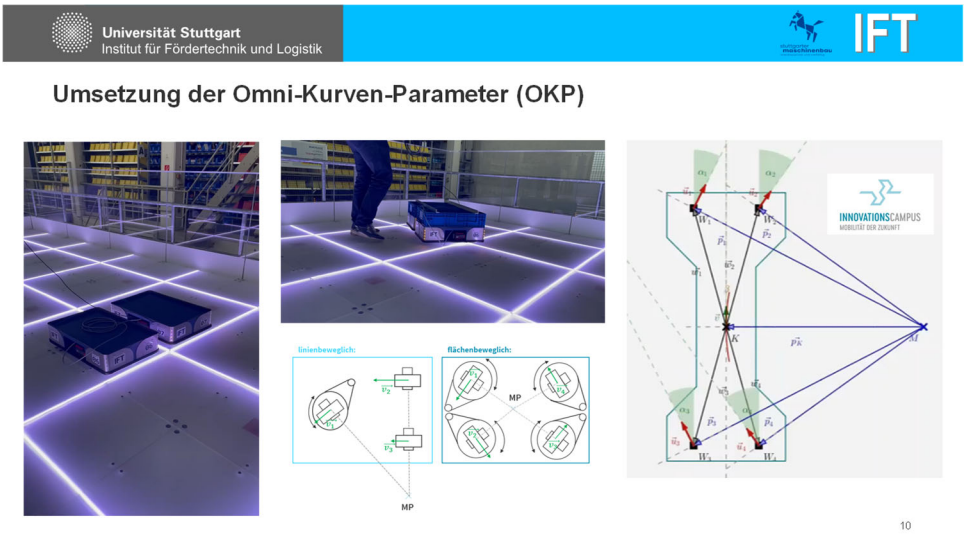
→ **Einsparung von Kosten und Ressourcen**



Die vielfältigen Bewegungsmöglichkeiten unterschiedlicher Radfahrwerke und Fahrwerkskonzepte können mit Hilfe der Omni-Kurven-Parameter in einheitlich normierten Steuergrößen beschrieben werden. Die Beweglichkeit eines Fahrwerks wird hauptsächlich durch den Grad der Manövrierbarkeit in schienen-gebunden, linienbeweglich und flächenbeweglich klassifiziert, was der Anzahl der frei nutzbaren Omni-Kurven-Parameter entspricht.

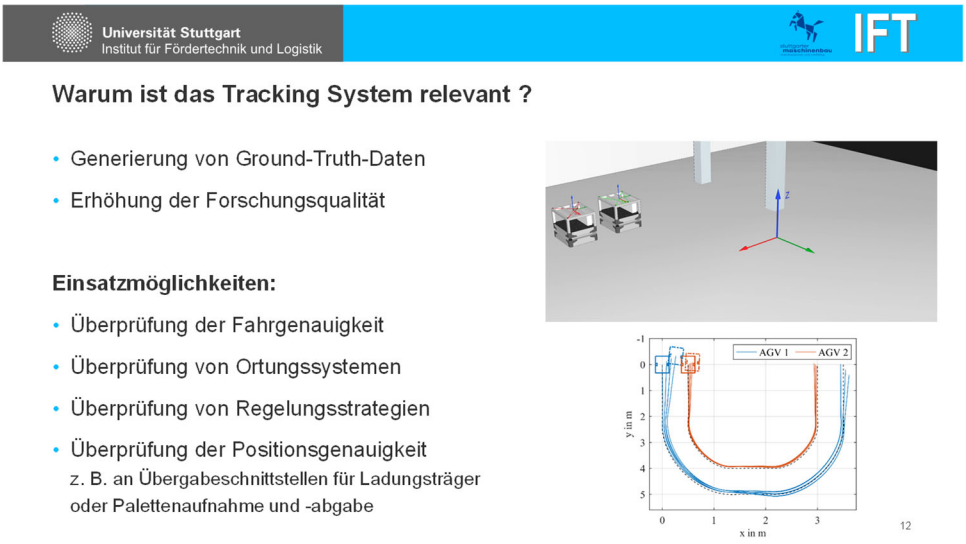
Das in Abbildung 1 b) gezeigte Fahrwerk mit Differentialantrieb kann aufgrund der begrenzten Lenkwinkel nicht einfach quer einparken. Die Ackermannlenkung a) ist hingegen nur linienbeweglich und muss eine komplexere Trajektorie verfolgen, während das Mecanum-Fahrwerk c) uneingeschränkt flächenbeweglich fährt. Diese Bewegungseinschränkungen müssen für jeden Fahrwerkstyp abhängig von den geometrischen Parametern und Bereichsgrenzen separat bestimmt werden.

Zur Ansteuerung beliebiger, insbesondere auch flächenbeweglicher Fahrwerke mit einem einheitlichen Satz an Steuergrößen werden die Omni-Kurven-Parameter eingeführt. Deren Ziel ist die intuitive und gleichartige Bewegungsvorgabe unter Berücksichtigung der jeweils verfügbaren Freiheitsgrade.

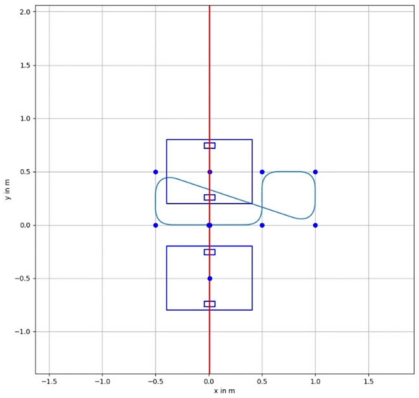


- Einheitliche Ansteuerung von kooperativen Fahrten unabhängig der Fahrzeugkonfiguration
- Verschiedene Fahrzeuge mit unterschiedlichen Fahrwerkskonzepten können kooperieren
- Die Grenzen des Verbundes können einfach dargestellt und betrachtet werden
- Eine Pfadplanung für den gesamten Fahrzeugverbund kann realisiert werden
- Effizientes Kommunizieren über die OKP, dadurch Reduzierung der Kommunikation auf verschiedenen Ebenen

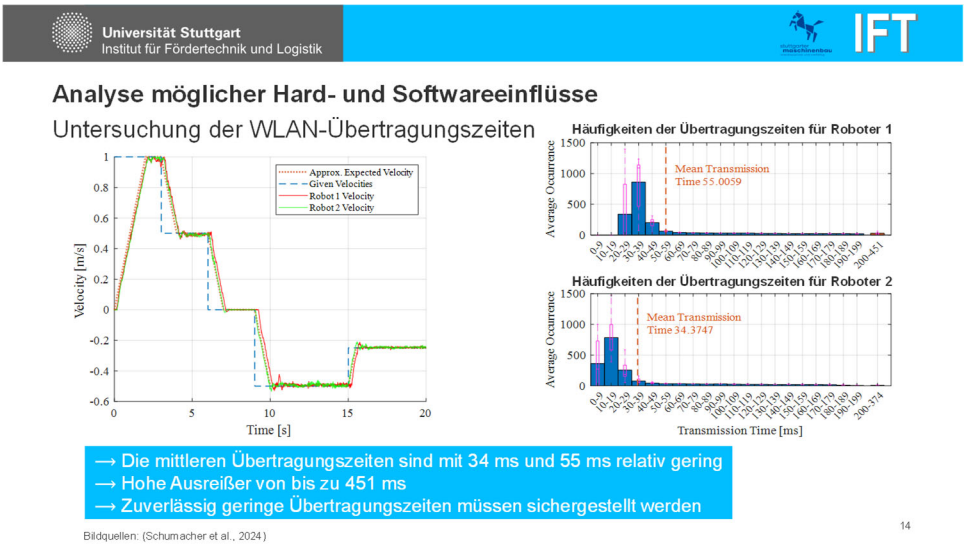
Das AMR Versuchslabor besteht aus zwei mobilen Robotern und einem markerbasierten Trackingsystem des Herstellers Qualisys. Dieses System nutzt Infrarotkameras, die aktiv Infrarotlicht aussenden. Reflektierende Marker in Form kleiner Kugeln werden an den Robotern oder anderen zu vermessenden Objekten befestigt. Das von den Markern zurückgeworfene Infrarotlicht wird von den Kameras erfasst. Sobald mindestens zwei Kameras denselben Marker gleichzeitig erkennen, kann dessen räumliche Position präzise bestimmt werden. Werden auf einem Objekt mindestens drei Marker angebracht, lässt sich neben der Position auch dessen Orientierung im Raum berechnen. Auf diese Weise ist eine genaue Erfassung von Lage und Bewegung der Roboter sowie anderer Objekte innerhalb des Versuchsraums möglich.



Das obere Bild zeigt eine Ansicht aus dem Aufnahmeprogramm des Trackingsystems, dem Qualisys Track Manager. In die Software wurden 3D-Modelle der verwendeten Fahrzeuge sowie der Versuchshalle eingebunden. Dadurch ist es möglich, nicht nur die Positionen der einzelnen Marker anzuzeigen, sondern auch die Bewegung der Fahrzeuge visuell darzustellen. Im unteren Bild ist die Auswertung der erfassten Bewegungsdaten in MATLAB dargestellt. Hier wurden sowohl die Start- und Endpositionen der Roboter als auch die jeweiligen Verläufe der Mittelpunkte während der Fahrt eingezeichnet. Gezeigt wird eine wiederholte Bewegung entlang einer u-förmigen Trajektorie, die von beiden Fahrzeugen jeweils dreimal vorwärts und rückwärts abgefahren wurde.



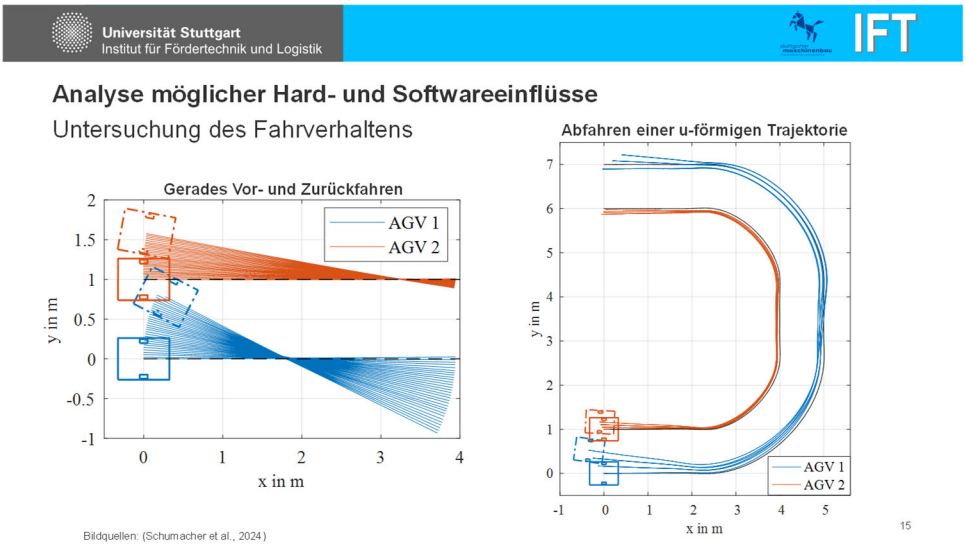
Es wurde ein Simulationsmodell in Python entwickelt, mit dem das Abfahren einer definierten Trajektorie durch mehrere Fahrzeuge simuliert werden kann. Die in der Simulation eingesetzten Module können unmittelbar für die reale Ansteuerung der Fahrzeuge verwendet werden. Dadurch wird ein effizienter Übergang von der Simulation zur praktischen Umsetzung ermöglicht. Neue Algorithmen oder Steuerungsstrategien lassen sich somit zunächst virtuell testen und anschließend schnell im realen System evaluieren.



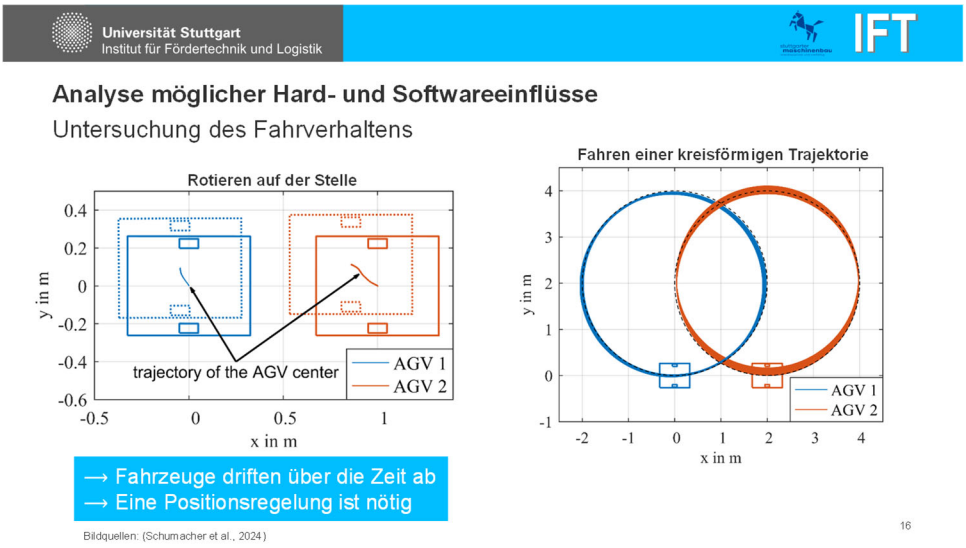
In 30 Testläufen wurden identische Fahrbefehle per TCP/IP-Verbindung synchron an beide Roboter gesendet. Die Übertragung erfolgte mit 100 Hz, die Nachrichten wurden jeweils mit ID und Zeitstempel versehen.

Die beiden rechten Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilungen der mittleren Übertragungszeiten. Trotz geringer mittlerer Latenz gibt es teils deutliche Ausreißer in den Übertragungszeiten von bis zu 451 ms.

Die linke Abbildung zeigt exemplarisch die vorgegebenen und tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten eines Testlaufs. Zwischen den beiden Verläufen ist ein leichter Versatz zu erkennen, welcher auf die Latenzen zurückzuführen ist. (Schumacher et al., 2024)



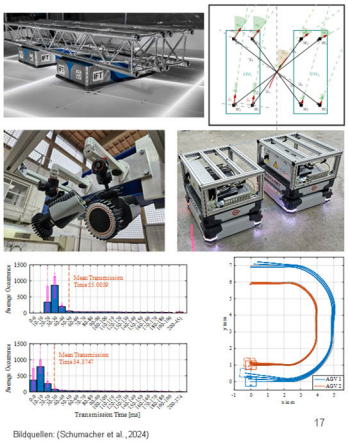
Mit den beiden Karis-Fahrzeugen wurden verschiedene Trajektorien ohne aktive Positionsregelung abgefahren. Die Fahrzeugpositionen wurden dabei mithilfe des kamerabasierten Trackingsystems erfasst. Die linke Abbildung zeigt das Ergebnis von 31 Wiederholungen einer geradlinigen Fahrt über jeweils vier Meter vorwärts und rückwärts. Bei idealer Trajektorienfolge wären lediglich zwei horizontale Linien sichtbar, entsprechend den gestrichelten Referenzlinien. Tatsächlich ist jedoch ein deutliches Abdriften der Fahrzeuge zu erkennen. Ein ähnliches Verhalten zeigt sich in der rechten Abbildung, in der eine u-förmige Trajektorie dreimal vor- und zurückgefahren wurde. Auch hier kommt es im Verlauf zu erheblichen Abweichungen. (Schumacher et al., 2024)



Auch das Rotieren der Fahrzeuge auf der Stelle (Abbildung links) und im Kreis (Abbildung rechts) führt zu einem Abdriften der Fahrzeugpositionen. Als Ursachen für das Abdriften kommen unter anderem Fertigungstoleranzen, Bodenunebenheiten, Latenzen in der Steuerung, Radverschleiß oder das Abrollverhalten der Räder in Betracht. Sofern die Fahrzeuge nicht starr verbunden sind, müssen die Positionen und Ausrichtungen der Fahrzeuge daher geregelt werden. (Schumacher et al., 2024)

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

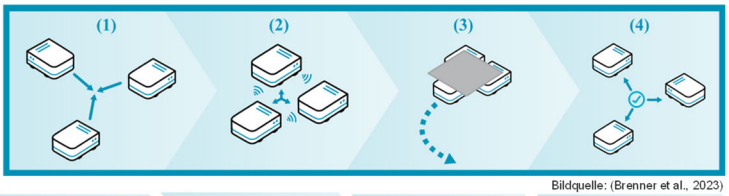
- Kooperative Fahrten bringen Chancen und Herausforderungen mit sich
- Das Omni-Kurven-Parameter-Konzept zur Ansteuerung beliebiger Fahrzeugkonfigurationen wurde entwickelt
- Ein AMR-Versuchslabor wurde eingerichtet
  - industrietaugliche mobile Roboter
  - hochpräzises Trackingsystem
- Fahrzeuge driften über die Zeit auseinander
  ⟶ Eine Positionsregelung ist nötig
- WLAN-Übertragungszeiten zeigen starke Ausreißer
  ⟶ Eine zuverlässige, sichere Kommunikation ist nötig



Bildquellen: (Schumacher et al.,2024)

Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik
IFT

Ausblick



Bildquelle: (Brenner et al., 2023)

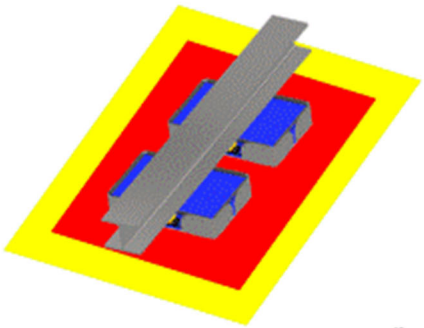
Geeignete Formation wird identifiziert und sammelt sich	Genaue Formation bildet sich	Kooperativer Transport	Auflösen der Formation
AMR für den Verbund identifizieren	Master / Slave Formation festlegen	Sicherheits- und Kommunikationskonzept	Ende der Kooperation sicher bestätigen

Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik

IFT

Ausblick / Folgeprojekt zum Thema Sicherheitskonzepte

- Sichere Identifikation anderer Fahrzeuge
- Dynamische Bildung und Aufhebung eines gemeinsamen Sicherheitsbereichs
- Ein Nothalt muss zu einem sicherem und synchronem Stoppen aller Fahrzeuge führen



19

Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik

Vielen Dank!

Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz

Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik
Holzgartenstr. 15 B
D-70174 Stuttgart
Tel.: +49 711 685-83771
Mail: robert.schulz@ift.uni-stuttgart.de
Web: www.ift.uni-stuttgart.de

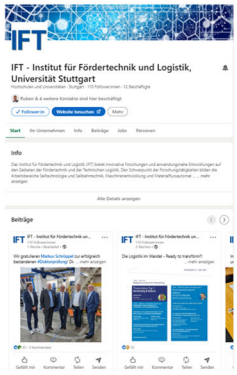
Download

Literaturverzeichnis

(Brenner et al., 2023)	Brenner, C.; Enke, C.; Schumacher, P.; Schröppel, M.; Schulz, R.; Furmans, K.: Decentralized Cooperative Transport in Heterogeneous Robot Fleets Through Four Levels of Communication based on Omni-Curve-Parameters. Logistics Journal 2023
(Schumacher et al., 2024)	Schumacher, P.; Karzel, L.; Enke, C.; Brenner, C.; Schröppel, M.; Furmans, K.; Schulz, R.: Examining the challenges of mobile robots to perform collaborative transports considering industry experts in-sights and hardware experiments. Logistics Journal 2024
(acatech, 2022)	Fraunhofer IPA & Fraunhofer IWU: Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen, angelehnt an Eversheim 1996, S. 103, 135, Wöhe/Döring 2000, S. 442, Spath et al. 2014, S. 10.10, erweitert durch Matrix-Produktionssysteme

Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik
IFT

Das IFT in sozialen Medien



AGV vs. AMR

	AGV	AMR
Navigation	Liniengeführte Navigation, keine eigene Intelligenz	autonom, eigene Intelligenz
Sicherheit	Stoppt bei Hindernissen	Umfährt Hindernisse
Installation	Erfordert bauliche Maßnahmen	Einfach und schnell
Flexibilität	Schwierig zu verändern/skalieren	Einfach und schnell zu verändern/ skalieren
Zuverlässigkeit	Sehr zuverlässig	Schwer berechenbar
Einsatzgebiete	Interne Transportaufgaben aller Art	Interne Transportaufgaben aller Art
Investment	Anschaffungskosten günstig, zusätzliche bauliche Kosten	Höherer Anschaffungswert, keine baulichen Maßnahmen

Quelle: Knapp

Universität Stuttgart
Institut für Fördertechnik und Logistik
IFT

MASTER:ONLINE Logistikmanagement – Onlinebasierte Weiterbildung

- **Masterstudium** mit dem Abschluss „Master of Business and Engineering in Logistics Management (MBE)“
  - Studiendauer ab 3 Semester
  - Abschluss berechtigt zur Promotion
- **Kontakt- bzw. Zertifikatsstudium**: individuelle Belegung von Einzelmodulen
  - Studiendauer ab 1 Semester
  - Anerkennung für späteres Masterstudium möglich
- **Berufsbegleitend** und flexibel
- **akkreditiert** durch die AAQ
- **technische und betriebswirtschaftliche** Inhalte

Klick hier https://www.mol.uni-stuttgart.de/

LEARNING MASTER:ONLINE Logistikmanagement

Von der Idee bis zum Industrieeinsatz: Der celluveyor im Einsatz rund um die Welt

Hendrik Thamer

cellumation

We make You Move

Weniger Fläche. Mehr Flexibilität. Effizientere Materialflüsse.

THIS PRESENTATION IS CONFIDENTIAL AND MAY ONLY BE USED BY CELLUMATION.

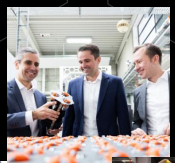
3800+
Zellen im Einsatz

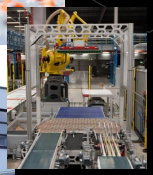
12
internationale Einsatzorte

19
Patente

30+
Kunden

70+
Mitarbeiter





We make – you move.

Gegründet 2017

Wir sind Technologieanbieter,
Experten für Effizienz und
Partner für den Materialfluss
von Morgen.

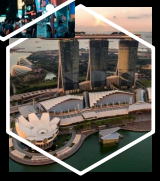
2

International

Globales Netzwerk

SEOUL, SÜDKOREA

mit MELCHERS



SINGAPUR

ASEAN Region mit MELCHERS

BREMEN, GERMANY

Hauptsitz und Produktion

HOUSTON, USA

Sitz der cellumation Inc.

Südamerika

Ein spezialisiertes Sales-Team

3

cellumation

Unser Ziel

In Zukunft wird jedes weltweit ausgelieferte Paket eine celluveyor Zelle ausgeliefert haben.

cellumation

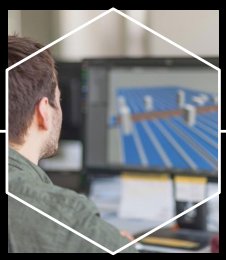
Von der Idee zur Innovation

Fußballroboter
von den
CM Dragons

5

celluveyor Kurzform für cellular conveyor

Drei Elemente – Ein System



Software

Vision system

Hardware

7

CELLUVEYOR

Vorteile der Technologie

leistungsstark

Omnidirektionale Bewegungen ermöglichen effizienten Materialfluss, mit bis zu 1,15 m/s.

platzsparend

4 hexagonale Zellen genügen, um eine Vielzahl von komplexen Materialflussbewegungen zu realisieren.

plug & play

Schnelle Inbetriebnahme & Systemerweiterungen.

modular & skalierbar

Flexible Anordnung von identischen Zellen schafft unbegrenzte Layoutmöglichkeiten und Erweiterungen.

einfache Wartung

Zellentausch in < 5 min.

8

ONE-MODEL-HARDWARE + SOFTWARE

Softwarebasierte Fördertechnik

Das Prinzip ist simpel:

Die Hardware bleibt gleich, die Software definiert die Funktion.

9

Digital by design

Funktionsweise

Vision-System
Selbstentwickelte Bilderkennung für 3D-Kameras

Industrial PC
Leistungsstarke Prozessoren für blitzschnelle Datenverarbeitung, die kollisionsfreie Routen für mehrere Objekte auf einmal berechnen

celluveyor surface
Präzise steuerbare Omniwheels ermöglichen 360° Bewegungsfreiheit

10

RANGE DER OBJEKTE

Was kann der celluveyor bewegen?

Wir bewegen fast alles:

Pakete, Säcke, Trays, Folienware, Sackware, Beutel, KLTs und die meisten im E-Commerce verwendeten Beutel.

Lassen Sie uns Ihre Waren testen!

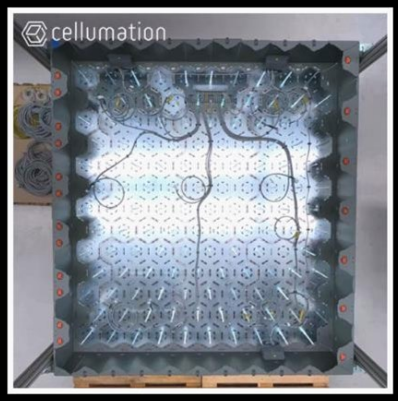
11

Modular wie Lego-Bausteine

celluveyor = cellular conveyor

Schnelle Montage, zügige Integration und einfache Wartung dank echter Flexibilität.

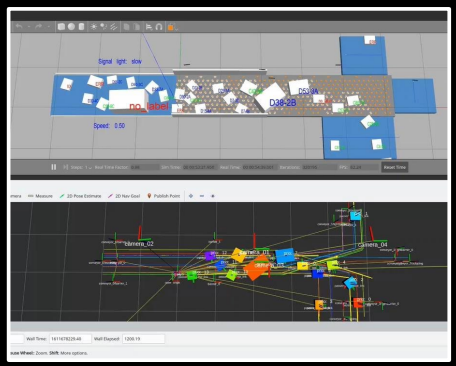
Der Kunde zahlt für das System, nicht für die Einrichtung.

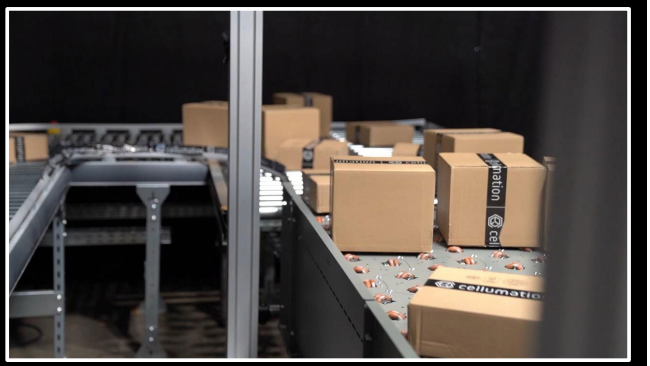


12

Software-getriebener Fortschritt

Intelligente Pfadplanung & Digital Twins





13

cv.DEPAL

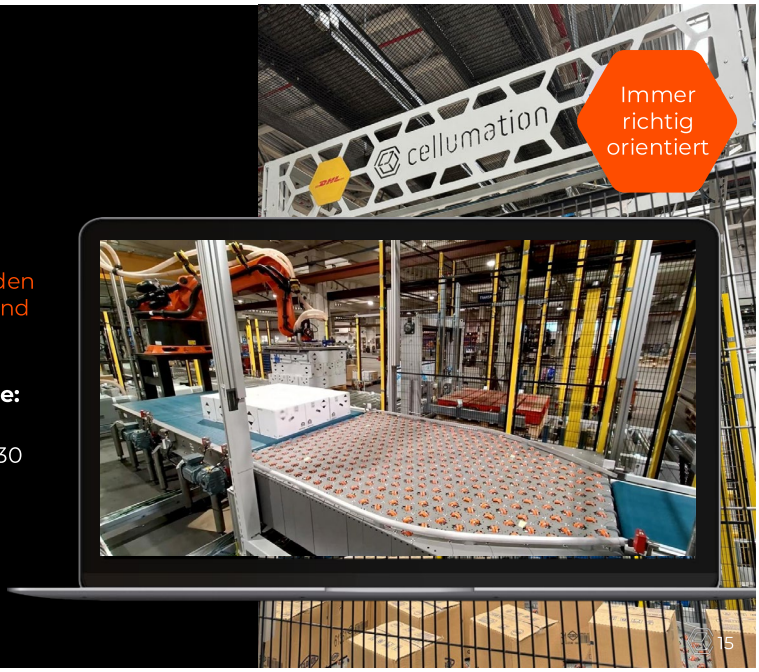
Lagen Vereinzelung

Palettenlagenvereinzelung für jeden Palettentyp, Objektausrichtung und Lückenbildung: Erkennung von Mustern im laufenden Betrieb.

Durchsatz in Paketen pro Stunde: bis zu 6.000 Stück pro Stunde.

Grundfläche (Länge x Breite): 1230 mm x 1762 mm

Mindestobjektgröße: 150 mm (Länge) x 150 (Breite) mm x 1 mm (Höhe) - 100 g (Gewicht)



Lagen-vereinzelung

Sparen Sie bis zu57 m² Platz!

- Platz für 45 weitere Paletten ungestapelt nebeneinander
- 20 Shetlandponys in artgerechter Haltung
- und vieles mehr

17

REFERENZ – Juni 2022

Ceratec – Covivins, Belgien

Ziel: Lagenvereinzelung vor einem Hochregallager auf kleinem Raum

Verarbeitung aller Lagenformate: Flexibilität für zukünftiges Wachstum - Durchsatzerhöhung per Software-Update

Schonende Bewegungen: Kippgefährdete Objekte können anders bewegt werden als andere Objekte

Zwei Ausgänge: Das System ist vormontiert & die Software vorinstalliert

18

cv.CROSSDOCK

Sortieren & Verteilen

Multi In- & Outbound Sorting mit Objektausrichtung und Gapping

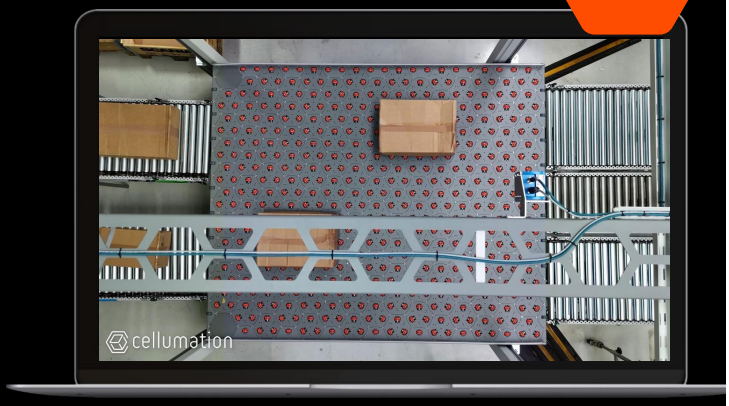
Durchsatz in Paketen pro Stunde: bis zu 6.000 Stück pro Stunde.

Grundfläche (Länge x Breite): 1100 mm x 1540 mm

Mindestobjektgröße: 150 mm (Länge) x 150 (Breite) mm x 1 mm (Höhe) - 100 g (Gewicht)

VIDEO LINK

immer richtig orientiert



19

REFERENZ – August 2020

FS – Solution – DHL Greven, Germany

VIDEO LINK

Ziel: Ausfälle eliminieren und Leistung steigern

Einfache & schnelle Integration in 48 Stunden Flexibilität für zukünftiges Wachstum - Durchsatzsteigerung per Software-Update

Robuste Technologie: < 20.000 Betriebsstunden seit Integration; Transport von ca. 50 Millionen Objekten

Leistungssteigerung: Vorher: 2500 pph - Nachher: 3500 pph (2 Schichten 6 Tage / Woche) - Parallelförderung steigert Leistung auf kleinem Raum

20

REFERENZ - 2023

Verdnatura – Valencia, Spanien

VIDEO LINK

Ziel: Optimierung des Versandprozesses

Skalierbarkeit: Flexibilität für zukünftiges Wachstum - Erhöhung des Durchsatzes durch Software-Update

Nachhaltigkeit: Beschädigte, wiederverwendete Kartons können einfach umgelagert werden.

Einfache Integration: Das System ist vormontiert und die Software vorinstalliert

21

cv.PAL

Lagenvorformung

VIDEO LINK

Lagenbildung für jeden Palettentyp, inkl. Lagenbildungssoftware cv.PAL App und keine Umstellungszeit zwischen Lagenbildern erforderlich

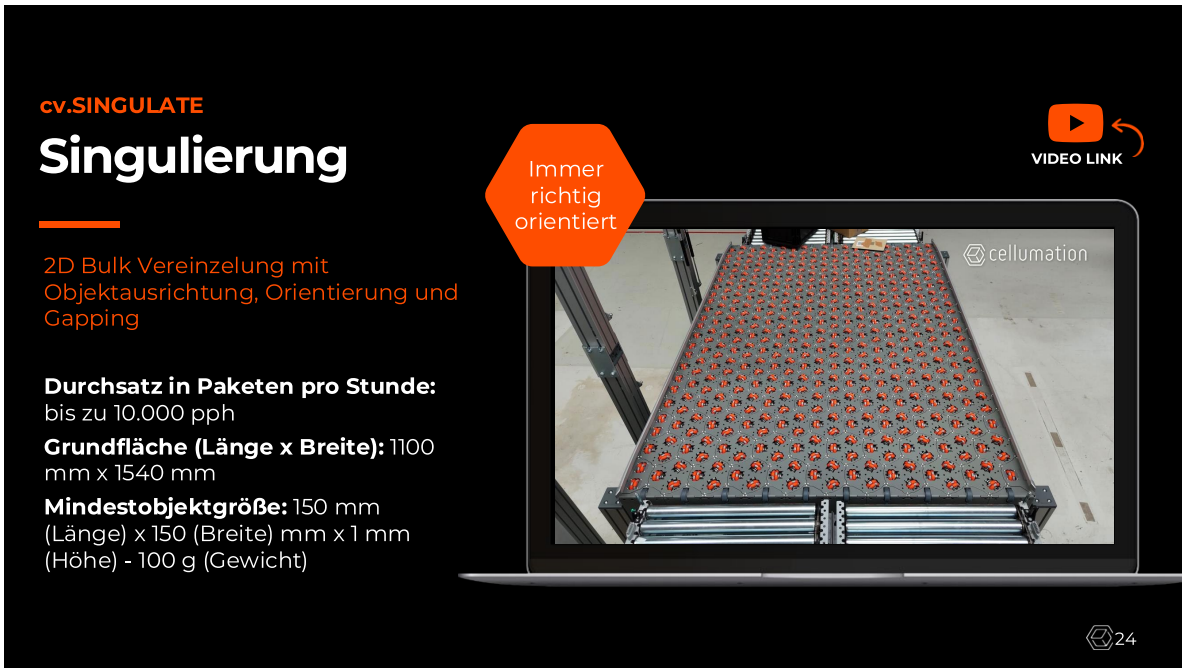
Durchsatz in Paketen pro Stunde: bis zu 6.000 pph

Grundfläche (Länge x Breite): 1230 mm x 1236 mm

Mindestobjektgröße: 150 mm (Länge) x 150 (Breite) mm x 20 mm (Höhe) - 100 g (Gewicht)

22

cv.PAL
Palettenlagenvorformung
Immer orientiert wie gewünscht
2017
2024
23


cv.SINGULATE
Singulierung
2D Bulk Vereinzelung mit Objektausrichtung, Orientierung und Gapping
Durchsatz in Paketen pro Stunde: bis zu 10.000 pph
Grundfläche (Länge x Breite): 1100 mm x 1540 mm
Mindestobjektgröße: 150 mm (Länge) x 150 (Breite) mm x 1 mm (Höhe) - 100 g (Gewicht)
Immer richtig orientiert
VIDEO LINK
cellumation
24

cv.INDUCT

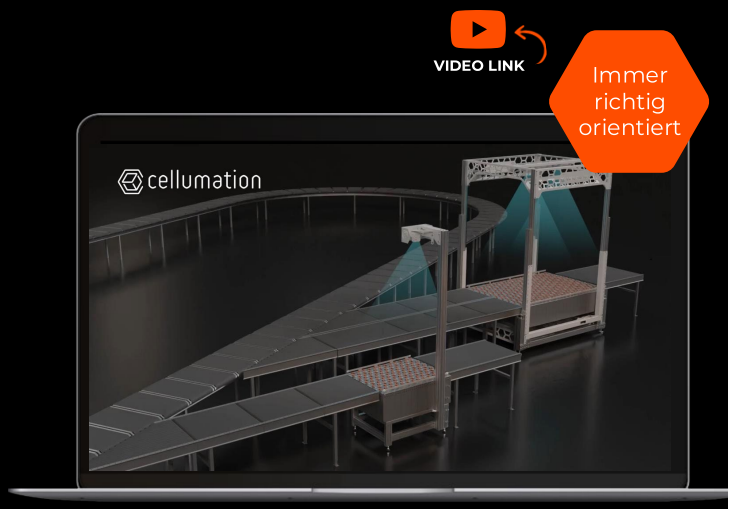
Sorter Induction

Sorter Induction mit Objektausrichtung, Orientierung und Gapping

Durchsatz in Paketen pro Stunde: bis zu 3.000 pph

Grundfläche (Länge x Breite): 1100 mm x 860 mm

Mindestobjektgröße: 150 mm (Länge) x 150 (Breite) mm x 1 mm (Höhe) - 100 g (Gewicht)



25

cv.ROTATE

Rotation

Präzise Objektrotation mit Objektausrichtung

Durchsatz in Paketen pro Stunde: bis zu 3.000 pph

Grundfläche (Länge x Breite): 1100 mm x 860 mm

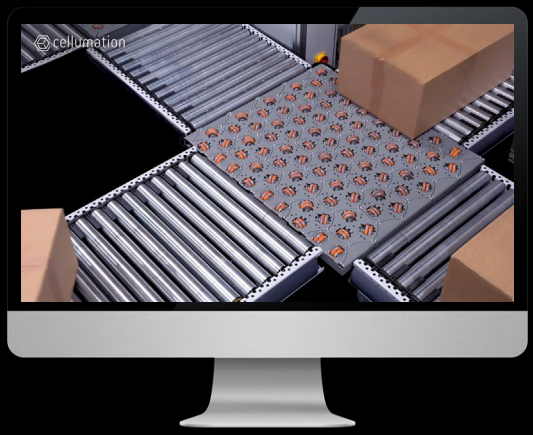
Mindestobjektgröße: 150 mm (Länge) x 150 (Breite) mm x 1 mm (Höhe) - 100 g (Gewicht)

26

cv.GO

Rotieren ohne Visionssystem

VIDEO LINK



Fliegende Rotation mit hoher Geschwindigkeit. Erhältlich in verschiedenen Größen zur Anpassung an alle Objekte und alle Nischen

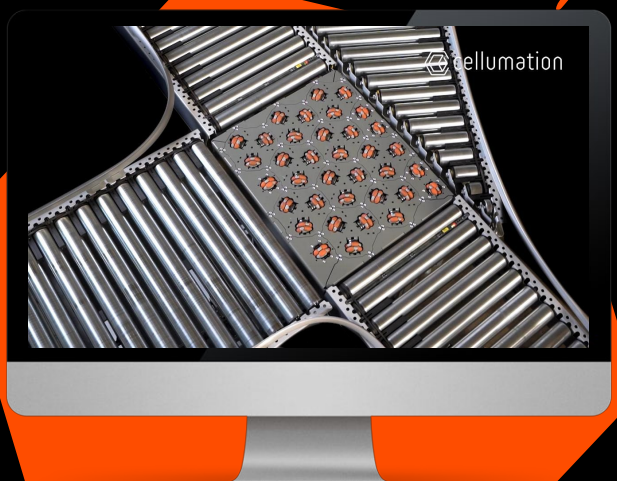
Durchsatz in Paketen pro Stunde: bis zu 1.858 pph bei Objektgröße 300 mm x 200 mm

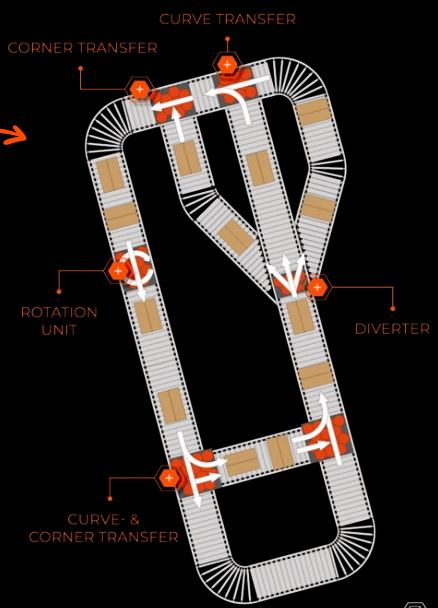
Mindestobjektgröße: 150 mm (Länge) x 150 (Breite) mm

27

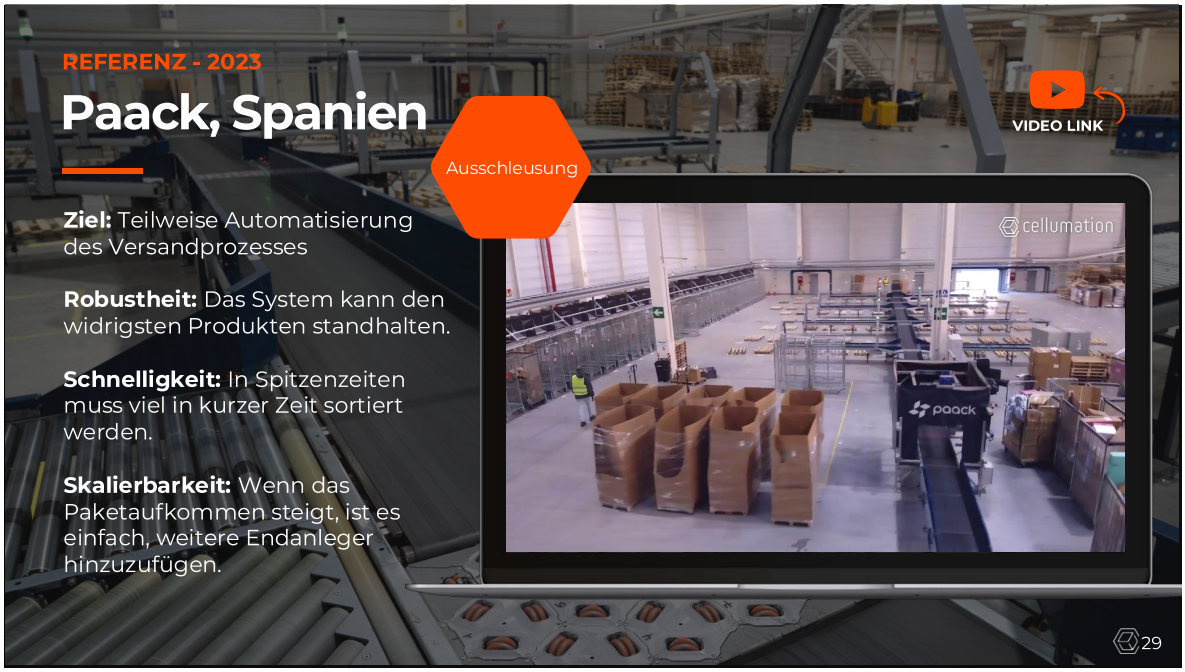
cv.GO

Funktionen





28


REFERENZ - 2023
Paack, Spanien
Ausschleusung
VIDEO LINK
Ziel: Teilweise Automatisierung des Versandprozesses
Robustheit: Das System kann den widrigsten Produkten standhalten.
Schnelligkeit: In Spitzenzeiten muss viel in kurzer Zeit sortiert werden.
Skalierbarkeit: Wenn das Paketaufkommen steigt, ist es einfach, weitere Endanleger hinzuzufügen.
cellumation
paack
29

cellumation
LET'S KEEP IN TOUCH
Dr.- Ing. Hendrik Thame
CEO & Co-Founder
cellumation GmbH
Mail: thamer@cellumation.com
Phone: +49 421 331135 0
Web: cellumation.com

Nachhaltigkeit im Fokus: LCA und EPD in Produkten und Systemen

Tobias Kucharz

KÖRBER

Center of Excellence Ecodesign

Nachhaltigkeit im Fokus: LCA und EPD in Produkten und Systemen

Tobias Kucharz – Logistikwerkstatt Graz – Mai 2025

Unsere Vision

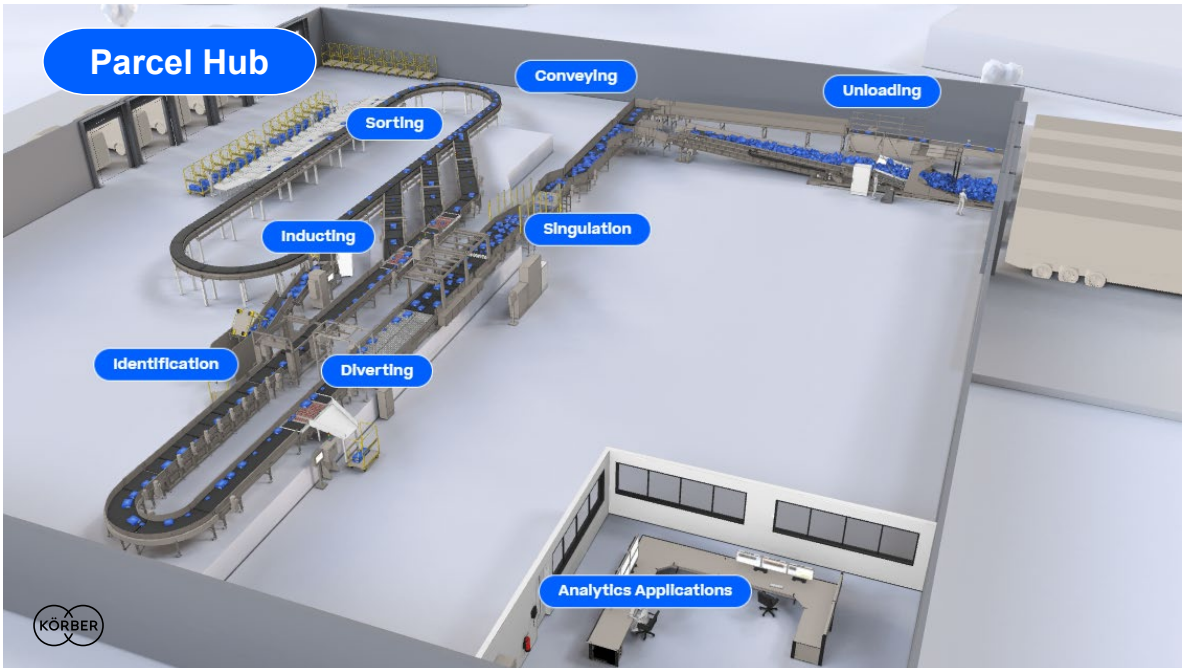
Market leadership through technology leadership

2.8
Mrd. Euro
Umsatz 2024

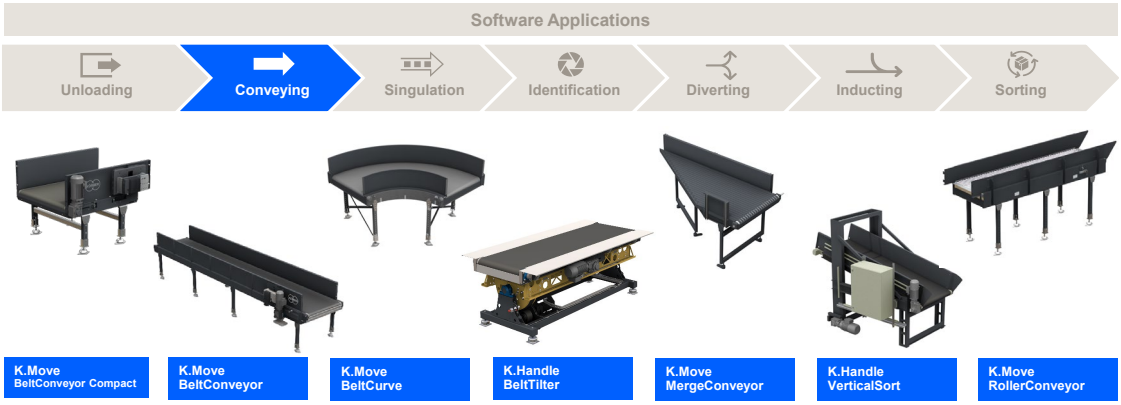
192
Mio. Euro
für Forschung und Entwicklung

3.0
Mrd. Euro
Auftragseingang 2024

Ökosysteme
für ganzheitliche Lösungen



Parcel Product Portfolio
Conveying



From the Top – Was ist SBTi.

Mehr Informationen: Homepage SBTi - [Companies taking action - Science Based Targets Initiative]

Im Rahmen der Science Based Targets Initiative werden Standards, Instrumente und Leitlinien entwickelt, die es ermöglichen, Unternehmen auf, Ziele für die Verringerung der Treibhausgasemissionen (THG) Festzulegen.

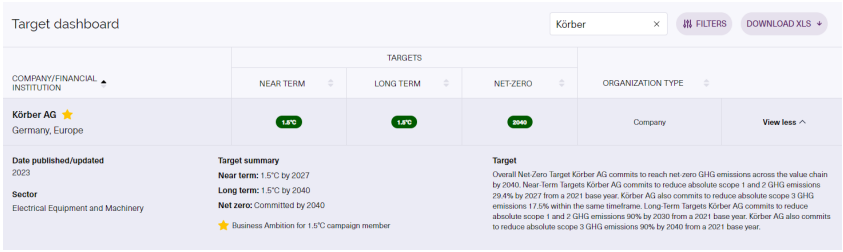
SCIENCE BASED TARGETS
DRIVING AMBITIOUS CORPORATE CLIMATE ACTION

Our funders

- Bezos Earth Fund: *Core*
- IKEA Foundation: *Core*
- Laudes Foundation: *Project-specific*
- Bloomberg Philanthropies: *Project-specific*
- Climate Arc - Rockefeller Philanthropy Advisors: *Project-specific*
- Moore Foundation: *Project-specific*

Past funders

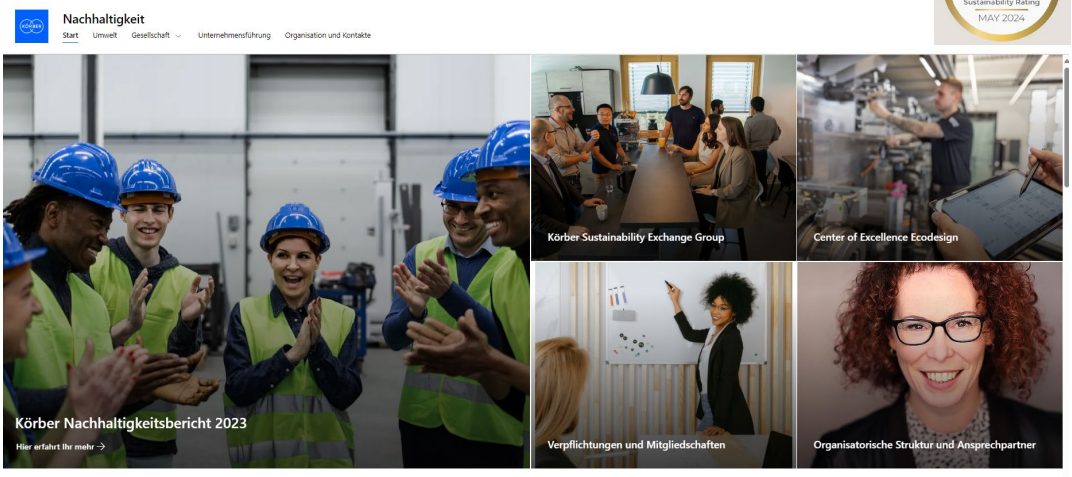
- Hewlett: *Project-specific*
- Rockefeller Brothers Fund: *Project-specific*
- UPS Foundation: *Project-specific*
- Amazon: *Core*
- Lafarge Holcim: *Project-specific*
- Arcelor Mittal: *Project-specific*
- Danone: *Project-specific*
- IKEA Supply AG: *Project-specific*



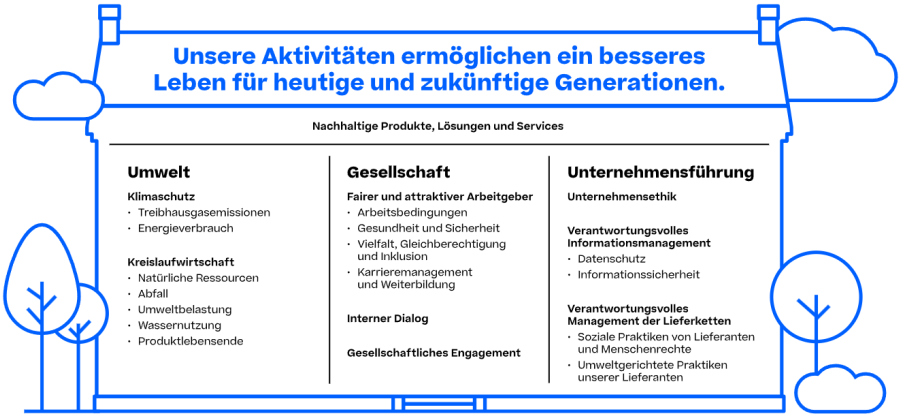
Was macht Körber um die SBTi Ziele zu erreichen

Mehr Informationen findet ihr in unserem Nachhaltigkeitsbericht 2023 - [Koerber_SR2023_dt.pdf]

GOLD | Top 5%
ecovadis
Sustainability Rating
MAY 2024



Körber: Nachhaltige Produkte, Lösungen und Dienstleistungen



Durch den engen Dialog und die Interaktion mit unseren wichtigsten Stakeholdern verstehen wir ihre Anliegen beim Thema Nachhaltigkeit – und gehen darauf ein.

Wir vereinen ökologische, technische und ökonomische Überlegungen

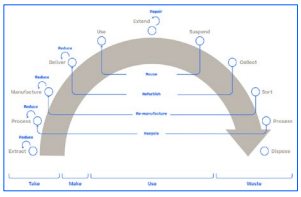
Center of Excellence Ecodesign

Ecodesign

Der Leitfaden gibt Ingenieuren und Designern das notwendige Rüstzeug an die Hand, um Aspekte des umweltfreundlichen Entwerfens in ihre Ingenieurprojekte zu integrieren.

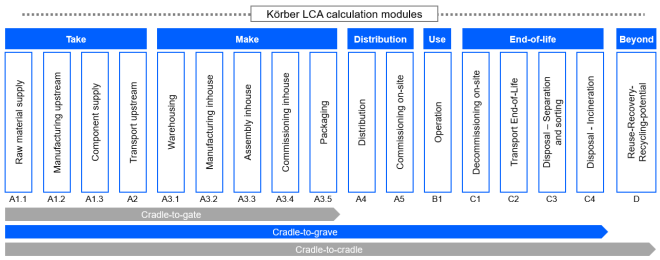
Circular Economy

Die Kreislaufwirtschaft ist ein wirksamer Ansatz, um Energie- und Stoffkreisläufe zu verlangsamen, zu reduzieren oder im Idealfall sogar zu schließen. Wir wollen unseren Beitrag leisten, indem wir Abfall, Ressourcen und Emissionen reduzieren.

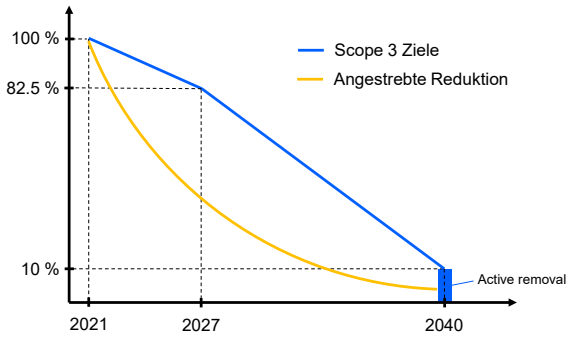


Life Cycle Assessment

Unsere Norm definiert Grundsätze und Anforderungen für die Quantifizierung und Berichterstattung der Umweltauswirkungen eines Produkts in Übereinstimmung mit ISO 14067 mit Schwerpunkt auf Treibhausgasemissionen.



Nachhaltigkeit als ein Wettbewerbsvorteil



Reduktionshebel:

- Erneuerbare Energie
- Verfügbarkeit und Transparenz von Daten
- Anwendung von Ecodesign

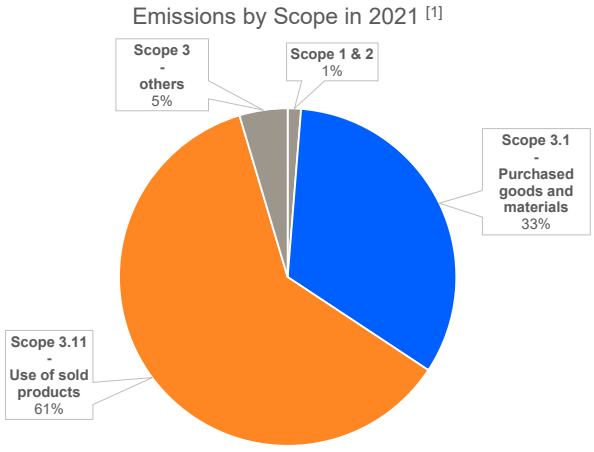
Ungewissheiten:

- Verfügbarkeit und Kosten der erneuerbaren Energie
- Vorhandener Wille zur Veränderung von Kunden und Lieferanten
- Politische Unterstützung
- Kosten für CO2e

CO2e, das Geld kostet, wird der nächste Maßstab zur Differenzierung

Scope 3 ist bei Körber der relevanteste Emissionswert

Hohes Reduktionspotenzial in der Entwicklung von Produkten



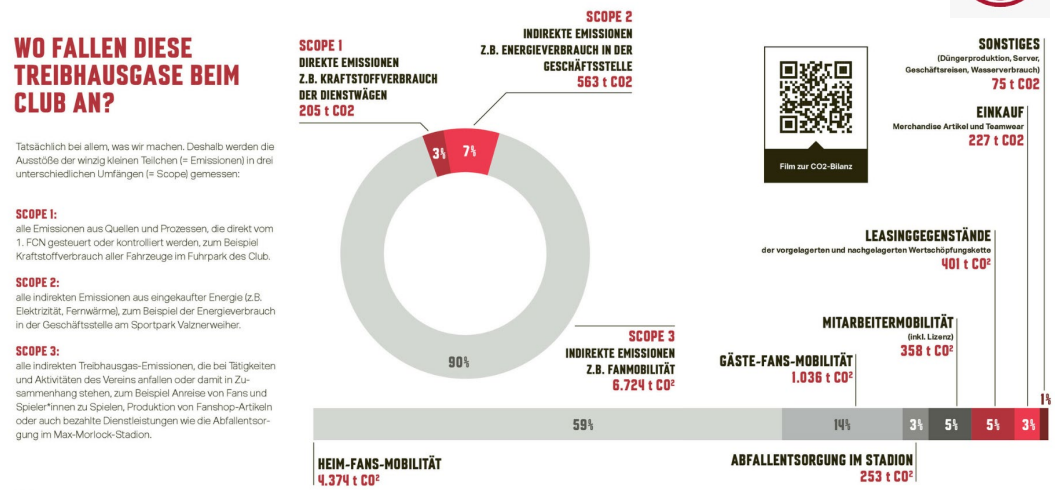
80% [2]

of the environmental impacts associated with a product can already be avoided in the development and design phase.

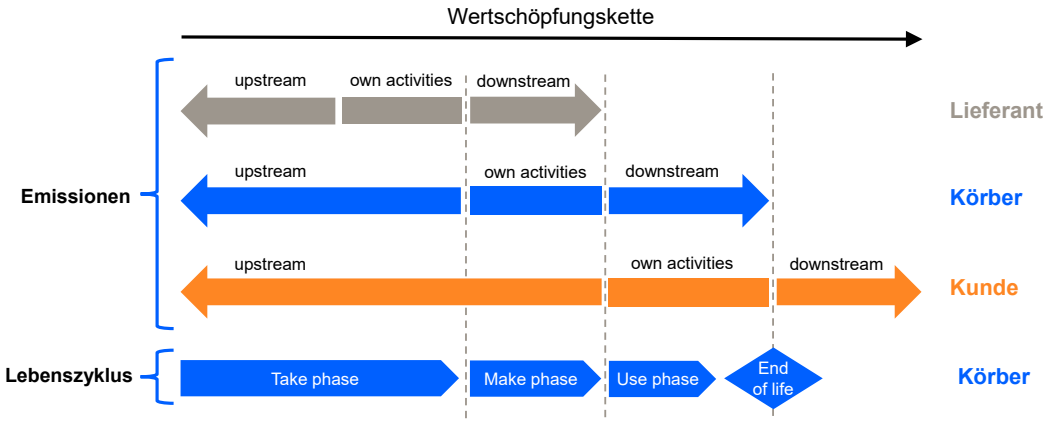
***must be avoided**

Blick rechts und links des Weges: 1. FC Nürnberg

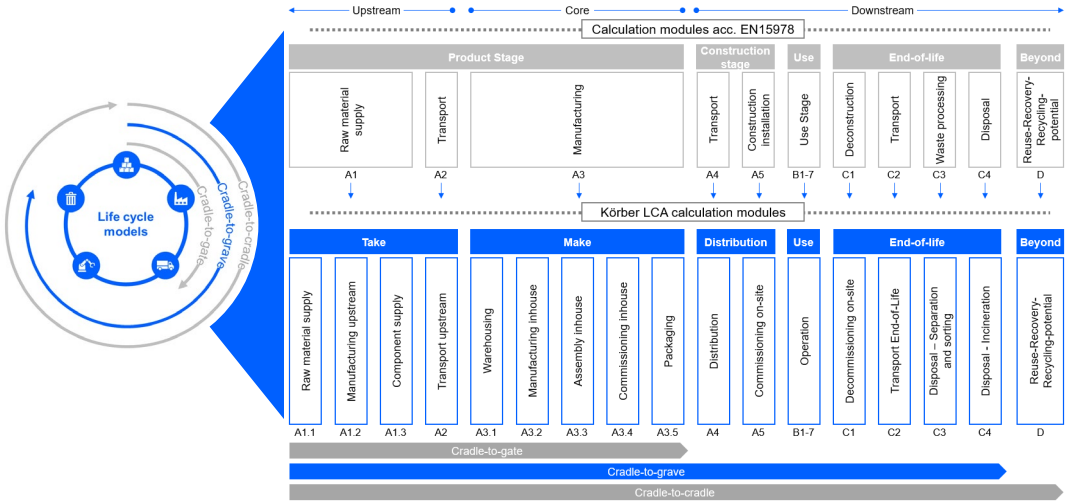
Nachhaltigkeitsbericht: 1. FC Nürnberg: Nachhaltigkeitsbericht



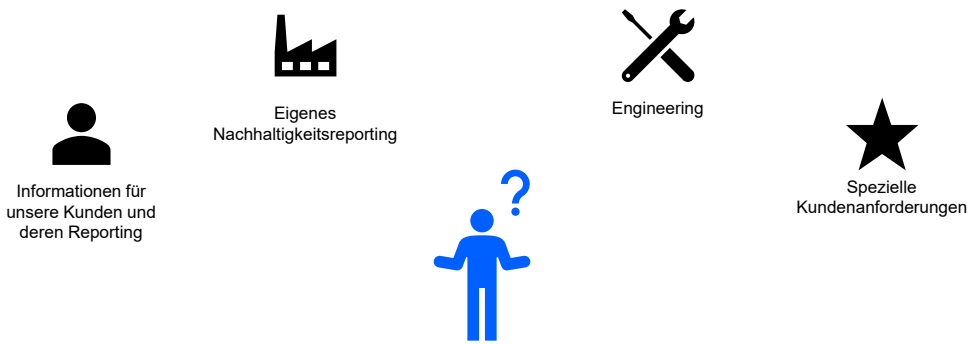
Lebenszyklusperspektive für Produkte

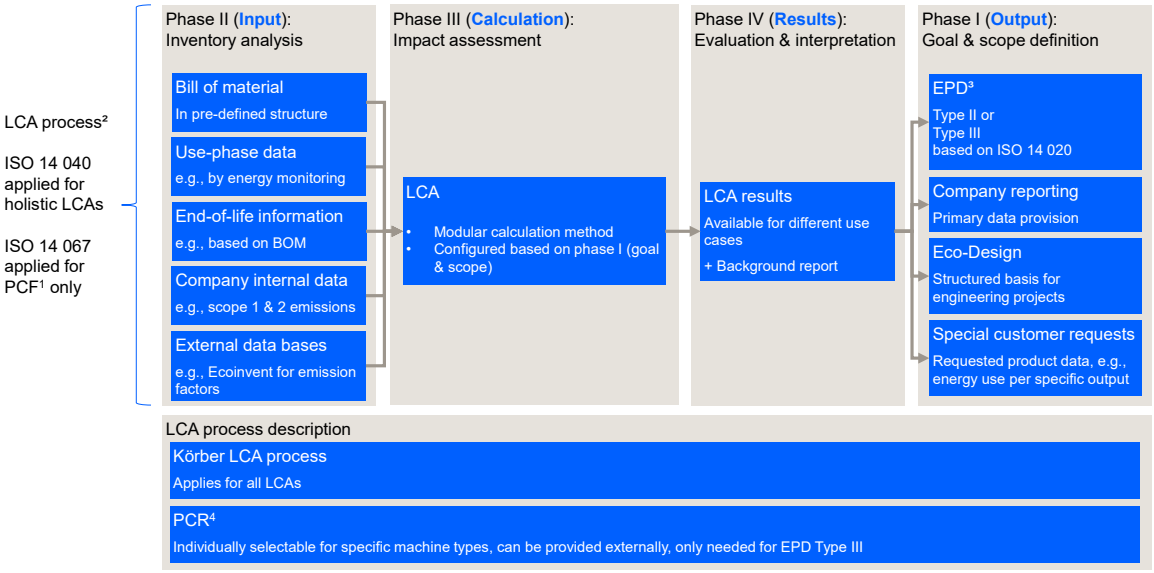


Der Lebenszyklus unterteilt in einzelne Module

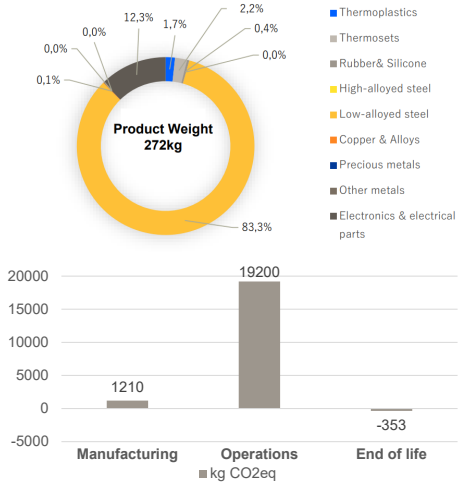


LCA’s können für verschiedenen Anforderungen notwendig sein

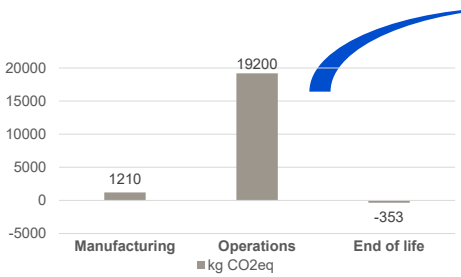


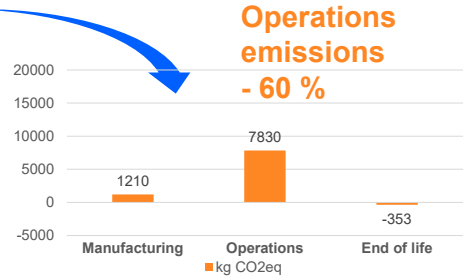


Belt Conveyor von Körber Supply Chain Logistics



Erster Schritt: Messen & Präzesieren von Annahmen





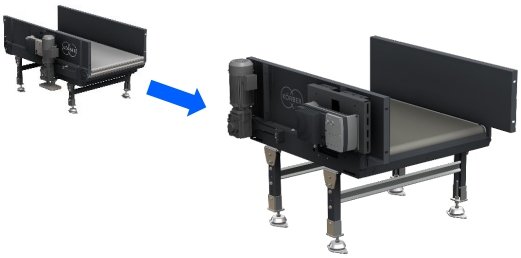
Energy model used:	
EU-27	401 gCO_2e/kWh
Use scenario:	
Lifetime	50,000 h
Conveyor speed	2.5 m/s
Throughput	7,200 parcels/h
Weight	50 kg/parcel
Length	400 mm
Rated power	0.75 kW

Energy model used:	
EU-27	401 gCO_2e/kWh
Use scenario:	
Lifetime	50,000 h
Conveyor speed	**1 m/s**
Throughput	3,600 parcels/h
Weight	**15 kg/parcel**
Length	400 mm
Measured power	**0.38 kW**

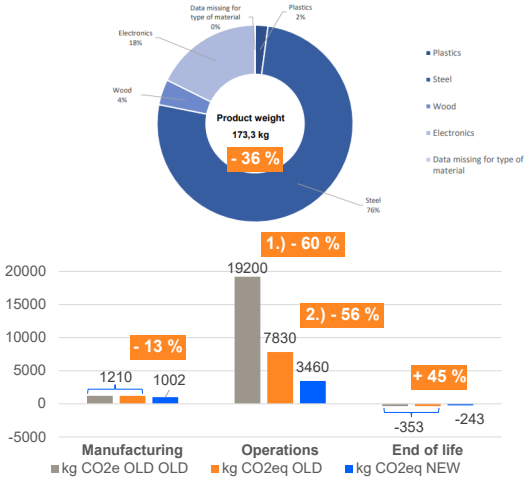
Zweiter Schritt: Ecodesign als Teil des Entwicklungsprojekts

- 4 Rollensystem ersetzt durch **2 Rollensystem**
- Unelastischer Gurt ersetzt gegen **semielastischen Gurt**
- Schweißbaugruppen vermeiden
- **Demodularisierung** und **Neuauslegung** von Komponenten
- Analyse von **Oberflächenbeschichtung**
- **Einsatz von Holzbauteilen**
- Minimale **Anzahl von Teilen**
- Minimales **Gewicht**

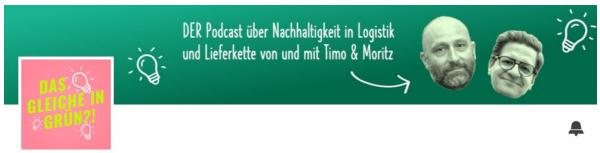
Best practice: CO2 Emissionen am Beispiel Gurtförderer



Total lifecycle emissions reduziert
von 8.6 tCO_2e auf 4.2 tCO_2e
(- 51 %)



Podcast Empfehlung: Das Gleiche in Grün?!

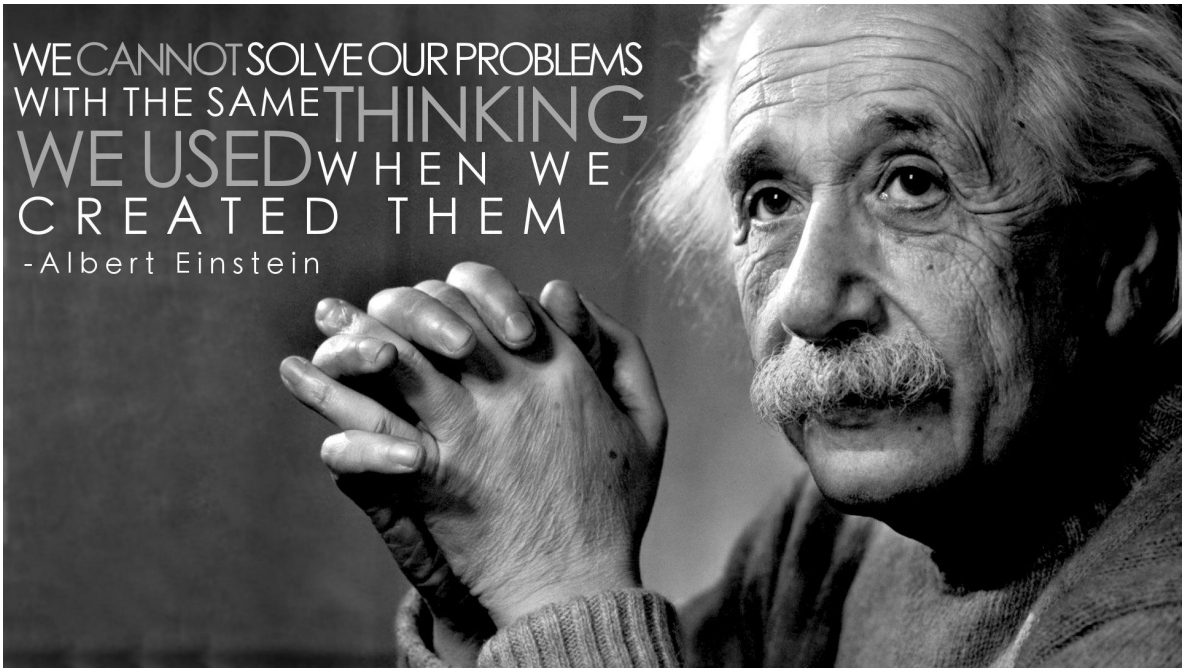


Das Gleiche in Grün?!
DER Podcast zu Nachhaltigkeit in Logistik und Lieferkette mit Timo, Moritz und vielen spannenden Gästen
Transport, Logistik, Lieferkette und Lagerhaltung · 881 Follower:innen

🎧 Spotify: https://open.spotify.com/episode/16WPszirr4Bp3nk03VHNrM?si=92dff5fe062a4f91

🎧 Apple: https://podcasts.apple.com/us/podcast/tobias-kucharz-von-körber-supply-chain-über-datengetriebene/id1752482441?i=1000703524115

🎧 Direktlink: https://dgig.podigee.io/73-tobias-kucharz-von-korber-supply-chain-uber-datengetriebene-nachhaltigkeit-in-der-intralogistik-48


WE CANNOT SOLVE OUR PROBLEMS
WITH THE SAME THINKING
WE USED WHEN WE
CREATED THEM
-Albert Einstein

BG Pouch System mit Auto-Drop – Wie es Verteilzentren verändert

Sandra Lückmann

BEUMER Group

Logistic Systems

Agenda

- Intro BEUMER GROUP
- Aktuelle Herausforderungen für Paketverteilzentren
- BG Pouch System
- Fazit und Q&A

KRISEN-FEST
INNOVATIV

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

BEUMER Group auf einen Blick

- 100 Prozent unabhängiges Familienunternehmen
- Gegründet 1935
- Hauptsitz in Beckum, Deutschland
- Umsatz: 1,4 Milliarden Euro
- Mitarbeiter: 5.700
- 40 Standorte weltweit

KRISEN-FEST

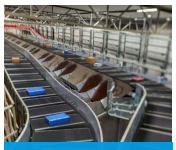
MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

Centre of Competence

BEUMERGROUP

Airport


Logistic Systems

Customer Support

Minerals & Mining

Product Business

MADE DIFFERENT

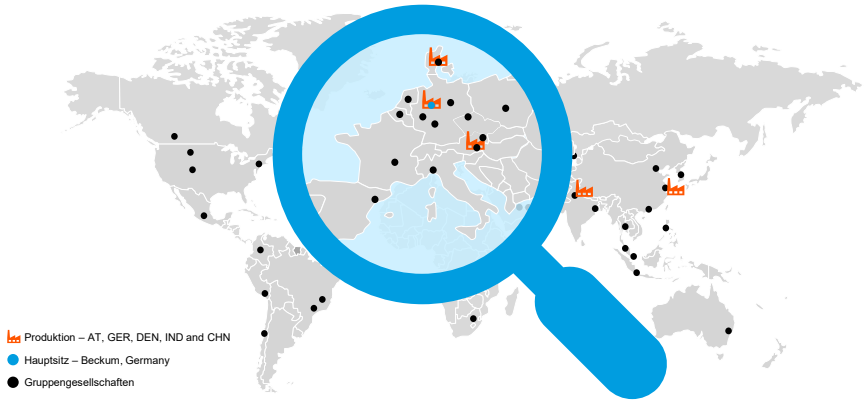
KRISEN-FEST

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

BEUMER Group – Standorte

BEUMERGROUP



MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

Aktuelle Herausforderungen für Paketverteilzentren

MADE DIFFERENT

1. Arbeitskräfte-Mangel

BEUMERGROUP

General Warehouse Worker Tenure Statistics

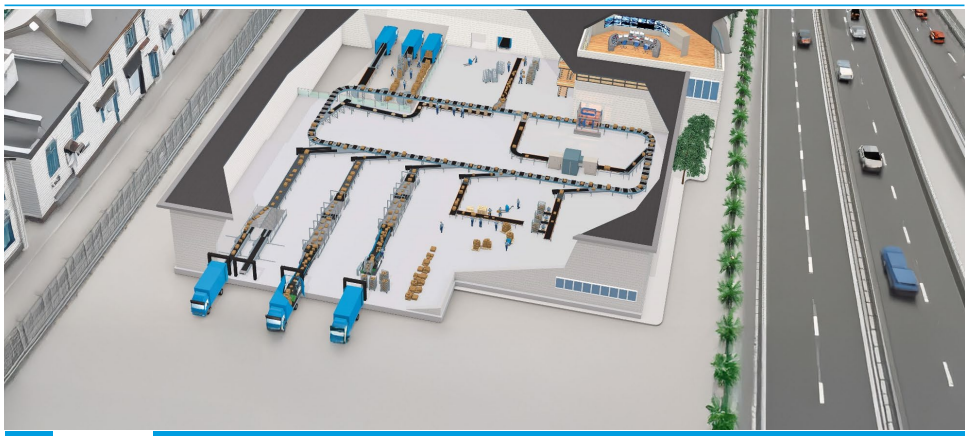
Number of years	Percentages
Less than 1 year	36%
1-2 years	29%
3-4 years	11%
5-7 years	13%
8-10 years	4%
11+ years	6%

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

2. Schwierig Footprint zu erweitern

BEUMERGROUP

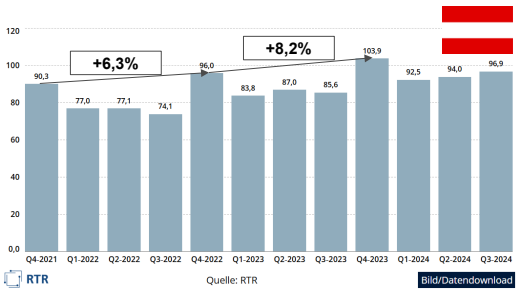


MADE DIFFERENT

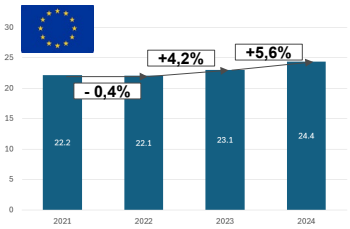
© BEUMER Group

3. Stetiger Anstieg des Paketvolumens

BEUMERGROUP



In Österreich zugestellte Paket (in Mio.)



In Europa zugestellte Paket (in Mrd.)

Quellen: https://www.effigy-consulting.com/country-parcel-market-volume/
https://www.rtr.at/TKP/aktuelles/publikationen/publikationen/Datenvisualisierung/post-monitor-q32024-daten.de.html

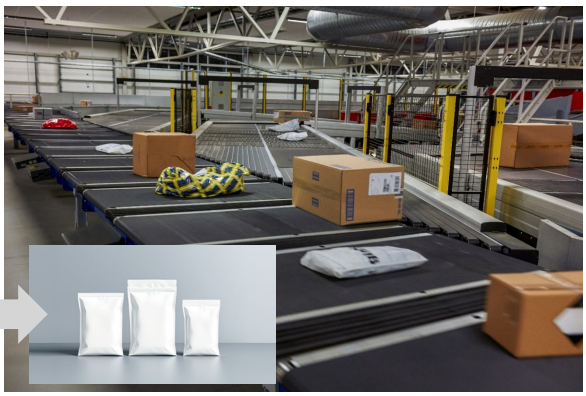
MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

4. Veränderung der Paketgrößen und Formen

BEUMERGROUP

- Pakete werden kleiner und unförmiger (Polybag-Anteil steigt)



MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

5. Die Kosten der Letzten Meile

BEUMERGROUP

- Etwa 50% der Kosten für eine Paketlieferung liegen in der letzten Meile

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

Wie adressiert BEUMER Group diese Herausforderungen?

BEUMERGROUP

- Aktive, enge Zusammenarbeit mit den Kunden aus allen Abteilungen
- Stetige Weiterentwicklung des Produktportfolios
- Entwicklung und Einführung neuer Lösungen
  - BG Insight
  - Roboter und Vision Technologie
  - Neue Sortiersysteme

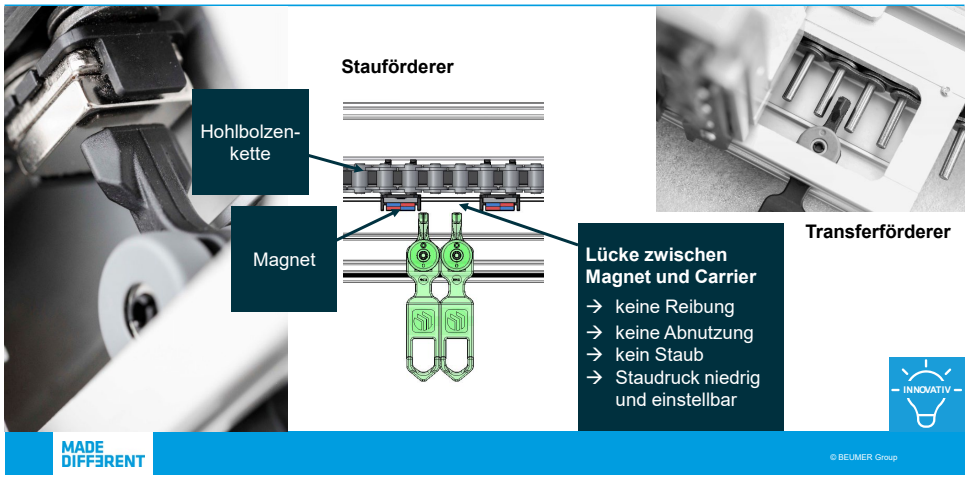
INNOVATIV

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

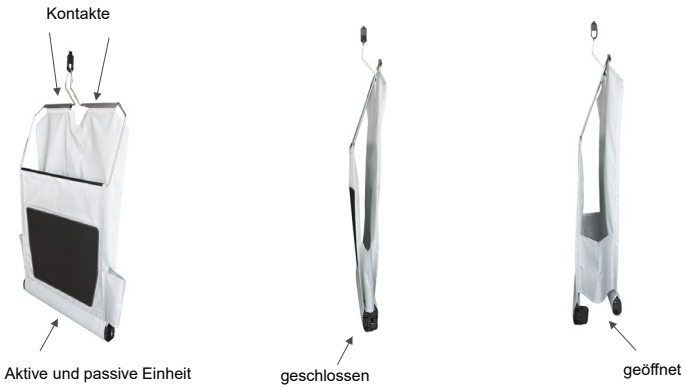
Arten der Antriebsübertragung

BEUMERGROUP



BEUMER Auto-Drop erklärt

BEUMERGROUP



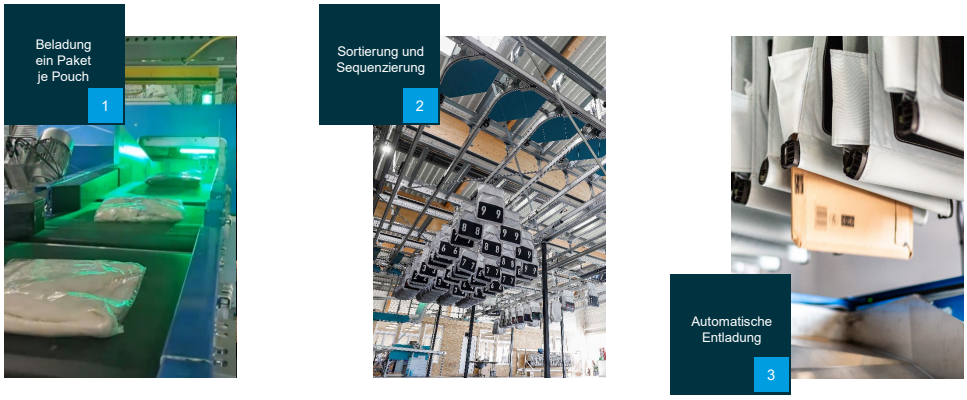
INNOVATIV

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

Automatischer Pakethandlingprozess

BEUMERGROUP



MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

Recap: BEUMER Pouch als Tool um den Herausforderungen entgegenzuwirken

BEUMERGROUP

✓ Ermöglicht vollautomatisches Handling von Smalls bei geringem Arbeitsaufwand	Unabhängigkeit vom Arbeitsmarkt
✓ Erhöht die sortierten Pakete je m²	Aktuelles Netzwerk kann beibehalten werden, Investitionskosten werden reduziert
✓ Erweitert das automatisch bearbeitete Produktspektrum	Bietet Flexibilität in der Veränderung des Kundenstamms
✓ Sequenzierung einfach möglich	Reduziert die Kosten der Letzten Meile

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group

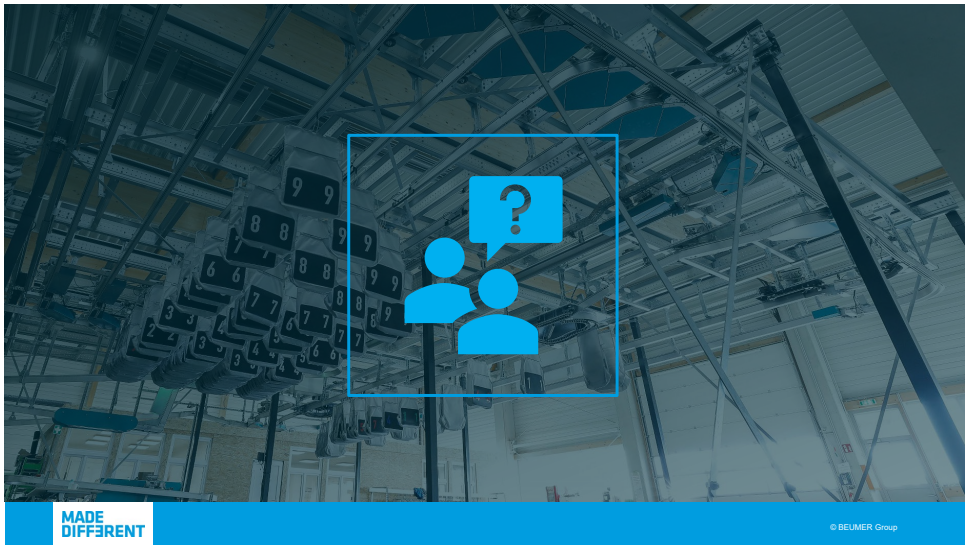
Fazit – Mit Innovation in eine krisenfeste Zukunft

BEUMERGROUP

- Langfristiger, unabhängiger Partner für nachhaltige Lösungen
- Ausgeprägtes, erfahrenes Customer Support Netzwerk
- Gemeinsam mit dem Kunden Innovationen in Weiter- und Neuentwicklungen

MADE DIFFERENT

© BEUMER Group


MADE
DIFFERENT
© BEUMER Group

Automatisch Be- & Entladen: Trends, Herausforderungen und Lösungskonzepte

Matthias Fritz, Eduard Arendt

CALJAN

Handling loose cargo efficiently since 1963

Speakers

Eduard Arendt
Account Manager DACH

Matthias Fritz
Product Manager for
Automatic Unloading

Agenda

01 Intro

02 Herausforderungen

03 Trends

04 Caljan Automated Products

05 Caljan Technology Center

Caljan Divisions

Caljan Global Divisions

Manual Loading & Unloading products

Automated Products

Document Handling & Labelling

Aftermarket

02 Herausforderungen Be- und Entladung

Wachsender KEP-Markt

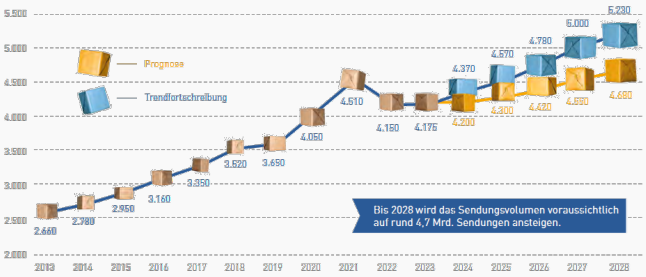
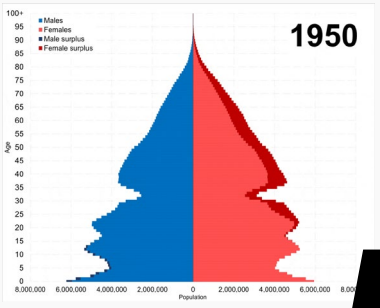


Abbildung 4: Prognostizierte Entwicklung des KEP-Sendungsvolumens bis 2028 (in Mio. Sendungen)
[Quellen: KEP-Studie 2023, ME-CONSULT Marktanalyse und Prognose]

Demographische Entwicklung & Ergonomie

Herausforderungen

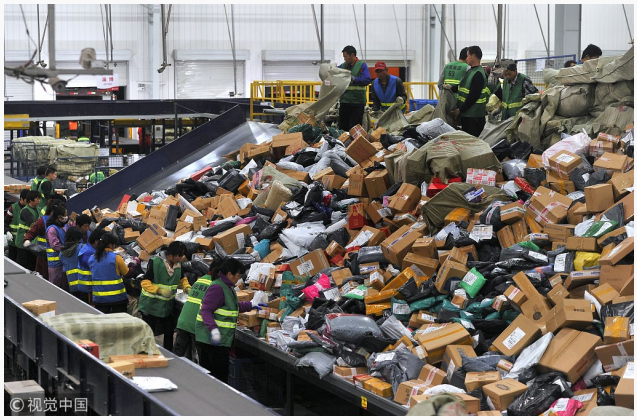


Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Demographics_of_Europe

Quelle: https://www.aeh.ch

Sendungsvielfalt

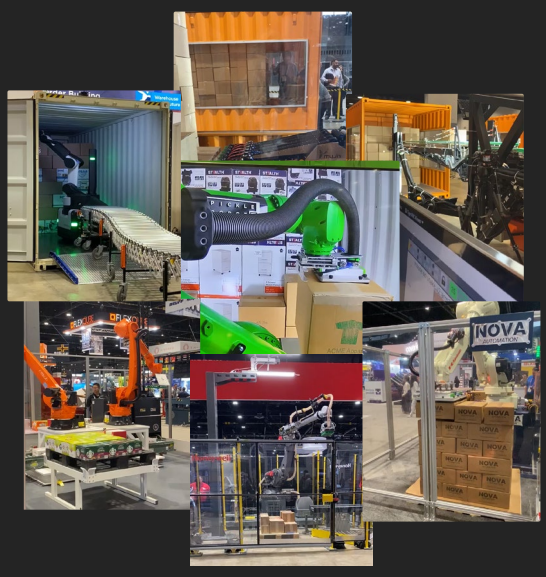
Herausforderungen



Quelle: german.china.org.cn (Single's day 2017)

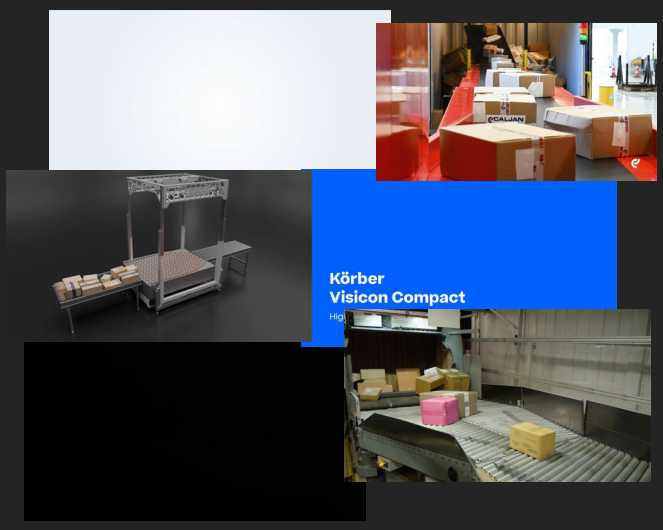
03 Trends in der automatischen Be- und Entladung

Robotics



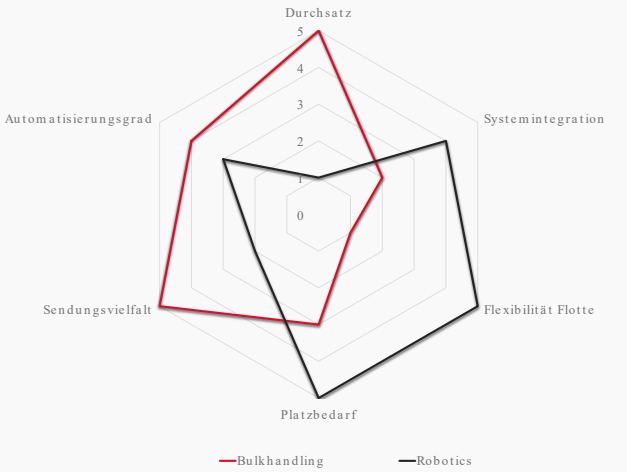
Trends

Bulkhandling



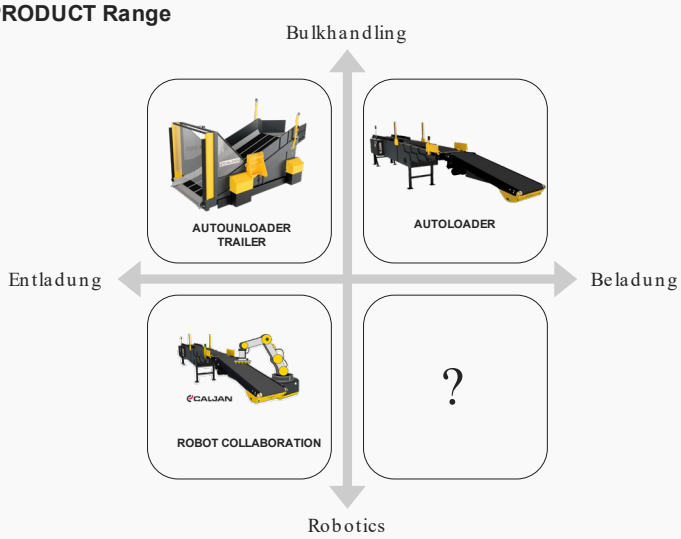
Trends

Die Qual der Wahl…

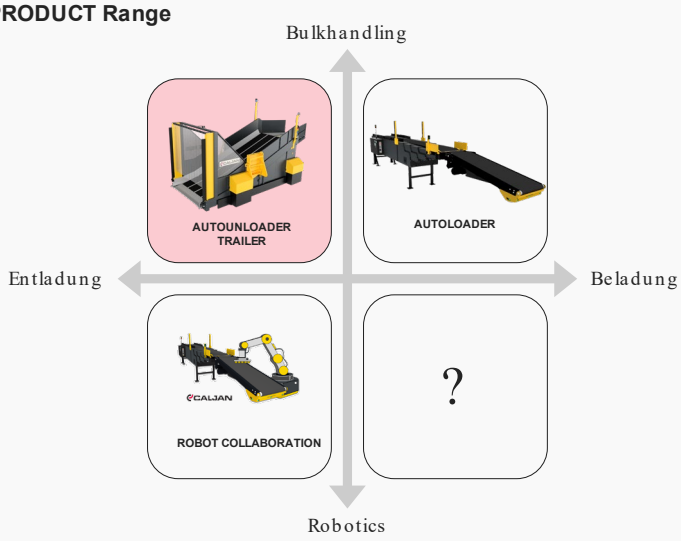


04 Caljan Automated Products

AUTOMATED PRODUCT Range

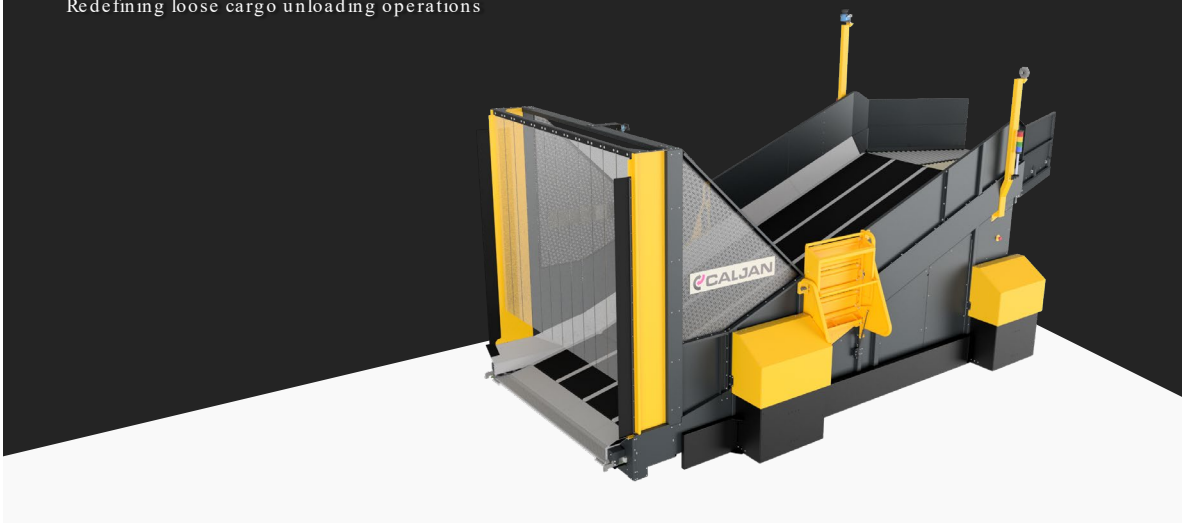


AUTOMATED PRODUCT Range

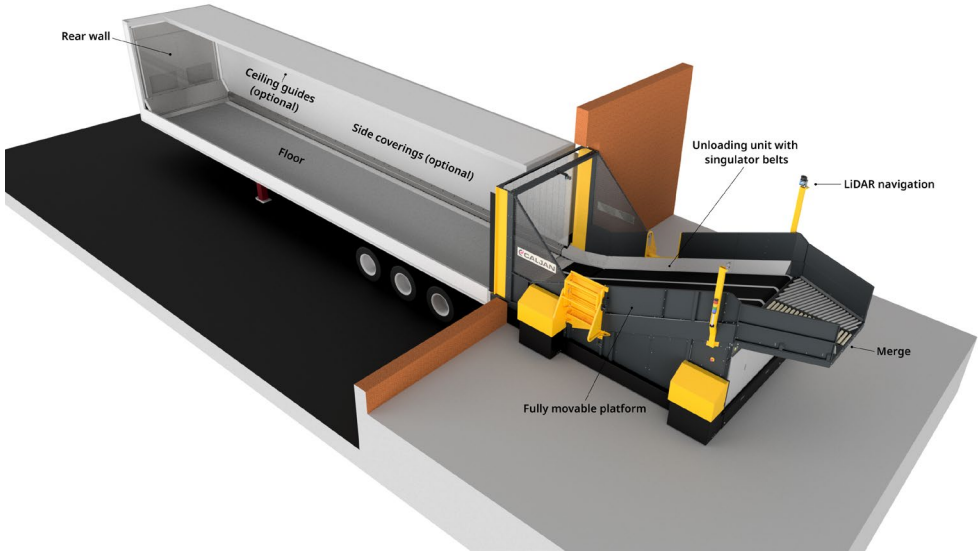


Caljan AutoUnloader

Redefining loose cargo unloading operations



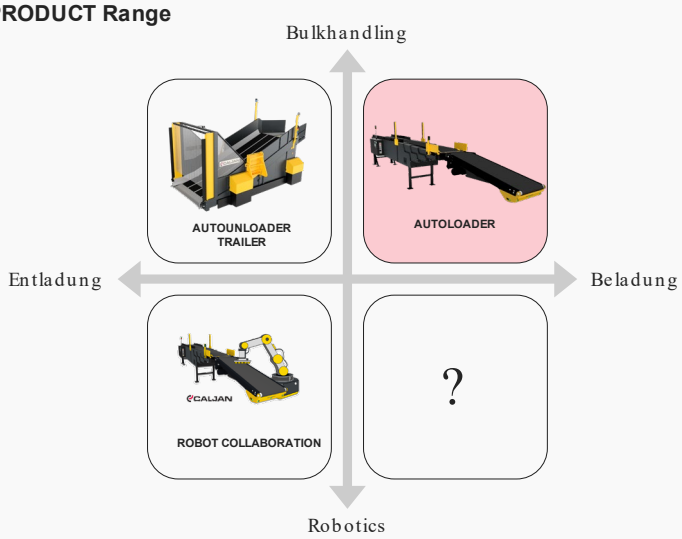
Caljan Automated Products

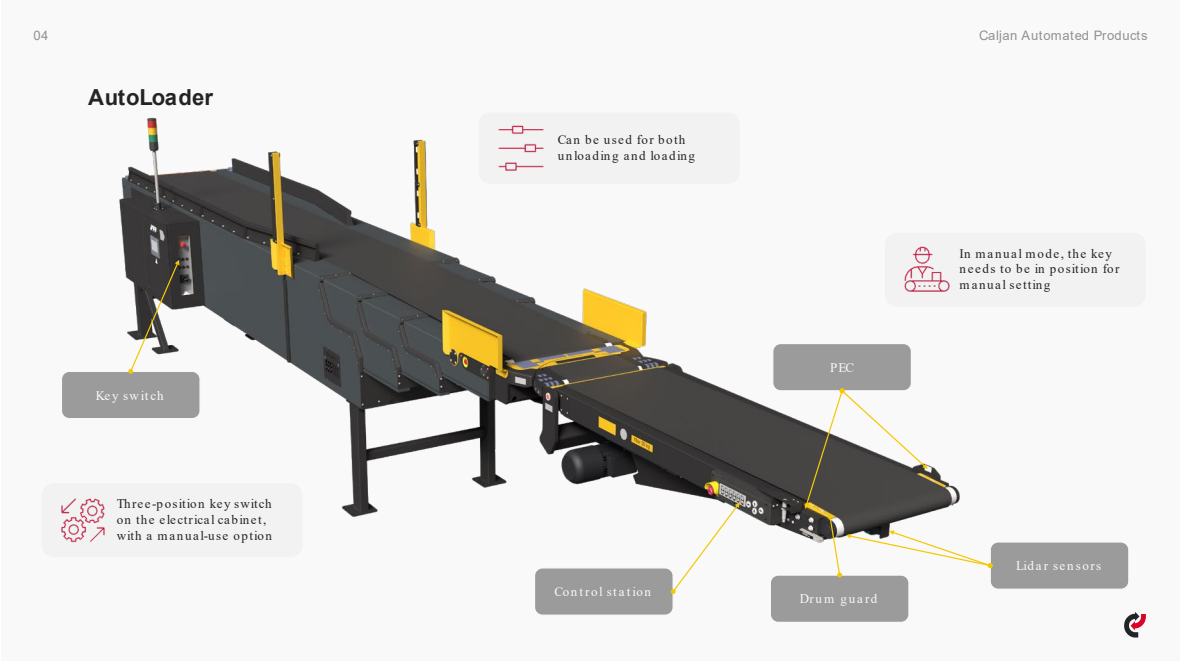


01

Caljan Automated Products

AUTOMATED PRODUCT Range




04
Caljan Automated Products
AutoLoader
Can be used for both unloading and loading
In manual mode, the key needs to be in position for manual setting
Key switch
PEC
Three-position key switch on the electrical cabinet, with a manual-use option
Control station
Drum guard
Lidar sensors

CALJAN

04

Optimiertes Beladungskonzept

Sensor Technologie

2 LiDAR-Sensoren und Lichtschranken werden für die Detektion von Hindernissen und der Umgebung eingesetzt:

- (Sicherheits-)LiDAR am unteren Ende der Snoot
- LiDAR an der Front (nach unten ausgerichtet)
- Lichtschranken zur Staudetektion

Anlernprozess:

- Abstandmessung zum Boden und zu den Seiten
- Abstand zur Rückwand
- 30% schnellerer Anlernprozess im Vergleich zur vorigen Generation

Caljan Automated Products

Optimiertes Beladungskonzept

Prozessablauf

Zur Optimierung des Beladungsprozesses wird der Trailer in Sektionen unterteilt:

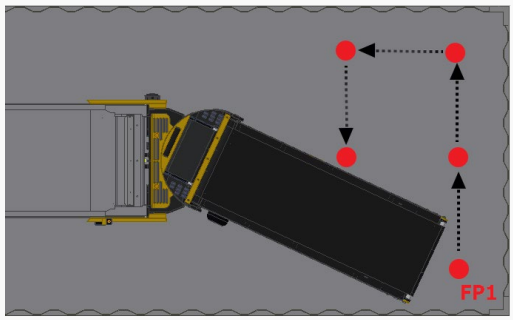
- Vertikal in 2 Ebenen
- Jede Ebene in eine definierte Anzahl von Zellen

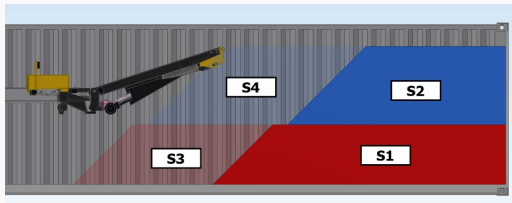
Ablauf des Beladeprozesses:

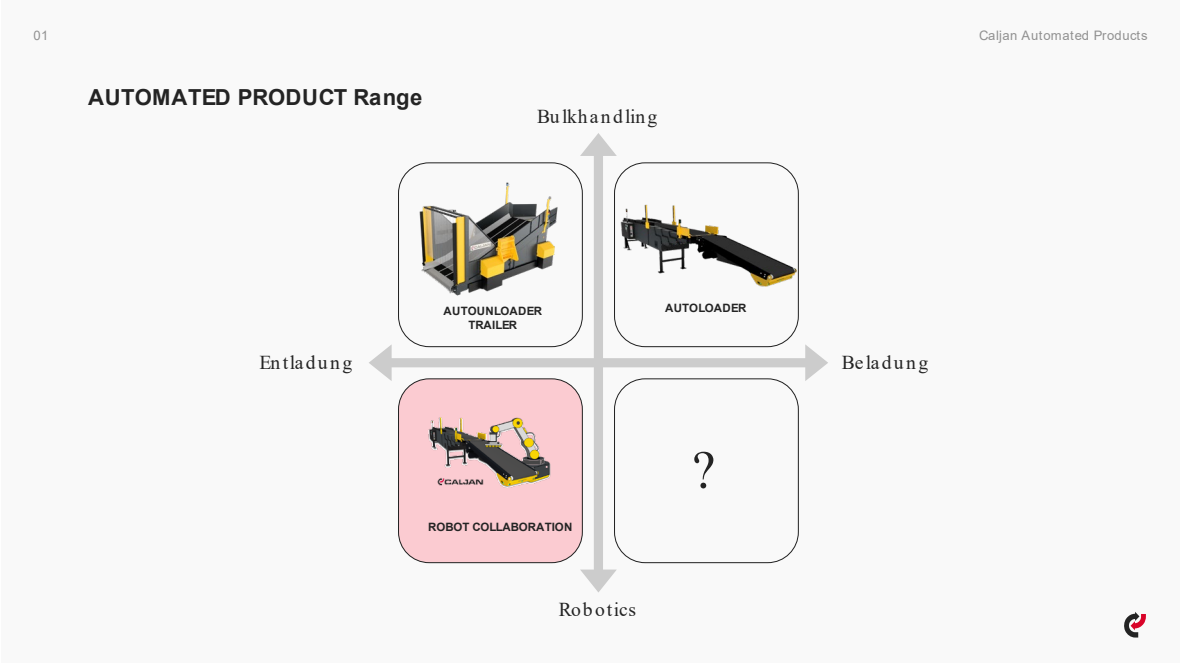
1. Befüllung der ersten Zelle in der unteren Ebene bis Sensoren “voll” melden
2. Befüllung der Nachbarzellen bis die gegenüberliegende Trailerwand erreicht ist
3. Einziehen des Teleskopgurtförders bis zur nächsten Reihe und Befüllung der Nachbarzellen
4. Wiederholung von 2-3 bis alle Reihen einer Sektion befüllt sind
5. Wiederholung von 1-4 in der nächsten Ebene

Optional: Spezialhandling großer Pakete

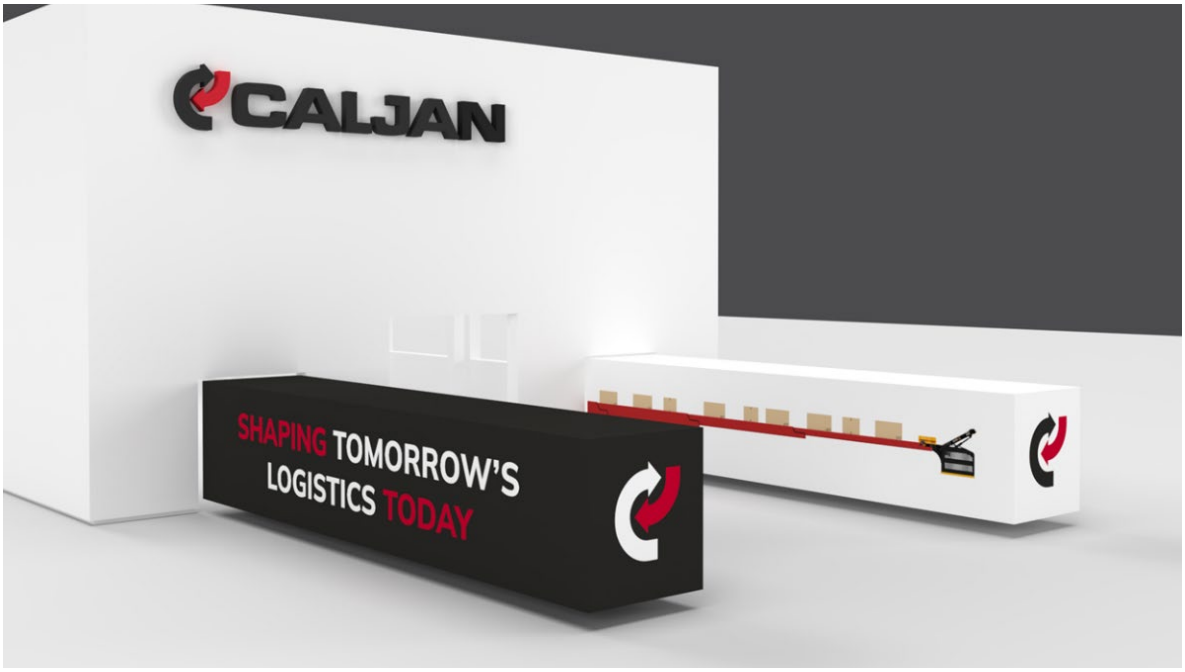
Caljan Automated Products







05 Technology centre



Thank you!

In case of questions contact automatic@caljan.com

Konzeptentwicklung für den Transport von Schneidgut an Bergbaumaschinen.

Eine effiziente Kombination aus Simulation und Test

Hubert Kargl

SANDVIK

Konzeptentwicklung für den Transport von Schneidgut an Bergbaumaschinen

Eine effiziente Kombination aus Simulation und Test

Hubert Kargl

Logistikwerkstatt 2025, 27. Mai 2025

Agenda

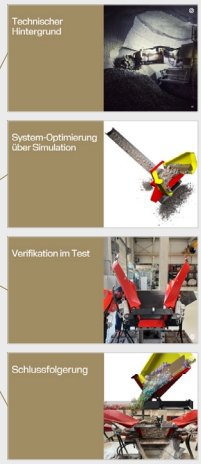
Vorstellung Firma

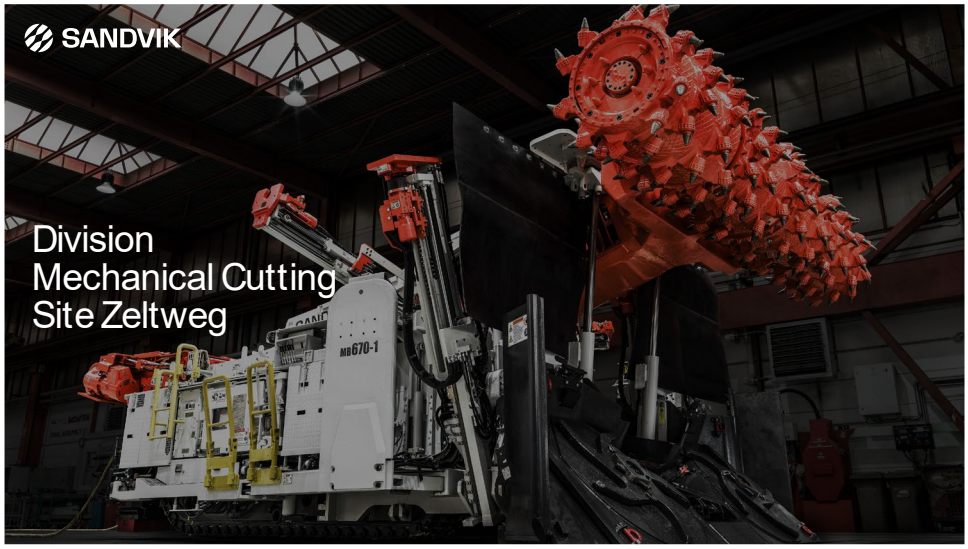
Technischer Hintergrund

Systemoptimierung über Simulation

Verifikation im Test

Schlussfolgerungen



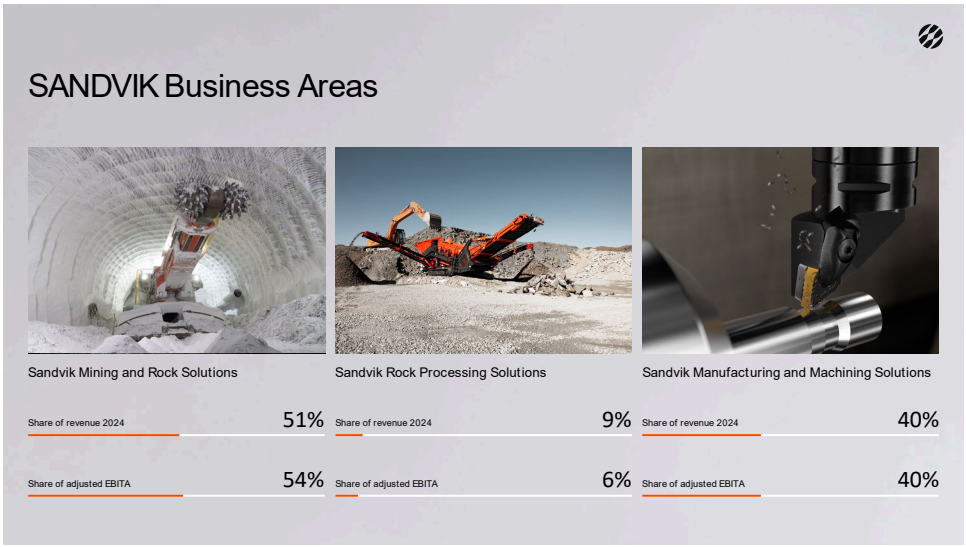


About me

Hubert Kargl

1986-1993	Maschinenbau an Montanuniversität Leoben
seit 1994	Mitarbeiter bei Sandvik Mining and Construction in Zeltweg
	Aktuelle Position: Manager Technology and Concept Development

The Sandvik Group
Sales countries around the globe
>150
Active patents
8,300
Number of employees
41,000
BSEK in revenues
123
R&D centers globally
64
Annual R&D investments, BSEK
5.1
SANDVIK

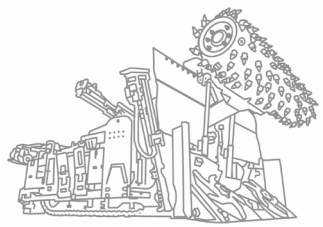

SANDVIK Business Areas
Sandvik Mining and Rock Solutions
Share of revenue 2024
51%
Share of adjusted EBITA
54%
Sandvik Rock Processing Solutions
Share of revenue 2024
9%
Share of adjusted EBITA
6%
Sandvik Manufacturing and Machining Solutions
Share of revenue 2024
40%
Share of adjusted EBITA
40%

Gegründet	Kompetenzzentrum	Erfahrung um Berg- und Tunnelbau
1851	..für mechanisches Schneiden von Mineralien & Gesteinen	>60 Jahre
Anzahl der weltweit verkauften Maschinen	Mitarbeiter	MEUR Umsatz
>2,880	~511	~272,2

SANDVIK

Standort Zeltweg

Zentrale
der Division “Mechanical Cutting”



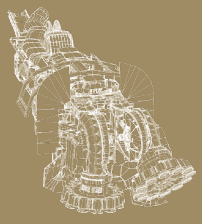
Werte beziehen sich auf 2024

7

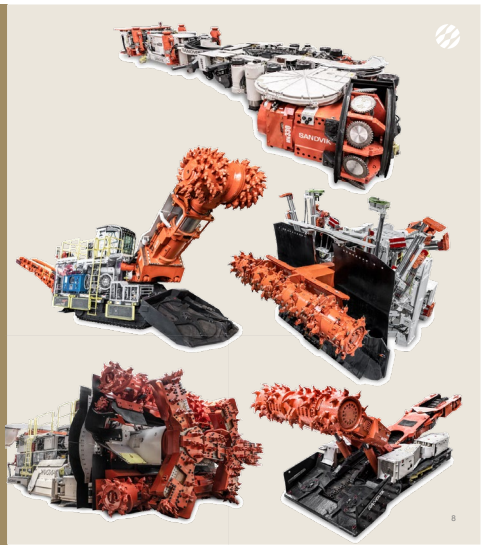
SANDVIK

Business Area
Sandvik Mining and Rock Solution

Division
Mechanical Cutting



Wir entwickeln und bauen Maschinen für den schneidenden Vortrieb und Abbau im untertägigen Berg- und Tunnelbau

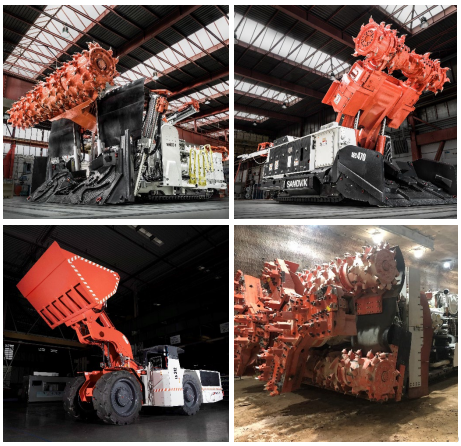


8

Kernprodukte

Bergbau für Mineralien und weiche Gesteine

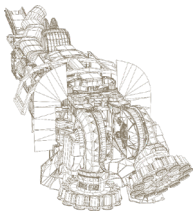
– Bolter Miner für Vortrieb und Abbau
– Continuous Miners für Room & Pillar Mining
– Roadheader für den Vortrieb und Abbau
– Borer Miners for Kali-Abbau
– Rubber-Tyred Vehicle (RTV) für Abtransport



Kernprodukte

Hartgesteinsbergbau

– Roadheader für den Vortrieb
– Reef Miner für den Platinbergbau
– “Rapid Mine Development Systems” für den Vortrieb im Erzbergbau



Sandvik, Standort Zeltweg

Fokus auf Innovation und Technologie-Führerschaft

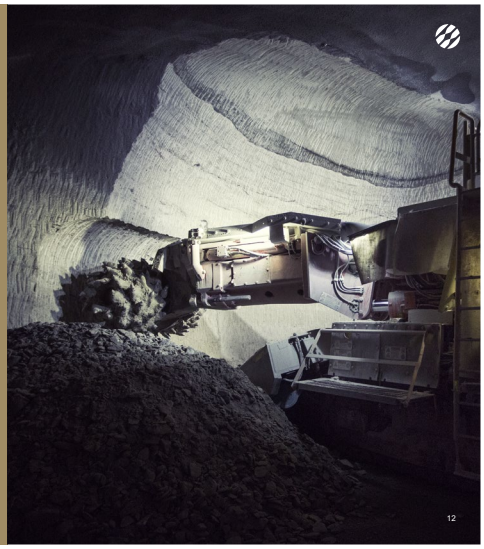
Fokus auf Schlüsselfunktion

- Mechanisches Schneiden
- Laden und Transportieren
- Firstsicherung

Werkzeuge

- Solide Kompetenz
  im allgemeinen Maschinenbau
- Simulationen und praktische Tests
  im Labor und beim Kunden vor Ort

Technischer Hintergrund



SANDVIK
Konzept eines modernen Roadheaders
ICUTROC
13

Roadheader-Application in Salt Mining

Technischer Hintergrund

Schlüsselfunktion der Ladeeinheit

Rasches und effizientes Fassen und Abtransportieren des Schneidgutes

- Kurze Verweildauer im System
- Minimale Sekundärzerkleinerung

➔ Geringer Staubanfall
➔ Geringer Materialverschleiß
➔ Geringer Energieaufwand

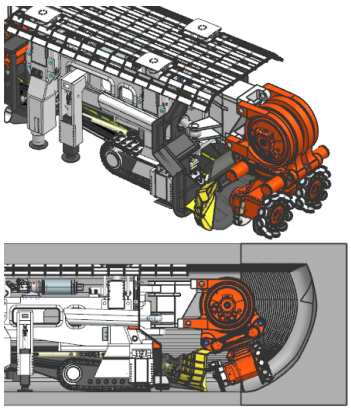
Großer Bedarf und Potential für Optimierung

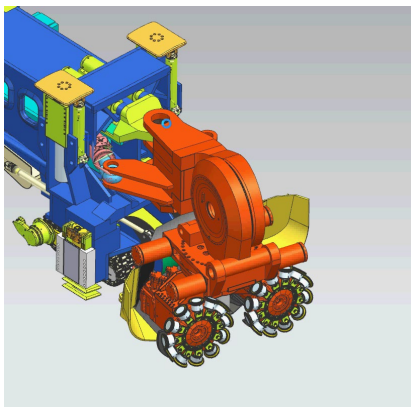
System-Optimierung über Simulation

Systemoptimierung über Simulation

1) Design- und Bewegungsanalyse im CAD

Ladefunktion am neuen Maschinenkonzept MX650





17

Systemoptimierung über Simulation

2) Erstes DEM-Simulationsmodell

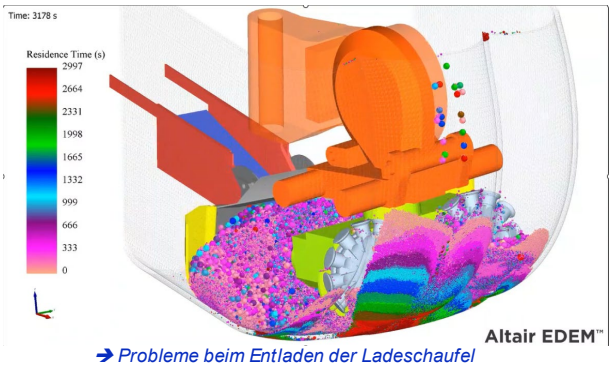
Simulation der Ladefunktion für erste Machbarkeit

Schüttgut - Modellierung

Starre Kugeln ohne Drehfreiheitsgrad, Bindekräfte über Feder und Dämpfer zum Nachbarn

- **Kugelgrößen** sind an die Korngrößenverteilung angenähert
- **Bindekräfte** zwischen den Kugeln über Indexversuche (Innere und äußere Reibung) kalibriert
- *Keine Sekundärzerkleinerung möglich !*

Simulation des kompletten Schneid- und Ladevorganges



➔ *Probleme beim Entladen der Ladeschaufel*

18

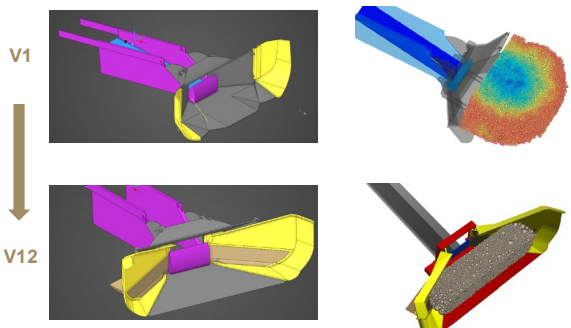
Systemoptimierung über Simulation

3) Optimierung über Simulationsschleifen

Mittels DEM-Simulationen

Optimierung der Ladeschaufel-geometrie und -kinematik

über 12 Design- und Simulations-schleifen



➔ *Nahezu komplettes Entladen der Schaufel*

19

Verifikation im Test

Verifikation im Test

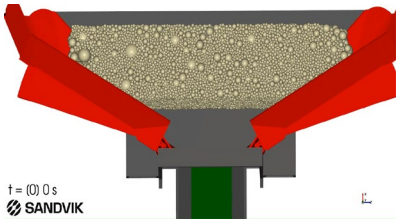
Entladeversuche mit Schaufel

Simulation versus Test

Praxistest mit „Modell-Schaufel“

- Validierung der Simulationsergebnisse
- Untersuchung von Material und dessen Einflüssen, welches in der Simulation nur einfach abgebildet ist.
- Check auf weitere Optimierungsmaßnahmen

➔70 Testläufe mit weitgehend erfolgreichen Resultaten



21

Schlussfolgerung

Schlussfolgerung

Ladekonzeptentwicklung

Entwicklungsstrategie

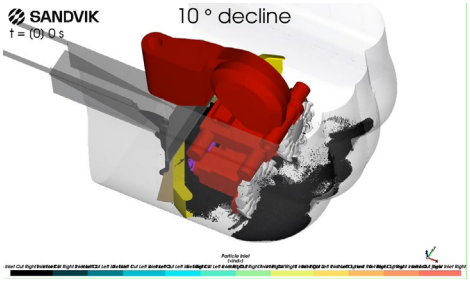
a) CAD-Design- und Bewegungsstudien
b) Konzeptoptimierung über DEM-Simulationen
c) Teilverifikation mit praktischen Ladetests

…sind Basis
für eine effiziente Design- und Prozess-optimierung.

Simulation der Letztvariante zeigt Verringerung des „verbleibenden Materials“ um 57 %

Resümee:

- Optimierte Lösung **für vorhandenes Konzept**
- Absolut-Aussagen für das Verhalten des Gesamtkonzeptes sind bedingt möglich.



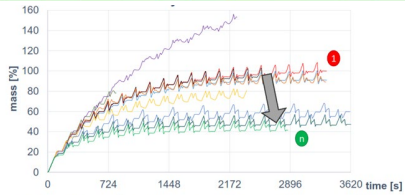


Figure 5: System Mass over Time. Variant 1 (red) as Reference, Variant n (green) with most efficient Material Transport. Scaling relative to Variant 1.

Die Zukunft gestalten mit intelligenten Lagerprozessen

Dynamics 365 F&SCM und xalax Autostore Modul – Eine perfekte Kombination

René Pachler

Die Zukunft gestalten mit intelligenten Lagerprozessen

Dynamics 365 F&SCM und xalax Autostore Modul – Eine perfekte Kombination

René Pachler
Sales Manager
xalax

AGENDA | 27. Mai 2025

- Unternehmenspräsentation xalax
- Dynamics 365 Finance & Supply Chain Management
  Warehouse management only mode (WMS)
- Use Case example von Wever & Ducré

xalax DNA

Gründung 2018

2 Niederlassungen

xalax

xalax Niederlassungen

xalax

xalax DNA

- Gründung 2018
- 2 Niederlassungen
- > 35 erfahrene ERP/WMS & Digitalisierung Consultants
- > 30 Jahre Erfahrung in ERP, WMS- und Digitalisierung Projekten

End-to-End

ERP, WMS und Digitalisierung – intelligente Lösungen für Ihre gesamte Wertschöpfungskette

- **Microsoft Dynamics 365 Partner**
- **Autostore WMS Consultant**
- **d.velop Gold Partner**

xalax

Referenzen

Weltweite Implementierungen

End-to-end Prozessintegration

- **ERP:** D365 F&SCM
- **WMS:** Warehouse Only Mode & xalax Autostore Modul
- **d.velop:** Digitale Rechnungen, DMS & Vertragsmanagement
- **PowerPlatform:** Power Apps, Power Automate

Microsoft Dynamics 365 WMS

Flexibel einsetzbar
Modulares Lagerverwaltungssystem, integriert in Dynamics 365 SCM oder separat im „Warehouse-only Mode“ nutzbar

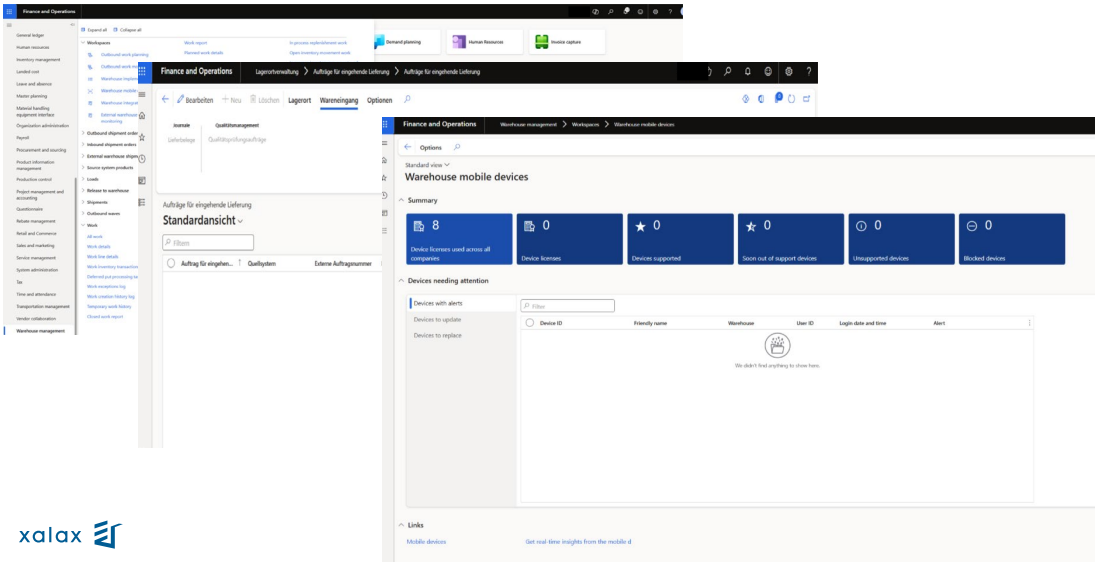
Effizienzsteigerung
Optimiert Lagerprozesse und automatisiert logistische Abläufe

Zentrale Steuerung
Umfassende Kontrolle über Bestände, Kommissionierung, Nachschub und Versand

Skalierbar & zukunftssicher
Für Unternehmen jeder Größe

xalax

Microsoft Dynamics 365 WMS



xalax

Hauptfunktionen von Microsoft Dynamics 365 WMS

Bestands- und Standortverwaltung
Echtzeit-Tracking und präzise Lagerplatzzuweisung

Wareneingang und Einlagerung
Optimierte Steuerung von Wareneingängen und Lagerplatzorganisation

Kommissionierung und Versand
Automatisierte, regelbasierte Prozesse zur Fehlerreduktion

Nachschub und Umlagerung
Dynamischer Nachschub und flexible Umlagerung

Mobile App für Lagerarbeiter
Effiziente Aufgabenbearbeitung per Scanner und mobilen Geräten

xalax

Vorteile von Microsoft Dynamics 365 WMS

Skalierbarkeit
Für kleine wie große Lager, jederzeit erweiterbar

Integration
Keine Schnittstelle zum Dynamics 365 F&SCM (ERP) notwendig

Echtzeit-Transparenz
Bessere Entscheidungen durch Live-Daten

Kosteneffizienz
Weniger Fehler, geringere Wartezeiten & reduzierte manuelle Aufwände

Lagerautomatisierung
Integration von Autostore, Fördertechnik und Robotik

xalax

Use Case example von Wever & Ducré

Wever & Ducré Lighting - Part of the XAL group

Wever & Ducré – Key Figures

AutoStore (30.098 bins) & manueller Bereich
Kombination aus automatisierten und manuellen Bereich

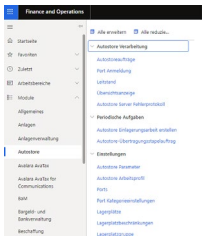
2 AS Ports for Goods-In & 4 AS Ports for Goods-Out

End-to-end Software Lösung
Microsoft Dynamics AX & WMS & xalax Autostore Modul

Packing Area for B2C
Verpackungsbereich für Klein- und Großverpackungen

Konsolidierungsstation
Konsolidierung aus dem AutoStore und manuellen Bereich

xalax



Interface Wever & Ducré

Microsoft Dynamics AX

ERP-System
Microsoft Dynamics AX

xalax

Microsoft Dynamics 365 Supply Chain Management

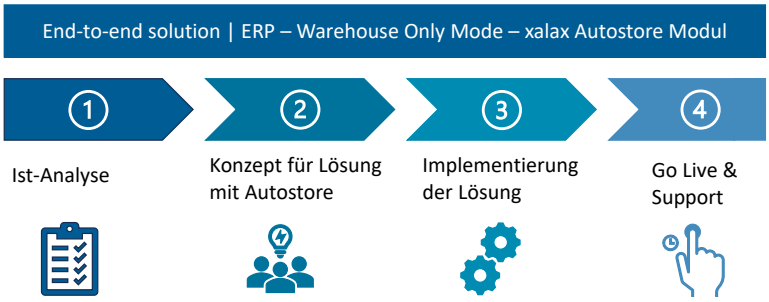
Warehouse Only Mode (WMS)
&
xalax Autostore Modul

xalax

AutoStore
Material Handling Equipment (MHE)

xalax

Use case example von Wever & Ducré



xalax

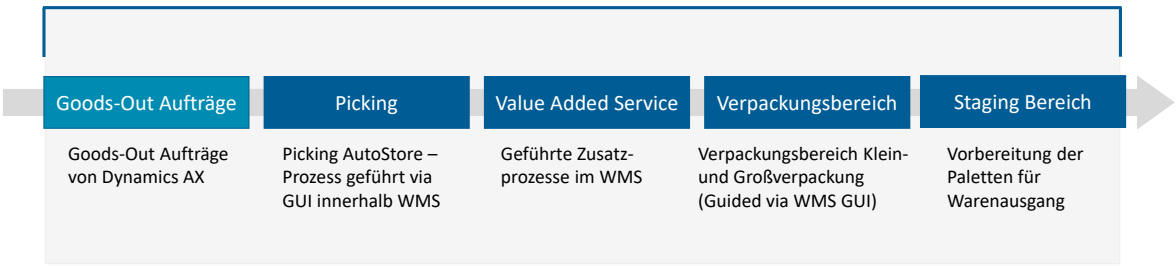
Goods-In: Manueller Bereich oder AutoStore

Dynamics AX Task
WMS (WOM) Task

xalax

Goods-Out: AutoStore Aufträge

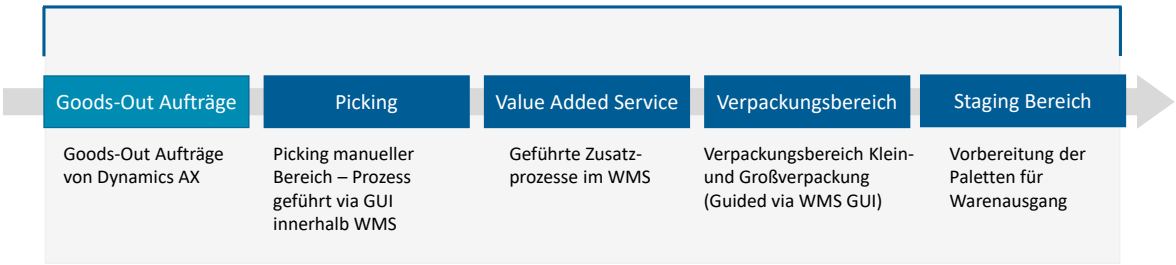
Dynamics AX Task
WMS (WOM) Task



xalax

Goods-Out: Manueller Bereich Aufträge

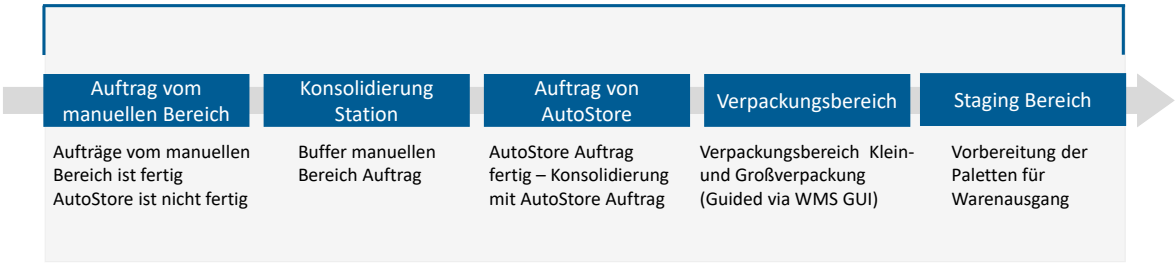
Dynamics AX Task
WMS (WOM) Task



xalax

Konsolidierung Aufträge AutoStore und Manueller Bereich

Dynamics AX Task
WMS (WOM) Task



xalax

Benefits Wever & Ducré

Wechsel Ware zu Person Konzept → Fehlerreduzierung
Großteil der Aufträge über AutoStore → Geführter Prozess am AutoStore Port

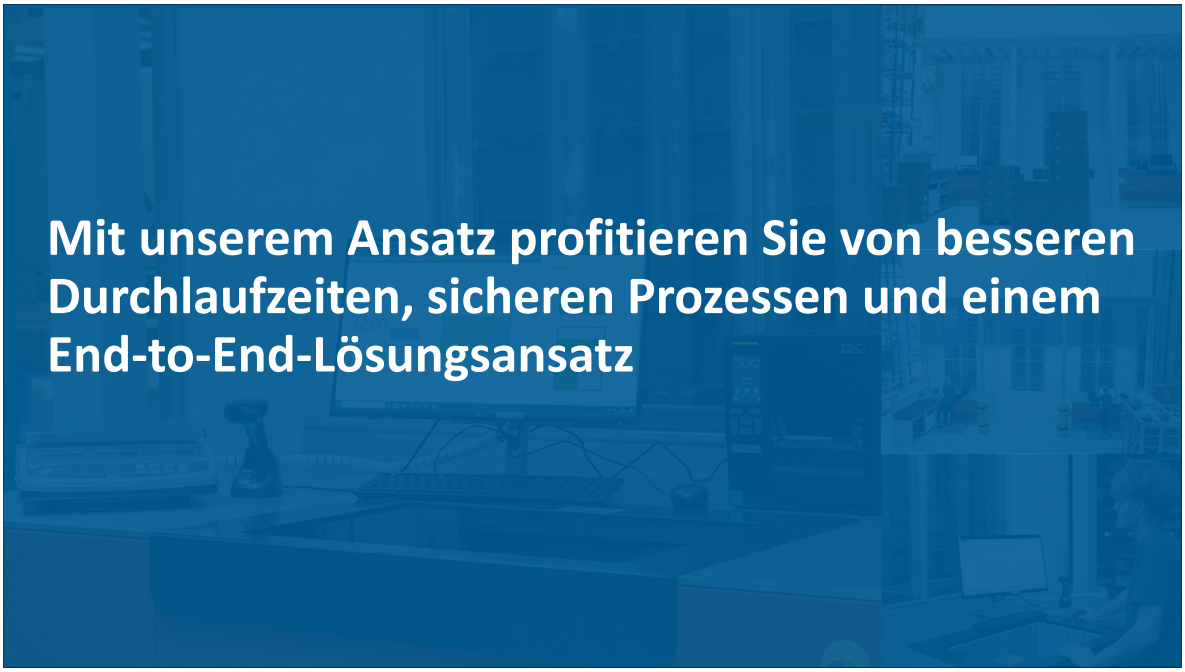
Platzeinsparung
50 % Platzersparnis zum bisherigen manuellen Lagersystem durch Einsatz AutoStore

Ergonomische Arbeitsplätze
Energieeffiziente Arbeitsplätze für Mitarbeiter

ERP, WMS und AutoStore
End-to-End Software Lösung aus einer Hand

Erhöhung der Effizienz bei Abarbeitung Aufträge
Durch einheitliche Softwarelösung und AutoStore Integration Erhöhung Pickleistungen

xalax



Vielen Dank

xalax

xalax

Rekuperierende Regalbediengeräte – Zukunftsweisende Technologie oder doch nur Marketing?

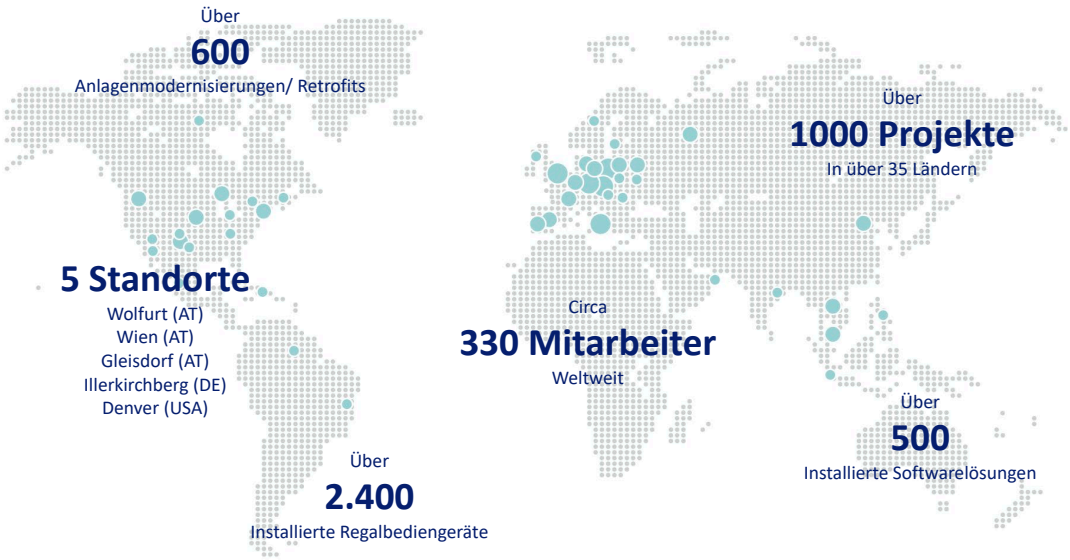
Michael Schedler

LTW

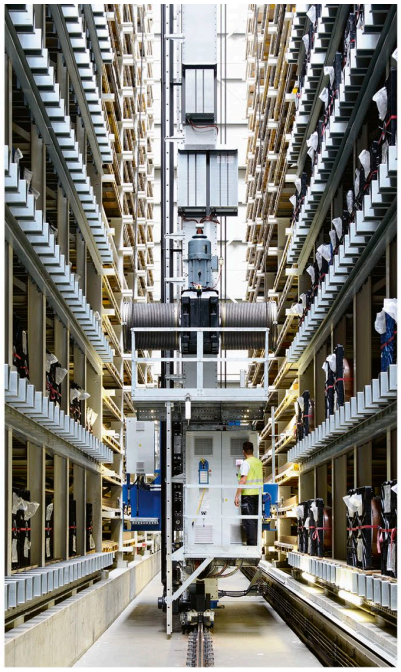
Rekuperierende Regalbediengeräte – Zukunftstechnologie oder doch nur Marketing?

Michael Schedler, Logistikwerkstatt Graz 2025

Engineers of Flow
LTW
LTW
Logistikwerkstatt Graz 2025
3


Über
600
Anlagenmodernisierungen/ Retrofits
5 Standorte
Wolfurt (AT)
Wien (AT)
Gleisdorf (AT)
Illerkirchberg (DE)
Denver (USA)
Über
2.400
Installierte Regalbediengeräte
Circa
330 Mitarbeiter
Weltweit
Über
1000 Projekte
In über 35 Ländern
Über
500
Installierte Softwarelösungen

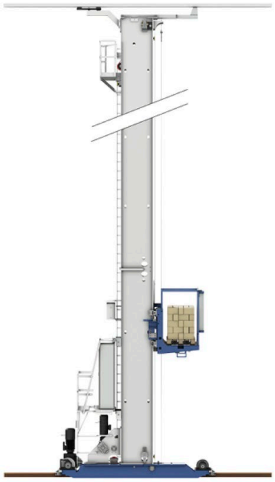
Regalbediengeräte



Regalbediengeräte (RBG)

Technische Eckdaten: Einmast Ganggebunden

- Fahrgeschwindigkeit: max. 4,0 m/s
- Hubgeschwindigkeit: max. 1,5 m/s
- Fahrbeschleunigung: max. 1,0 m/s^2
- Hubbeschleunigung: max. 1,5 m/s^2
- Bauhöhe: max. 42 m
- Nutzlast: max. 2.500 kg
- Temperaturbereich: -30°C bis +60°C



Regalbediengeräte (RBG)

Technische Eckdaten: Zweimast Ganggebunden

- Fahrgeschwindigkeit: max. 4,0 m/s
- Hubgeschwindigkeit: max. 2,0 m/s
- Fahrbeschleunigung: max. 2,0 m/s^2
- Hubbeschleunigung: max. 2,0 m/s^2
- Bauhöhe: max. 46 m
- Nutzlast: max. 15.000 kg
- Temperaturbereich: -30°C bis +60°C

Tschüss Bremswiderstand?

Die Prominenz von energieeffizienten Systemen und Anlagen nimmt weltweit zu.

Green Deal & Energy efficiency directive

The European Green Deal is a package of **policy initiatives, which aims to set the EU on the path to a green transition**, with the ultimate goal of reaching climate neutrality by 2050.
...
It underlines the need for a holistic and cross-sectoral approach in which all relevant policy areas contribute to the ultimate climate-related goal.

Source: European Green Deal - Consilium (europa.eu)

EPA Announces Most Energy-Efficient Manufacturing Plants of 2022

WASHINGTON — Today, the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) is announcing that **86 U.S. manufacturing plants earned the agency's ENERGY STAR certification in 2022**, a designation reserved for manufacturing plants in the top 25% of energy efficiency in their sector. Together, these plants saved over 105 trillion British thermal units (Btus) of energy and prevented more than 6 million metric tons of carbon dioxide emissions, equivalent to the emissions from the electricity use of more than 1.1 million American homes.

Source: EPA Announces Most Energy-Efficient Manufacturing Plants of 2022 | US EPA

National Energy Conservation Law

The National Energy Conservation Law first came into force in 1997 and amended in 2007. The main objective of the Law is to **reduce energy consumption** across all end-use sectors by **promoting energy efficiency** with an emphasis on economic and social development as well as the economic benefits of energy efficiency.

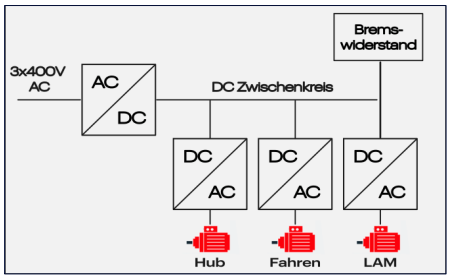
Source: National Energy Conservation Law of China (amendments in 2016) – Policies - IEA

Rekuperierende RBGs – Stand der Technik

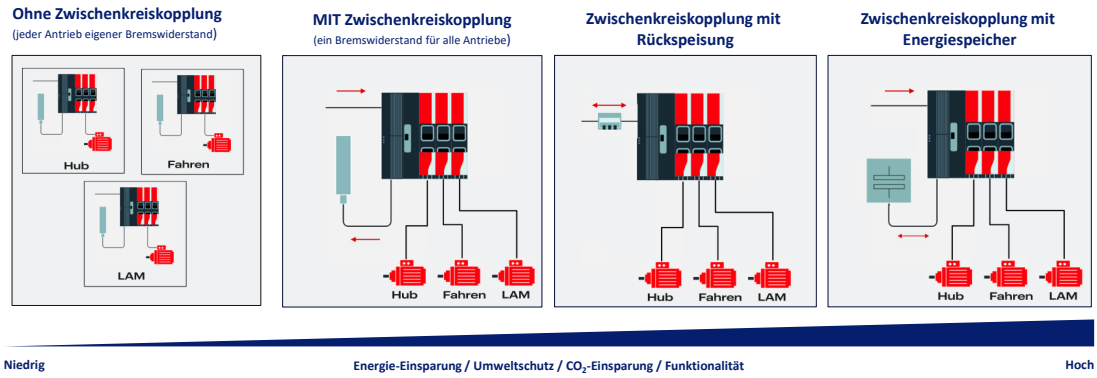
Technische Erklärung –Zwischenkreiskopplung

- **Grundprinzip**
  - **Zwischenkreis**: Ein Gleichspannungsbereich in einem Umrichter zwischen Gleichrichter (AC zu DC) und Wechselrichter (DC zu AC).
  - **Kopplung**: Zwei oder mehr Umrichter teilen sich denselben Gleichspannungszwischenkreis
  - Energie wird im Zwischenkreis ausgetauscht – z. B. kann Bremsenergie eines Motors direkt zur Beschleunigung eines anderen genutzt werden.

- **Vorteile**
  - Energieeinsparung durch Rekuperation (z. B. Bremsenergie wird wiederverwendet).
  - Reduzierter Netzanschlussbedarf
  - Stabilisierung der Spannung im Zwischenkreis durch Lastverteilung



Übersicht Elektromechanische Anordnung der Antriebe

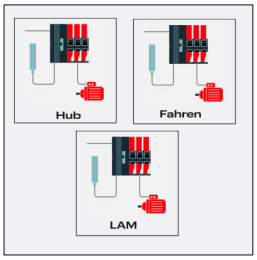


Option 1: Ohne Zwischenkreiskopplung
(jeder Antrieb eigener Bremswiderstand)

KPI´s und Eigenschaften
- Einsparpotential Energie:
  - Standard Steuerung: **0%**
  - Smarte Steuerung: **0%**
- Zus. Investments (bezogen auf State of the Art LTW): **+5%**

Veraltete Technologie!
Wird dennoch nach wie vor gebaut!

Ohne Zwischenkreiskopplung
(jeder Antrieb eigener Bremswiderstand)

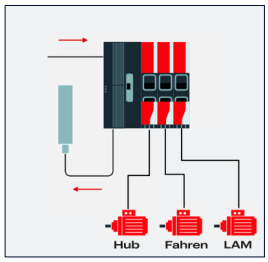


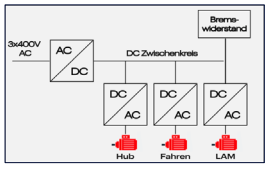
Option 2: MIT Zwischenkreiskopplung
(ein Bremswiderstand für alle Antriebe)

KPI´s und Eigenschaften
- Einsparpotential Energie (bezogen auf Opt. 1):
  - Standard Steuerung: **5-10%**
  - Smarte Steuerung: **10-15%**
- Zus. Investments (bezogen auf State of the Art LTW): **0%**

Standard by LTW
Günstigste Lösung

MIT Zwischenkreiskopplung
(ein Bremswiderstand für alle Antriebe)





Option 3: Zwischenkreiskopplung mit Rückspeisung

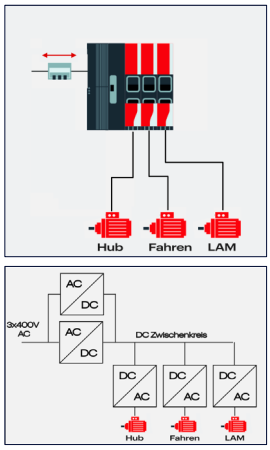
KPI´s und Eigenschaften

- Einsparpotential Energie:
  - Standard Steuerung: **5-10%**
  - Smarte Steuerung: **15-20%**
- **Zus.** Investments (bezogen auf State of the Art): **5-10%**

- Größere Trafos notwendig
- Wirkungsgrade Elektronik schlecht (Standby)
- Starke Belastung des Netzes

Günstigste rekuperierende Lösung!
Aussterbende Technologie im Bereich RBG

Zwischenkreiskopplung mit Rückspeisung



Option 3: Zwischenkreiskopplung mit Energiespeicher

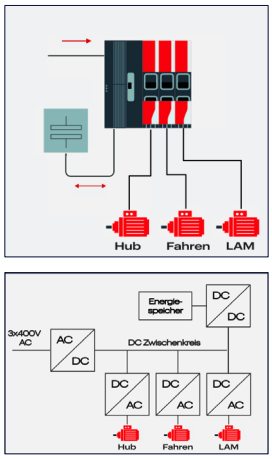
KPI´s und Eigenschaften

- Einsparpotential Energie:
  - Standard Steuerung: **20-25%**
  - Smarte Steuerung: **30-35%**
  - **(techn. Maximum: 40%)**
- Zus. Investments (bezogen auf State of the Art): **10-60%**

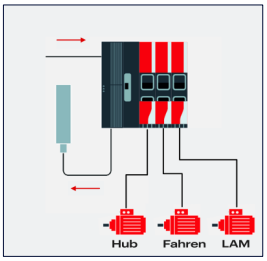
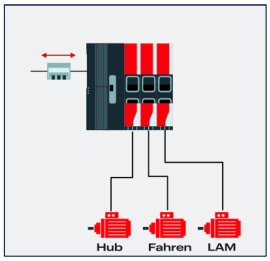
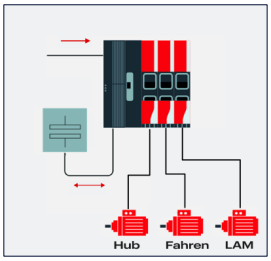
- Generatorische Energie wird gespeichert
- Reduktion von Leistungsspitzen aus dem Netz

State of the Art
Rekuperierende Systeme

Zwischenkreiskopplung mit Energiespeicher



Übersicht der Optionen

	Option 2: MIT Zwischenkreiskopplung	Option 3: Zwischenkreiskopplung mit Rückspeisung	Option 4: Zwischenkreiskopplung mit Energiespeicher
			
Energieeinsparung mit smarter Steuerung (bezogen auf Opt.1)	10-15%	15-20%	30-35%
Zus. Investments (bezogen auf Option 2)	--	5-10%	10-60%
Sonstiges	• Standard by LTW	• Günstigste Rekuperierende („grüne“) Lösung	• senkt Installationskosten • Reduktion Leistungsspitzen • Ausgleich Netzschwankungen (Blackouts)

RBGs mit Energiespeicher

Ein Blick in die Praxis

RBG mit Energiespeicher

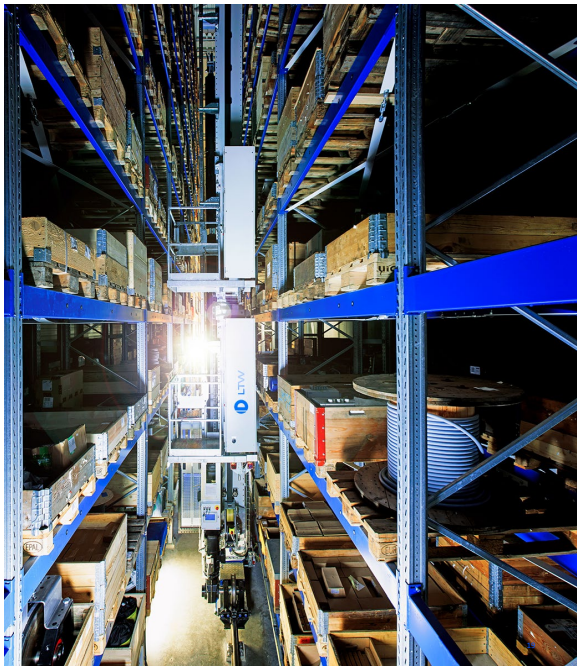
Hard Facts

Technische Informationen

- Rekuperation, Speicherung und Wiederverwendung von Bremsenergie (mit Supercaps)
- Entwickelt im Jahr 2022
- Ca. 1/3 Energierückgewinnung
- Ca. 80 % Reduzierung der Anschlusslast

Markt

- 15% aller RBGs werden seit 2022 mit Energiespeicher verkauft
- Nachfrage nach „grüner“ Technologie steigend!
- Reduzierung der Anschlusslast sowie Überbrückung von kurzzeitigen Netzschwankungen und Blackouts immer stärker von Bedeutung.

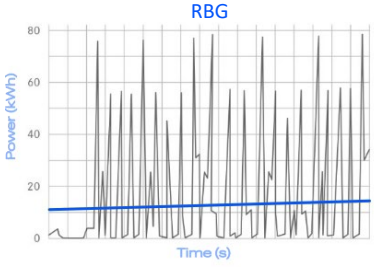


RBG mit Energiespeicher- KPI

Vergleich Netzeinspeisung konventionelles RBG – RBG mit Energiespeicher

- Ca. 80 % Reduzierung der Netzeinspeisung

Netzeinspeisung konventionelles RBG



Netzeinspeisung RBG mit Energiespeicher

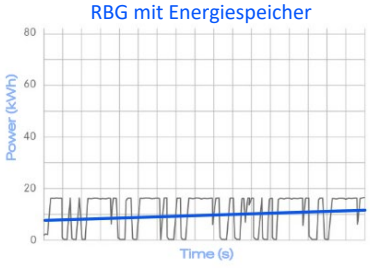
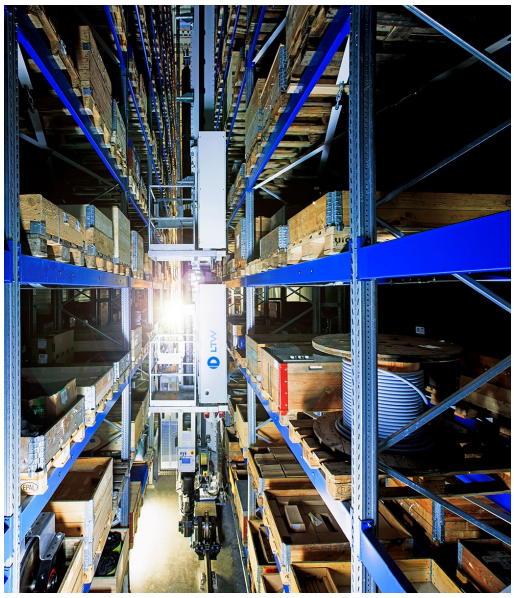


Abb.: Vergleich Hauptversorgungskabel:
rechts RBG mit Energiespeicher (4x2,5mm)
links konventionelles RBG (4x16mm)

Praxisbeispiel– RBG mit Energiespeicher LTW Achstraße (Vorarlberg)

Vergleich konventionelles RBG – RBG mit Energiespeicher

Technische Aspekte	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Energie-rückgewinnung	-35%
Reduktion Netzeinspeisung	-70 %
Höhe	20 m



Practical Example – Hybrid STC - LTW Achstraße (Vorarlberg)

Vergleich konventionelles RBG – RBG mit Energiespeicher

Technical Aspects	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Energie-rückgewinnung	-35%
Reduktion Netzeinspeisung	-70 %
Höhe	20 m

Wirtschaftl. Aspekte (Greenfield)	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Zus. Investments für Energiespeicher (inkl. el. Infrastruktur)	+10%
Vgl. Energiekosten (inkl. sämtlicher Nebenkosten)	-65%
Amortisationsdauer Kosten Energiespeicher	3 Jahre

Practical Example – Hybrid STC - LTW Achstraße (Vorarlberg)

Vergleich konventionelles RBG – RBG mit Energiespeicher

Technical Aspects	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Energie-rückgewinnung	-35%
Reduktion Netzeinspeisung	-70 %
Höhe	20 m

Wirtschaftl. Aspekte (Greenfield)	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Zus. Investments für Energiespeicher (inkl. el. Infrastruktur)	+10%
Vgl. Energiekosten (inkl. sämtlicher Nebenkosten)	-65%
Amortisationsdauer Kosten Energiespeicher	3 Jahre

Wirstschftl. Aspekte (Brownfield)	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Zus. Investments für Energiespeicher (inkl. el. Infrastruktur)	+60%
Vgl. Energiekosten (inkl. sämtlicher Nebenkosten)	-65%
Amortisationsdauer Kosten Energiespeicher	6 Jahre

Practical Example – Hybrid STC - LTW Achstraße (Vorarlberg)

Vergleich konventionelles RBG – RBG mit Energiespeicher

Technical Aspects	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Energie-rückgewinnung	-35%
Reduktion Netzeinspeisung	-70 %
Höhe	20 m

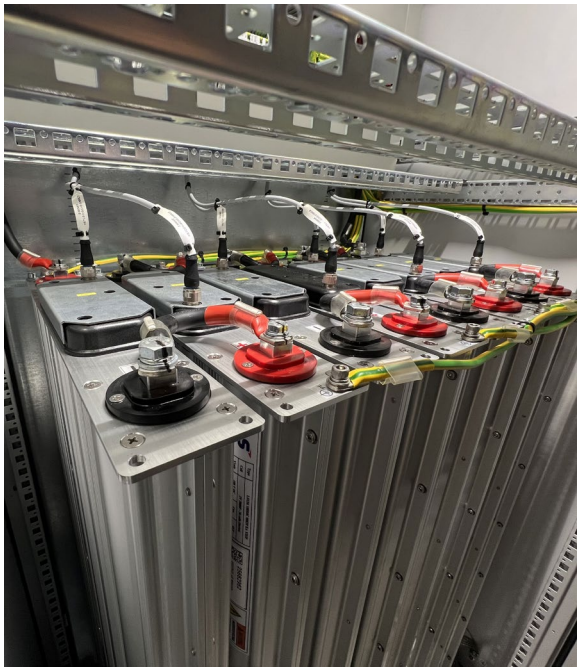
Wirtschaftl. Aspekte (Greenfield)	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Zus. Investments für Energiespeicher (inkl. el. Infrastruktur)	+10%
Vgl. Energiekosten (inkl. sämtlicher Nebenkosten)	-65%
Amortisationsdauer Kosten Energiespeicher	3 Jahre

Wirstschftl. Aspekte (Brownfield)	
Spec.	Konventionell vs Energiesp.
Zus. Investments für Energiespeicher (inkl. el. Infrastruktur)	+60%
Vgl. Energiekosten (inkl. sämtlicher Nebenkosten)	-65%
Amortisationsdauer Kosten Energiespeicher	6 Jahre

Die Zahlen hängen stark vom Einsatzort und der lokalen Strompreisberechnung ab!!

Zusammenfassung

- **Einzig RBGs mit Energiespeicher können im vollen Umfang überzeugen**
- Ihre Stärke liegt in den Greenfield Projekten
- Die derzeit erhältliche Powercap Technologie begrenzt noch eine höhere Energierückgewinnung (max.40%)
- Je nach Betriebsort können KPIs aufgrund der Strombepreisung stark variieren”
- Die “große” Kosteneinsparung resultiert nicht aus der Energieeinsparung selbst sondern aus der Reduzierung der Netzeinspeisung und den Nebenkosten der Energiebepreisung
- Zwischenkreiskopplung in Kombination mit einer smarten Maschinensteurung kann bereits sehr gute Ergebnisse liefern. Sollte Standard sein, ist es jedoch nicht!



LTW

Systemintegration als Weg zum Erfolg

Robert Reithofer

Systemintegration als Weg zum Erfolg

Logistikwerkstatt Graz 2025

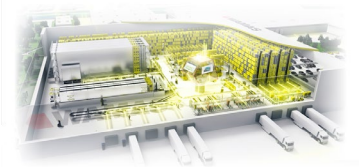
Robert Reithofer

SSI SCHÄFER
Think Tomorrow.

Was verstehen wir unter Systemintegration?

Systemintegration ist die Verbindung unterschiedlicher Teilsysteme zu einem funktionierenden Ganzen, um Effizienz im Waren- und Datenfluss sowie die geplante Funktionalität zu liefern und weiters die Parameter in welchem das Gesamtsystem höchste Leistungen erzielt, zu erweitern.

Möglichkeiten eines Systemintegrators*



Projekt aus Kundensicht

Initialisierung	Zieldefinition, Budget, Zeithorizont
Planung	Logistikplanung & Ausschreibung
Realisierung	Implementierung der Systemlösung
Ramp-Up	Migration & schrittweiser Hochlauf
Betrieb	Optimierung

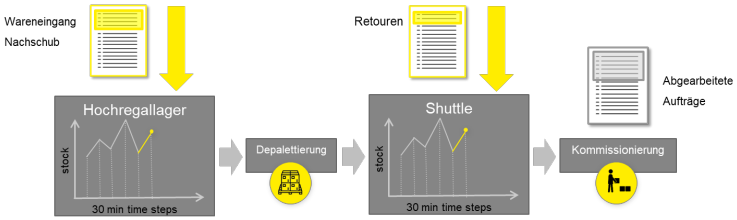
- Konzeptentwicklung
- Breites Produktspektrum & starkes Partnernetzwerk
- Prozessanalyse & Systemarchitektur (IT)
- Hochwertige Testsysteme
- Control Center Software für höchste Transparenz
- Hypercare & Predictive Maintenance
- Hochwertige Testsysteme

* Ausgewählte Themen

Konzeptentwicklung – Konzept Simulation

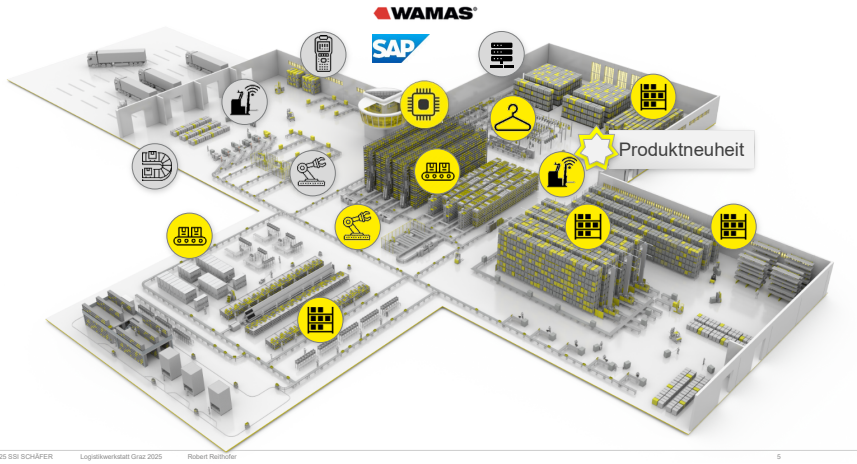
Planung

- Werkzeug zum Prüfen von möglichen Systemlösungen basieren auf Daten von Kunden zur Ermittlung von Engpässen oder übermäßiger Auslegung, kurz- und langfristig
- Numerisches Modell eines logistischen Systems, keine Visualisierung von Warenströmen
- Berechnung unterschiedlicher, für das Konzept relevanter, Kennzahlen, basierend auf einem abstrakten Modell und den jeweiligen Eigenschaften der geplanten Komponenten/Lagersysteme
- Kurze An- und Durchlaufzeiten ermöglichen eine höhere Anzahl und Varianz an Experimenten



Breites Produktspektrum & Starke Partnerschaften

Planung



FastBots Solution

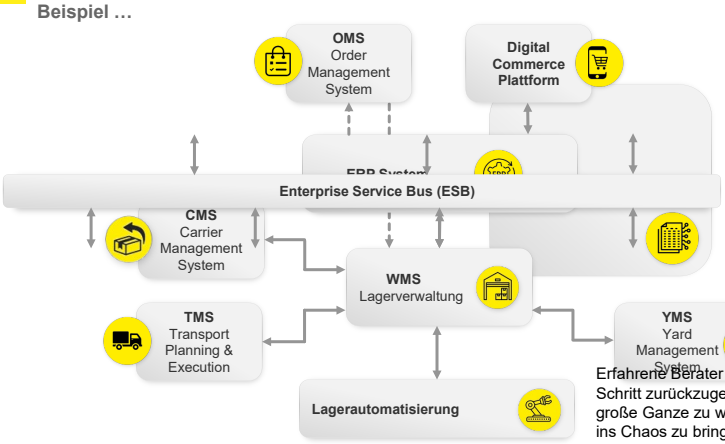
Produktneuheit

- Höchste Redundanz
- Durchsätze bis zu 10.000 Doppelspielen/h
- Dynamische Routenplanung
- Europäisches Produkt
- Ausgezeichnete Basis für skalierbare Lösungen
- Höchste Qualität, niedrige Wartungs- und Betriebskosten

Prozessanalyse & Systemarchitektur (IT)

Planung

Beispiel …



Eine ausgeprägte Prozessvielfallt, spiegelt sich auch in den verwendeten IT-Komponenten wider.

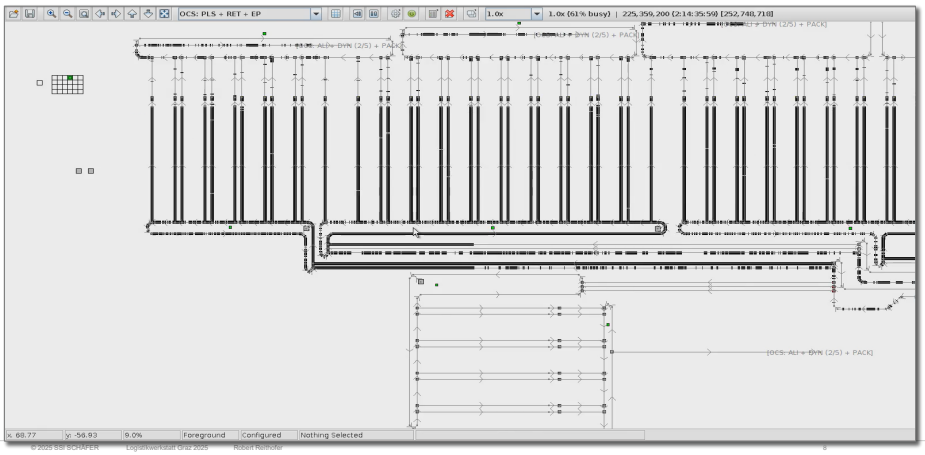
Gerade bei, über die Zeit gewachsenen und immer wieder erweiterten Systemen, führt dies zu einer komplexen IT-Landschaft, wodurch die Systemintegration zur Herausforderung werden kann.

Erfahrene Berater ermutigen Kunden einen Schritt zurückzugehen, um den Blick auf das große Ganze zu werfen, um als Folge Ordnung ins Chaos zu bringen.

Hochwertige Testsysteme

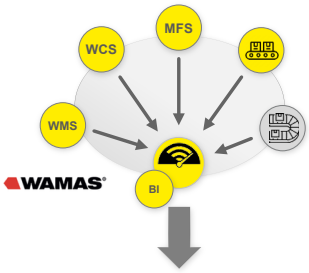
Realisierung Betrieb

WAMAS Emulation Center



WAMAS Control Center Software

Betrieb

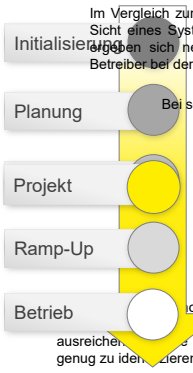


Richtige Entscheidungen werden auf Basis valider Informationen getroffen.

Zu wissen, welche Informationen in Kombination mit anderen Kennzahlen valide und relevant sind, ermöglicht der steuernden Software automatische Korrekturen und unterstützt das Leitstandspersonal im laufenden Betrieb.

Hypercare & Predictive Maintenance

Betrieb



Im Vergleich zur gesamten Betriebszeit eines logistischen Systems, ist der Zeitraum der Implementierung, aus Sicht eines Systemintegrators und Generalunternehmers das Projekt, verhältnismäßig kurz. Im laufe der Zeit ergeben sich neue Anforderungen und Erkenntnisse, ein **Hypercare** Team des Integrators unterstützt den Betreiber bei der Umsetzung von Änderungen bzw. Erweiterungen.

Bei sehr umfangreichen Implementierungen endet die Hypercare Phase oft erst nach Jahren.

nce, erhöht die Verfügbarkeit der Anlage im laufenden
nten eines automatisiertes Logistiksystem liefern
ausreichen e Informationen, um potenzielle Schwachstellen früh genug zu iden zieren und gezielt zu beseitigen.

Vielen Dank!

Robert Reithofer
robert.reithofer@ssi-schaefer.com

ssi-schaefer.com

© 2025 SSI SCHÄFER Logistikwerkstatt Graz 2025 Robert Reithofer

SSI SCHÄFER
Think Tomorrow.

Copyright

© 2025 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.

SSI SCHÄFER

Potenzial von Mobilfunkdaten in der Logistik

Michael Cik

Über uns

Wer sind wir?

- Gegründet 2016 als Spin-off der TU Graz und des Know-Center
- Seit 2020 Teil der A1 Telekom Austria Group

INVENIUM DATA INSIGHTS

TU Graz | A1 Telekom Austria Group | KNOW Center

Über uns

Was tun wir?

Wir verarbeiten und analysieren anonymisierte Mobilfunk-Signalisierungsdaten,
um Bewegungsströme von Menschen sichtbar und verständlich zu machen.

Täglich 3,2 M Geräte im A1 Netzwerk mit 7000+ Funkstationen in Österreich
Täglich 42 M Geräte im O2 Telefonica Netzwerk mit 33.000+ Funkstationen in Deutschland

Aus Daten werden Insights

Mit unserer Produktpalette Mobility Insights analysieren wir menschliche Mobilität um Fragestellungen aus den Bereichen Wirtschaft, Tourismus, Verkehr und vielen weiteren zu beantworten und unseren Kunden wertvolle Einblicke in das Verhalten ihrer Zielgruppen zu geben.

TÜV-geprüft und konform
mit den strengsten
Datenschutzrichtlinien

Daten erfassen

Rein technische, vollständig anonymisierte Mobilfunkdaten aus dem Netz der A1 …

Daten analysieren

..werden mit eigens entwickelten Algorithmen verarbeitet…

Daten aufbereiten

..in interaktiven Dashboards, täglichen Reports, oder CSV-Dateien aufbereitet…

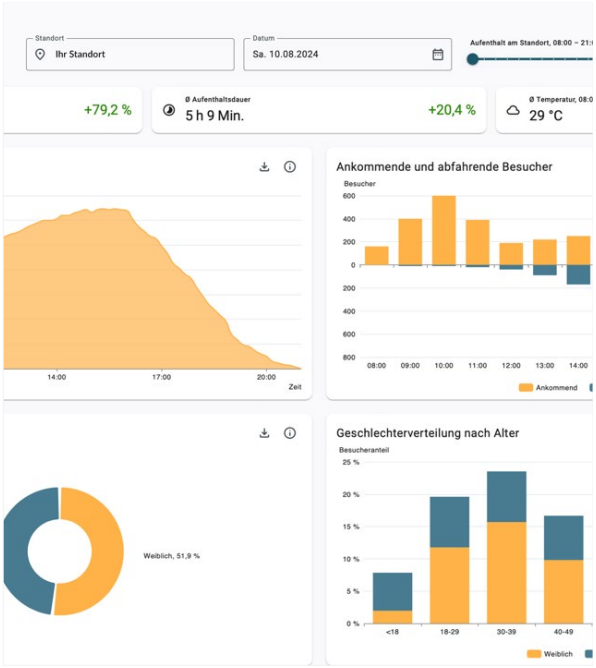
Fragen beantworten

..um die Fragestellungen unserer Kunden beantworten zu können.

Unsere Kunden

Einzelhandel

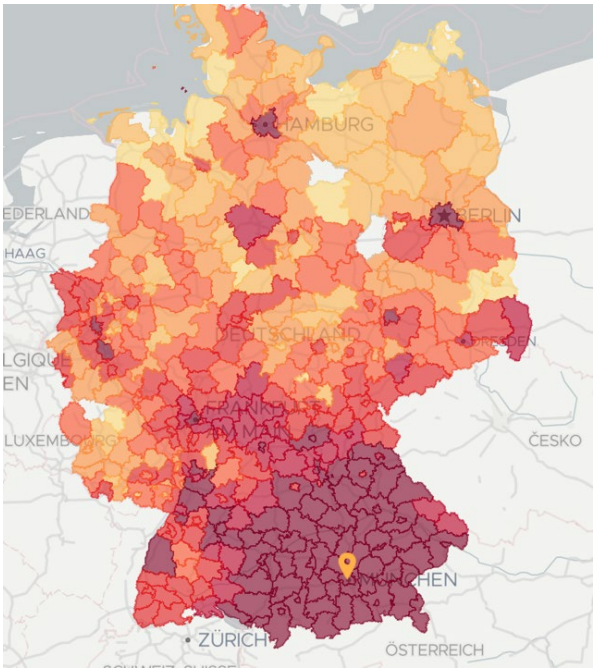
- Wie viele Personen besuchen meinen Standort?
- Wie hat sich die Besucherzahl im Vergleich zu ähnlichen Zeiträumen geändert?
- Zu welchem Geschlecht, zu welcher Altersgruppe oder Nationalität gehören meine Besucher*innen?



Unsere Kunden

Veranstaltungen

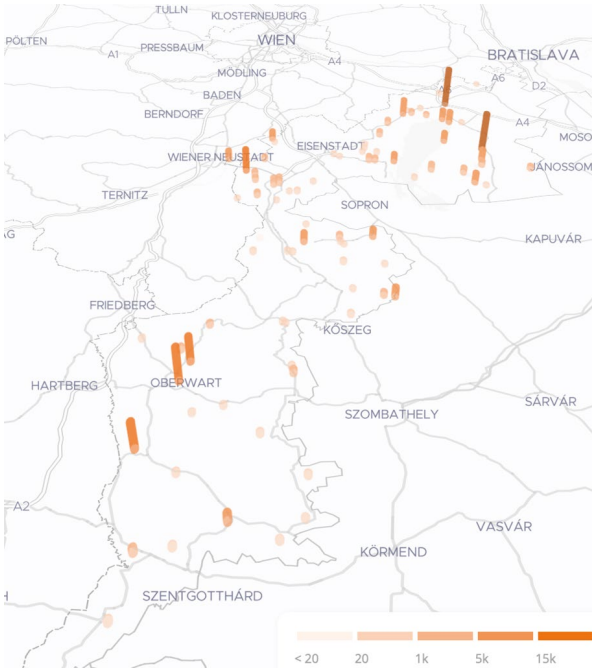
- Wann kommen Besucher*innen zu meiner Veranstaltung?
- Wann verlassen sie sie wieder?
- Wie lange halten sich Besucher*innen auf?
- Woher kommen sie?



Unsere Kunden

Tourismus

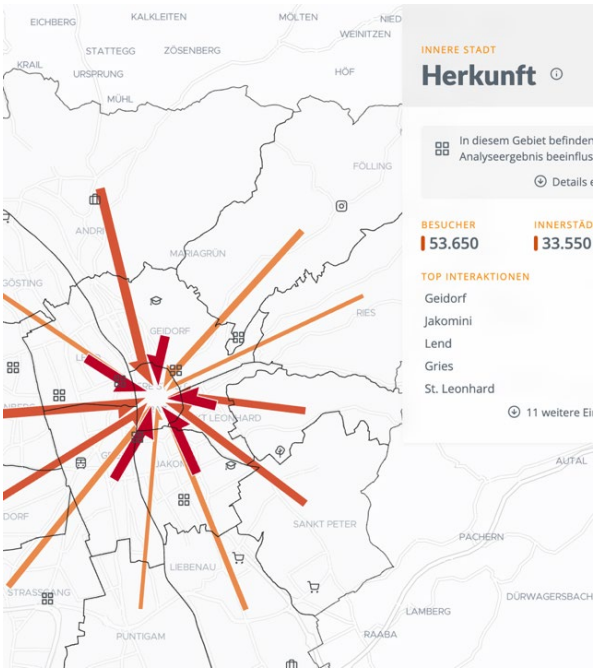
- Welche Sehenswürdigkeiten besuchen Touristen in meiner Region?
- Welche locken besonders viele Tagestouristen an?
- Welche sind bei internationalen Touristen beliebt?



Unsere Kunden

Städte und Gemeinden

- Woher kommen die Besucher*innen eines Bezirks?
- Wo verbringen Bewohner*innen ihre Wochenenden?
- In welchen Bezirken gibt es besonders viele Pendler*innen aus dem Umland?

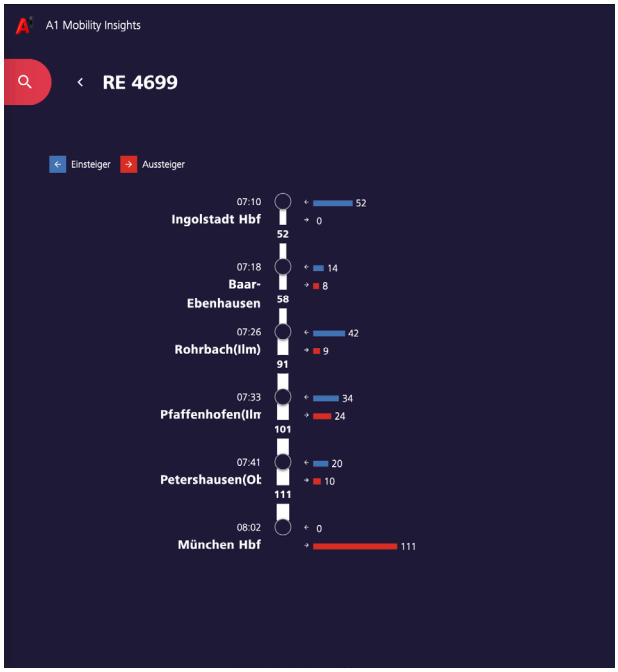


Unsere Kunden

Personenverkehr

- Informationen über Start- und Zielort
- Ein-, Aus- und Umsteigeverhalten pro Bahnhof
- Fahrgastfrequenz auf Stundenbasis für alle Bahnhöfe

ÖBB INFRA



Aktuelle Forschung

ReMo

Entwicklung eines regional differenzierten deutschlandweiten Verkehrsmodells zur Darstellung konsistenter Verkehrsnachfragekenngrößen

- Entwicklung eines Modells, das innovative Daten und etablierte Empirie miteinander vereint
- Ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Trends und Veränderungen der Mobilität

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/remo.html

REMO Regionalindikatoren Mobilität

Aktuelle Forschung

MultiMoFusion

Multiple Mobilitätsdatenfusionierung & -anreicherung für nachfrageorientierte Mobilitätsanwendungsfälle

- Verknüpfung von traditionellen Mobilitätserhebungsmethoden mit anonymisierten Mobilfunkdaten
- Fusion zweier etablierter Datensätze in der Mobilitätsforschung zur Schaffung einer völlig neuen und umfassenden Datenquelle

https://projekte.ffg.at/projekt/4878696

Aktuelle Forschung

INNOVATOUR

Bedarfsgerechte touristische Mobilitätsbedarfe durch Dateninnovationen nachhaltig lenken

- Verbesserung sicherer, bezahlbarer und nachhaltiger touristischer Mobilitätsangebote im Rahmen des Umweltverbundes
- Leistung eines Beitrags für einen inklusiveren Zugang zu Erholungs- und Freizeitgelegenheiten

https://projekte.ffg.at/projekt/5124741

Aktuelle Forschung

APPETITE

AI-driven collaborative supply and demand matching platform for food waste reduction in the perishable food supply chain

- Reduktion der Lebensmittelverschwendung durch Prävention um bis zu 10% bis 2030
- Erstellung eines demonstrativen Prototyps einer kollaborativen Supply und Demand Matching-Plattform für Lebensmittel-einzel- und -großhändler

https://projekte.ffg.at/projekt/4141460

Potenzielle Anwendungen in der Logistik

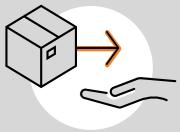
Standortplanung

- Mobilfunkdaten ermöglichen die Identifikation von Regionen mit hohem Pendlerverkehr oder hoher Verweildauer
- Hilfreich bei der Planung strategischer Standorte für Fulfillment-Center oder Abhol-/Bringstationen
- Ermöglicht intelligentere langfristige Investionen zur Reduktion von Lieferzeiten- und Kosten

Potenzielle Anwendungen in der Logistik

Nachfrageprognose

- Veränderungen der Bevölkerungsdichte oder von Bewegungsmustern geben Hinweise darauf, wo die Nachfrage nach Waren steigen könnte.
- Ermöglicht die Vorpositionierung von Lagerbeständen oder Fahrzeugen in Gebieten mit hoher Nachfrage



Potenzielle Anwendungen in der Logistik

Urbane Lieferplanung

- Mobilfunkdaten können dabei helfen, die Bewegungen der Verbraucher zu verstehen
- In welchen Gebieten und zu welchen Tageszeiten sind Verbraucher vorwiegend zu Hause?
- Hilft dabei, Lieferungen zeitlich und gezielt zu planen.

Potenzielle Anwendungen in der Logistik

Routenoptimierung

- Analyse aggregierter Standortdaten von Mobiltelefonen geben Aufschluss über das Verkehrsaufkommen zu verschiedenen Tageszeiten.
- Echtzeitdaten von Mobilfunkdaten helfen dabei, Staus oder Verkehrsstörungen zu erkennen.
- Ermöglicht Lieferunternehmen die schnellsten und stauärmsten Routen zu wählen, und Lieferwege dynamisch anzupassen um Treibstoffkosten zu spark und Verzögerungen zu reduzieren.

Potenzielle Anwendungen in der Logistik

Notfall und Krisenreaktion

- Mobilfunkdaten können bei Pandemien und Naturkatastrophen Aufschluss darüber geben, wo sich die Bevölkerung aufhält und wie sich diese bewegt
- Hilft bei der Planung von Versorgungsrouten um schnelle und gezielte Hilfemaßnahmen zu ermöglichen

INVENIUM
DATA INSIGHTS
Exploring Human Mobility at Scale

ACT ON FACTS – Datenbasierte Prozessoptimierung mit Motion-Mining®: Effizienzmeilensteine erreichen

Sebastian Heydorn

MotionMiners GmbH© 2025

ACT ON FACTS –
Datenbasierte Prozessoptimierung mit Motion-Mining®

Effizienzmeilensteine erreichen

MOTIONMINERS

MotionMiners GmbH
Über uns

MotionMiners GmbH© 2025

Projekte	Kunden	Länder
200 +	200 +	20

Mitarbeiter:innen
> 60

- Gegründet im Oktober 2017
- Spin-Off des Fraunhofer IML
- Anbieter datengetriebener Shopfloor-Analysen
- Motion-Mining®als Dienstleistung &als Produkt

MOTIONMINERS

Referenzen
Mehr als 150 zufriedene Kunden in über 20 Ländern
3
MotionMiners GmbH© 2025
Transport / Logistik
Handel / Food
Industrie
Automotive
MOTIONMINERS

Das Problem
Fehlende Transparenz - Daten sind lückenhaft
MOTIONMINERS
MotionMiners GmbH© 2025

Eine Lösung
Zeitaufwendige Prozessbeobachtungen

Dr. Maria Mayer
Prozessanalystin

MOTIONMINERS

Unsere Lösung: Motion-Mining®
Die Lösung für eine datengetriebene Analyse manueller Arbeitsprozesse

MotionMiners GmbH© 2025

MOTIONMINERS

Wir liefern:

- 10 – 40 % Kosteneinsparung
- **10 – 25 %** Ergonomieverbesserung
- **Anonyme** Datenaufnahme
- 6 – 12 Monate Return-on-Invest

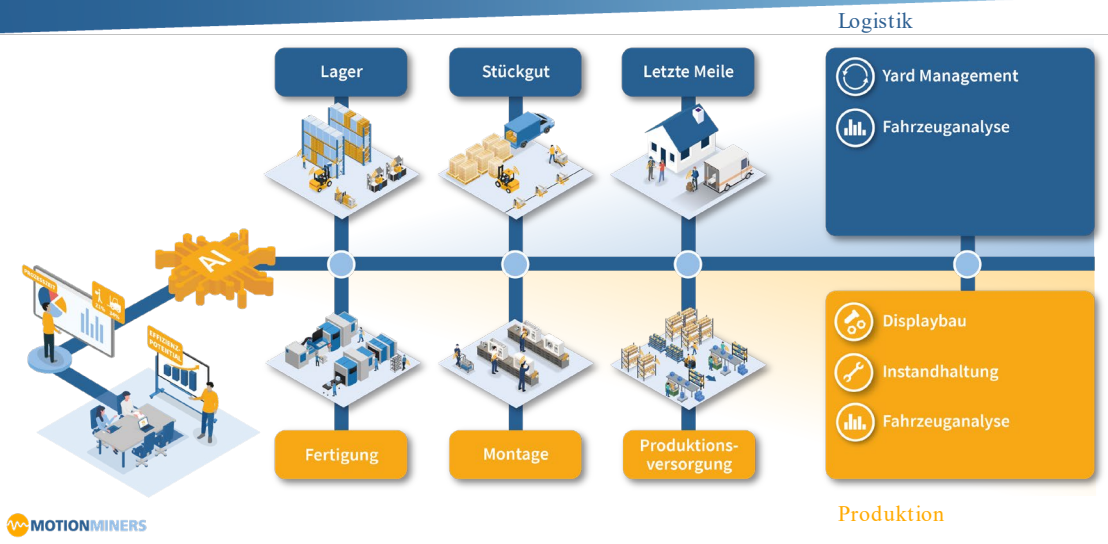
Die Motion-Mining®Technologie
für Mitarbeiter, Hilfsmittel und Fahrzeuge

MotionMiners GmbH© 2025

MOTIONMINERS

Anwendungsfälle von Motion-Mining®
aus Logistik und Produktion

8
MotionMiners GmbH© 2025



MOTIONMINERS

Auswertungsbeispiele

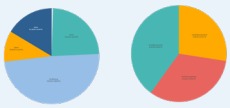
Beispiele verschiedener Analysedimensionen und Visualisierungen

9
MotionMiners GmbH© 2025

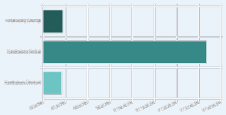
Matching mit Betreibsdaten (WMS, TMS, ERP, etc) möglich

Heatmaps

Aktivitätsverteilung

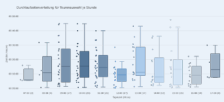


Ergonomie

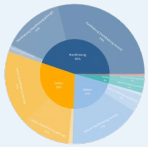


Hilfsmittelnutzung

Zeitliche Streuung



Aktivitätshierarchien



MOTIONMINERS

Analyse in der Lagerlogistik ohne Motion-Mining®

Viele Prozessdaten fehlen – Datengrundlage für Entscheidung zu gering

10
MotionMiners GmbH© 2025

MOTIONMINERS

HP0

Transparenz mit Motion-Mining®in der Lagerlogistik

Auflösung der „Blackbox Kommissionierung“

11
MotionMiners GmbH© 2025

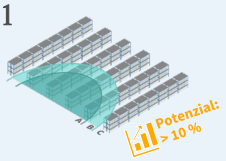
MOTIONMINERS

Kundenerfolgsgeschichte in der Lagerlogistik

Durchlaufzeiten um über 20 % reduzieren

12
MotionMiners GmbH© 2025

#1

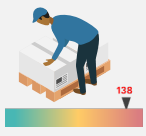


Mit verbesserter **Artikelanordnung** **Verschwendung** zwischen den Picks **reduzieren**

#2

Aufwand für **Zusatztätigkeiten** identifizieren und **reduzieren**

#3



Ergonomische Risiken, z.B. bei Umpackvorgängen, aufdecken und **reduzieren**

#4

Aufwand für **Restmengenzählung** identifizieren und **Alternativen** aufzeigen

Im **Fokus** des Projektes stand die **Analyse eines Kommissionierprozesses** in der Lebensmittellogistik mit dem Ziel, die **Durchlaufzeiten** zu **reduzieren**. Durch das Aufdecken der „Blackbox“ konnten **Potenziale** von **über 20 %** aufgedeckt werden.

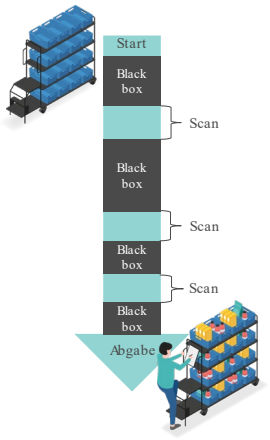
Mit **Motion-Mining®**befähigen wir unsere **Kunden** und **Partner,** Prozesse **standortindividuell** zu analysieren und **Potenziale** aus den manuellen Arbeitsprozessen zu **heben**.

MOTIONMINERS

#1 Zeit zwischen den Picks

Auflösung der „Blackbox“ mittels Motion-Mining®

Status quo



Motion-Mining®

Insights durch Motion-Mining®

Aufgedeckt:

- Transparente Darstellung der Zeit zwischen den Scans
- Verschwendungen durch Such-, Umpackaufwände und Stau konnten quantifiziert werden

Optimierung *(Erwiesen)*:
>10 % Reduzierung u.a. durch Neuanordnung der Artikel zur Vermeidung von Staus und Suchaufwänden

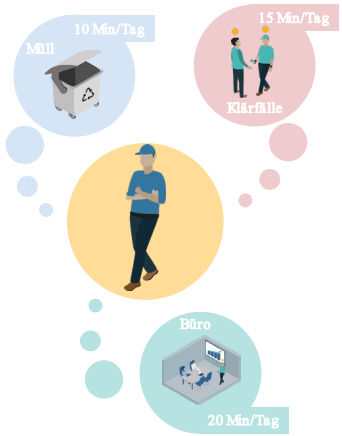
MOTIONMINERS

#2 Aufwand für Zusatztätigkeiten

Auflösung der „Blackbox“ mittels Motion-Mining®

Status quo

Motion-Mining®



Insights durch Motion-Mining®

Aufgedeckt:
45 Min/Tag beschäftigt sich **jeder Mitarbeitende** mit **Zusatztätigkeiten**

Lösungsansätze:

- Entsorgung gesammelt zum Schichtende
- Mobiltelefone, um Klärfallzeit zu reduzieren
- Büroarbeitszeit durch digitale Datenerfassung reduzieren

MOTIONMINERS

Motion-Mining®anwenden

Messen lassen oder selbst messen

MotionMiners GmbH© 2025

CONSULTING

Nutzen Sie Motion-Mining® **ohne** dass eigene **Personalkosten** anfallen.

Wir kümmern uns um die Messung, Auswertung und Interpretation.

Full-Service

INSIGHTS

Nutzen Sie Motion-Mining® völlig **eigenständig** und optimieren Sie Ihre Prozesse in Eigenregie.

Self-Service

MOTIONMINERS

MotionMiners GmbH© 2025

Weitere Informationen

Besuchen Sie uns online

MotionMiners GmbH© 2025

MOTIONMINERS

SOLUTIONS

MOTIONMINERS PROCESS INTELLIGENCE

LinkedIn

YouTube

DIE PROZESSANALYSE DER ZUKUNFT

Entdecken Sie das ungenutzte Potenzial Ihrer Arbeitsprozesse.

Erfassen Sie anonymisiert Prozessdaten und optimieren Sie manuelle Arbeitsabläufe mit Motion-Mining® hinsichtlich Effizienz und Ergonomie.

Beratungstermin vereinbaren

MOTIONMINERS

MotionMiners GmbH © 2025
Gemeinsam auf dem Weg zu effizienten und ergonomischen Prozessen!
Sebastian Heydorn
Sales Manager
Tel.: (+49) 152 / 0211 3694
sebastian.heydorn@motionminers.com
https://www.linkedin.com/in/sebastian-heydorn/
Connect with me on LinkedIn!
MOTIONMINERS

Simulation Testing Methods: A Key Tool in Logistics Process Development

Péter Tamás

SIMULATION TESTING METHODS: A KEY TOOL IN LOGISTICS PROCESS DEVELOPMENT

Prof. Dr. Péter Tamás
Deputy Dean, Head of the Institute, Professor
University of Miskolc, Faculty of Mechanical Engineering and Informatics,
Institute of Logistics

PRESENTATION STRUCTURE

- Overview of the Institute of Logistics
- Interpreting the concept of logistics simulation
- The role of simulation in the 4th industrial revolution
- Using simulation in process improvement
- Digital solutions to support process improvement
- Case studies
- Summary

OVERVIEW OF THE INSTITUTE OF LOGISTICS

History of the Institute:
- Department of Lifting Machinery, 1951-1956
- Department of Transport Equipment, 1956-1992
- Department of Material Handling and Logistics, 1992-2013
- Institute of Logistics, 2013-

Leaders:
- Gusztáv Esztergályos (associate professor) 1951-1952
- Tivadar Bitvai (assistant professor) 1952-1956
- Prof. Dr. Richárd Vankó (professor) 1956-1966
- Prof. Dr. Imre Lévai (professor) 1966-1984
- Prof. Dr. József Cselényi (professor) 1984-2001
- Prof. Dr. Béla Illés (professor) 2001-2019
- Prof. Dr. Péter Tamás (professor) 2019-

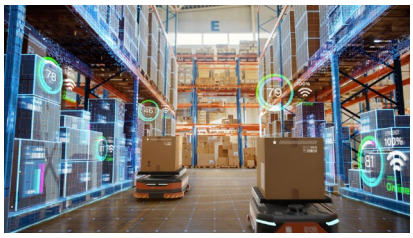
Institutional staff:
- 3 university professors
- 3 associate professors
- 4 assistant professors
- 1 master teacher
- 1 departmental engineer
- 1 person in charge of institutional administration

Other academics, researchers:
- 1 professor emeritus
- 2 senior university professors
- 1 Associate Professor
- ~ 20 corporate guest trainers

Students: BSc: ~ 380 students; MSc: ~ 30 students;
PhD: ~ 10 students; Other courses: ~ 20 students;
Total: ~ 400-450 students

ABOUT THE INSTITUTE OF LOGISTICS - EDUCATION

BSc/MSc training:
- **BSc in Logistics Engineering** (Prod./Services Process Engineer; *from 2022*)
- **MSc in Logistics Engineering** (Industry 4.0 Process Engineering, Recycling Logistics, International Logistics spec., *from 2021*)
- **MSc in Logistics Engineering in English** (Digital Logistics spec.; *from 2023*)
- **BSc in Logistics Engineering in English** (Prod./Service Process Spec., *from 2024*)
- **Logistics Engineer MSc in English - Double degree** (*from 2025*)



Postgraduate specialist training programmes:
- **Lean** Process Development Engineer/Specialist (*from 2019*)
- Logistics **Simulation** Engineer (*from 2020*)
- **Industry 4.0** Process Development Engineer (*from 2020*)
- Logistics **Packaging Development** Engineer/Specialist (*from 2021*)
- Tracking Systems Development and Operations Engineer/Specialist (*from 2023*)
- **Warehouse** Process Development and Operation Engineer/Specialist (*from 2023*)

PhD training:
- **Material Flow Systems and Logistics Informatics** (HJITDI)

ABOUT THE INSTITUTE OF LOGISTICS - RESEARCH

Research directions:

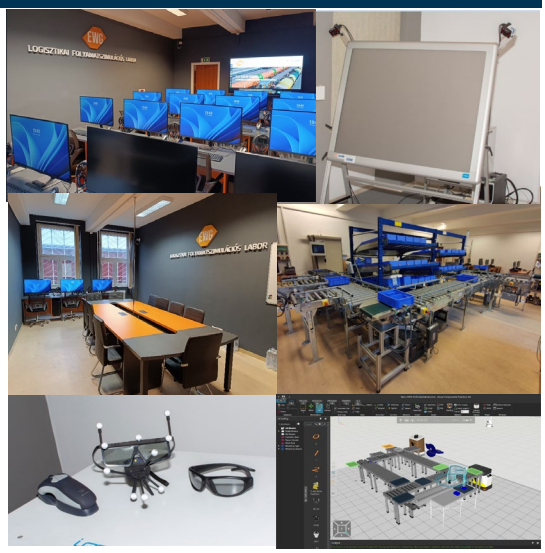
- Logistics systems design.
- Simulation process development for logistics systems.
- Product tracking system development.
- Optimising logistics processes.
- Design and operation of virtual logistics centres.
- Logistics planning and testing of packaging, unit loads.

Area of competence:

- Logistics 4.0 (https://www.uni-miskolc.hu/kompetenciak)

Institutional laboratories:

- EWG Logistics Process Simulation Lab
- Logistics 4.0 Lab
- Virtual Logistics Lab

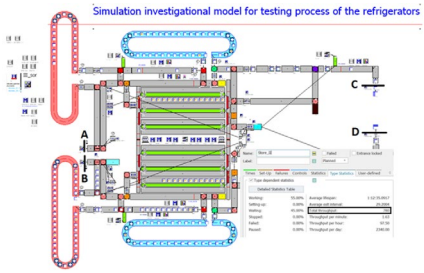


INTERPRETING THE CONCEPT OF LOGISTICS SIMULATION

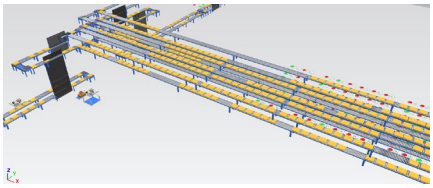
- **It is used for large complex systems** where **many random effects occur** (exact mathematical methods are limited).

- **Simulation is a method** that **can be used to realistically model the operation of processes and systems, so that their state changes can be evaluated [3].**

- **Main objectives of simulation:**
  - avoid design errors,
  - comparison of design variants,
  - defining boundary conditions and states,
  - comparing management strategy options,
  - modelling of malfunctions and their recovery.

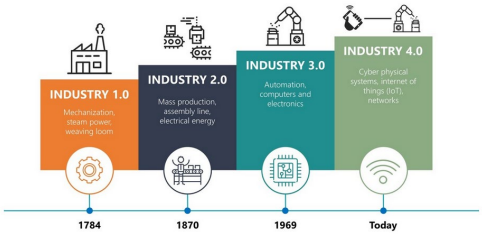


Simulation of the testing process [4]

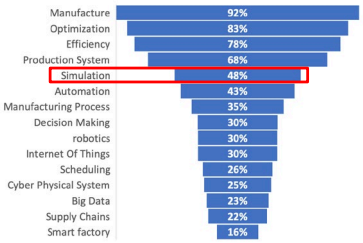


Simulation of the classification process [4]

THE ROLE OF SIMULATION IN THE 4TH INDUSTRIAL REVOLUTION



Industrial revolutions [1]



Word combinations [2]

Key features of the 4th industrial revolution:

- As a result of digitalisation**, transparency and integration of processes** is increasing.
- Digitalisation of **process improvement methods.**
- **Application of cyber-physical systems** in logistics processes.
- **Platforms are dominating the economy** (e.g. Uber - the largest passenger transport (taxi) platform, MS Teams - the largest business communication platform).

BASICS OF LOGISTICS PROCESS DEVELOPMENT

Value: The buyer is willing to pay for this

Types of activities [3]:

- Wastes (e. g.: unnecessary motion).
- Value added work (e. g.: assembly of parts).
- Non value added, but necessary work (e. g.: quality-checks).

Types of losses [2-3]:

1. Losses due **to overproduction**

2. Loss in **stock**

3. Losses from **material handling** (transport)

4. Loss in **motion**

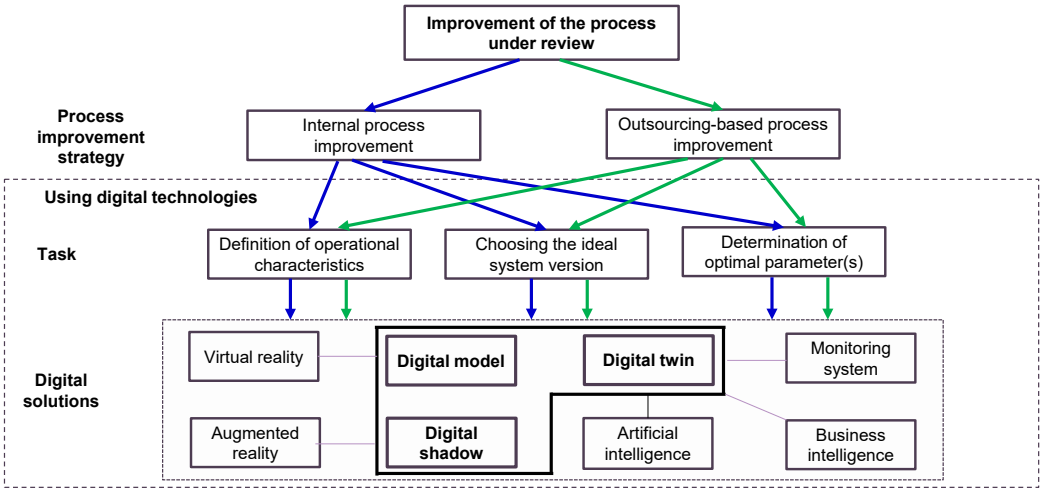
5. Losses due to **waiting**

6. Engaging in **unnecessary activities**

7. Loss from **defects**

8. Under-utilisation of **workers' knowledge and creativity**

THE ROLE OF SIMULATION TESTING IN PROCESS IMPROVEMENT



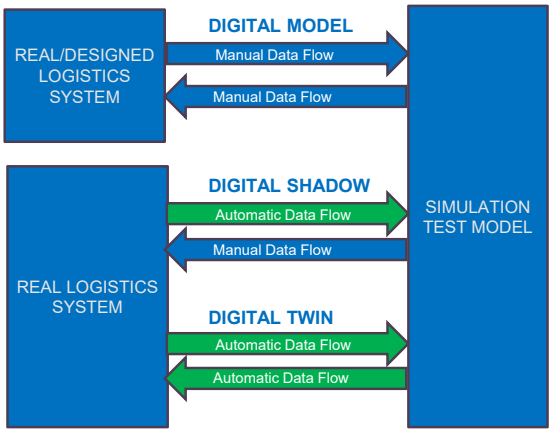
[Own source]

DIGITAL SOLUTIONS TO SUPPORT PROCESS IMPROVEMENT - DIGITAL MODEL, DIGITAL SHADOW, DIGITAL TWIN

Digital Model: Changes in the real/planned system do not have a direct impact on the simulation test model [11].
e.g. warehouse design support

Digital shadow: Changes in the real logistics system have a direct impact on the simulation test model [11].

Digital twin: Changes in the real system also mean changes in the simulation test model, and vice versa [11].
e.g. running an automated warehouse.



[Own source]

DIGITAL SOLUTIONS TO SUPPORT PROCESS IMPROVEMENT - MI, MONITORING SYSTEM

Artificial intelligence (AI) is the ability of a computer system to mimic human-like cognitive functions, such as learning and/or problem solving [6].

Key areas of application:
- Optimise logistics processes (e.g. scheduling, route planning, storage, etc.).
- Forecasting tasks (e.g. customer demand, breakdowns).
- Quality control, grading tasks.
- Automation of logistics tasks and processes.

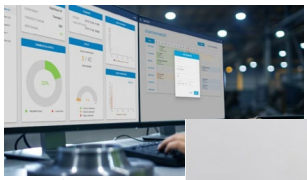
Monitoring system: a solution used to monitor real-time process characteristics, with the help of which the performance and problems (e.g. product failure, inadequate performance) of the process under test are indicated in real time.

AI-based route planning [5]

Transport monitoring system [6]

DIGITAL SOLUTIONS TO SUPPORT PROCESS IMPROVEMENT - BI, VR, AR

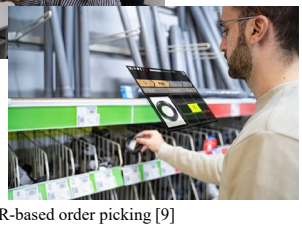
Business Intelligence (BI) tools: software and technologies designed to collect, organise, analyse and visualise data for decision support.
E.g. BI-based OEE reporting system


OEE reporting system [7]

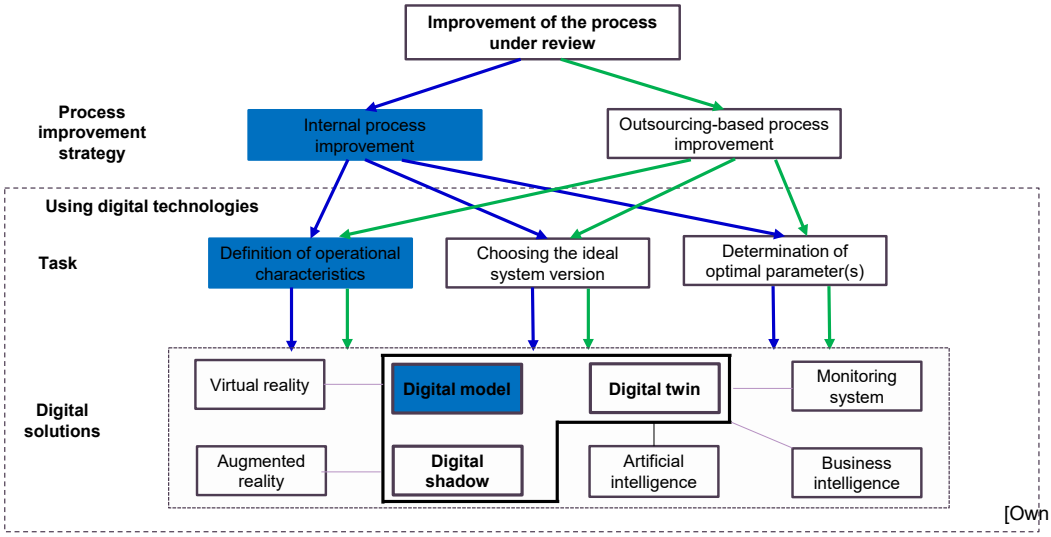
Virtual Reality (VR): technology that allows multiple sensory experiences in an artificial environment.
E.g. control and training of planned logistics processes.

VR in education [8]

Augmented reality (AR): technology that augments reality with digital content. e.g. AR-based order picking


AR-based order picking [9]

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES



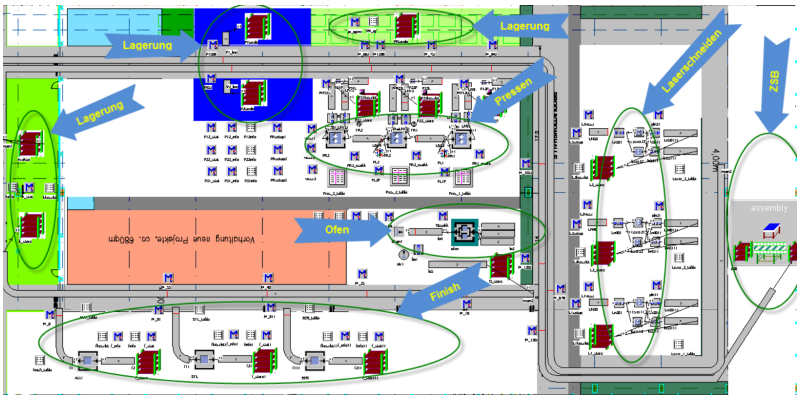
[Own source]

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES

Objectives of the study (small-series production):

- to determine the required size of the storage areas,
- to test the feasibility of the production plan.

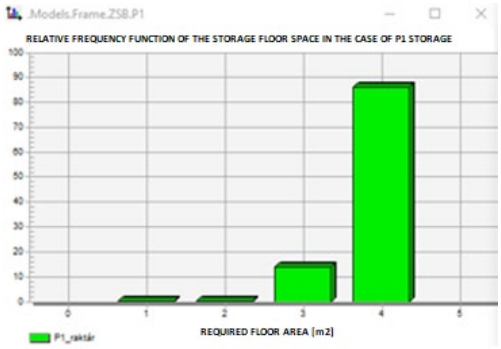
Tested system:



Simulation study of small-series body production [4]

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES

Result:



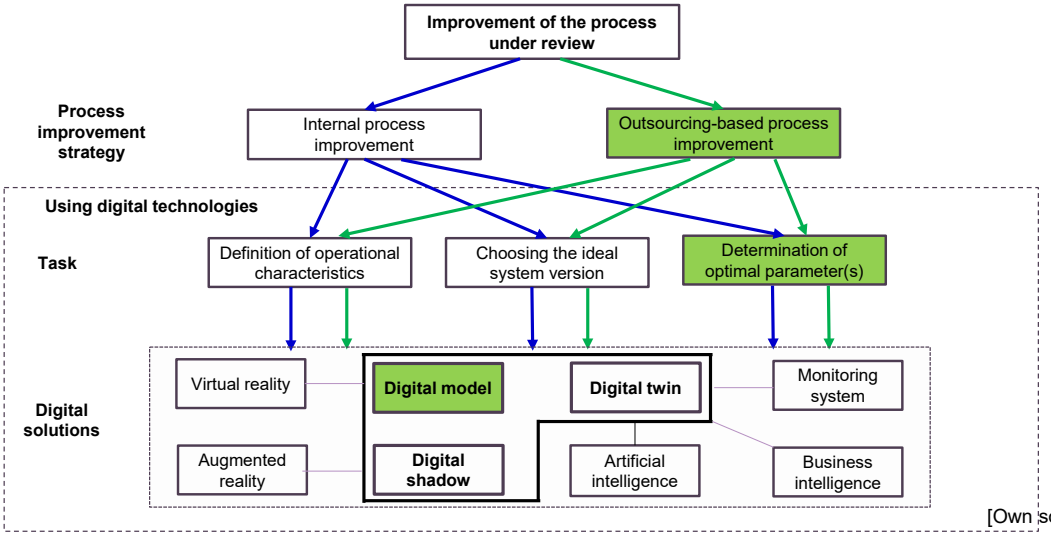
Floor space requirement as a function of relative frequency [4]

Changes in floor space requirement [4]

Storage designation	Storage space requirements [m2]
P1	4
P2	2
P3	3
P5	2
P6	20
ALU	68
.....	...

Based on the quantity of products produced, it was established that the production plan could be met.

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES

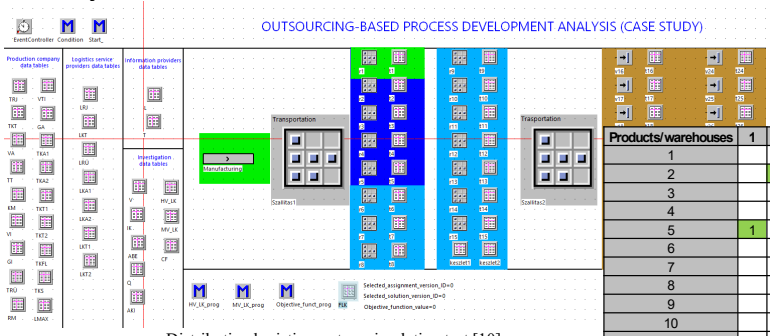


[Own source]

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES

Test objective: to optimise the placement of finished products.

Tested system:

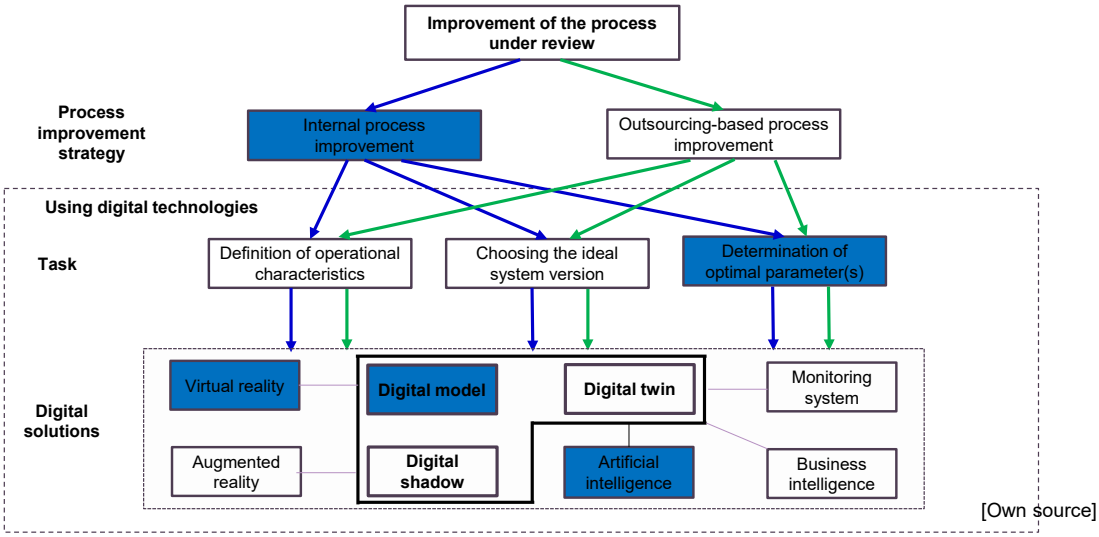


Distribution logistics system simulation test [10]

Products/warehouses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				1											
2		1													
3			1												
4								1							
5	1							1							
6											1				
7										1					
8			1												
9													1		
10												1			
11															1
12	1				1										
13														1	
14												1			
15					1										

Test result matrix [10]

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES

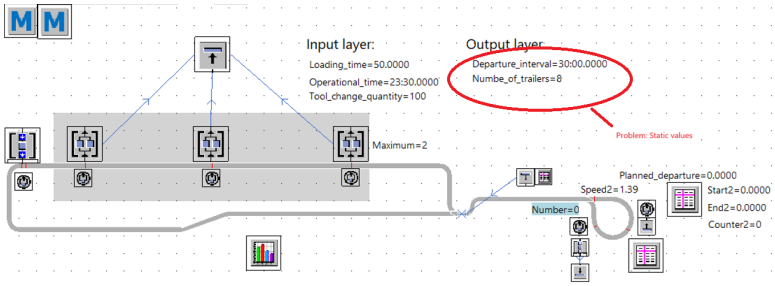


[Own source]

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES

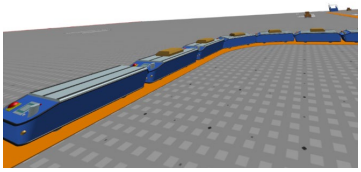
Simulation study objective: to improve the efficiency of the Milkrun system (transformation from forklift truck material supply)

Simulation model:



Simulation model [Own source]

Meta Quest 3 [Own source]



Virtual reality [Own source]

DIGITAL PROCESS IMPROVEMENT - CASE STUDIES

Running data:

Input Values	Departure Time	Loading Time	Operational Time	Tool Change quantity	Number of Trailers
Lower Level	20:00.0000	30.0000	20:00.0000	100	4
Upper Level	30:00.0000	1:00.0000	25:00.0000	130	8
Increment	10.0000	10.0000	30.0000	10	1

Number of runs: 53,680 (run time: 23:50)

Determining the data required:

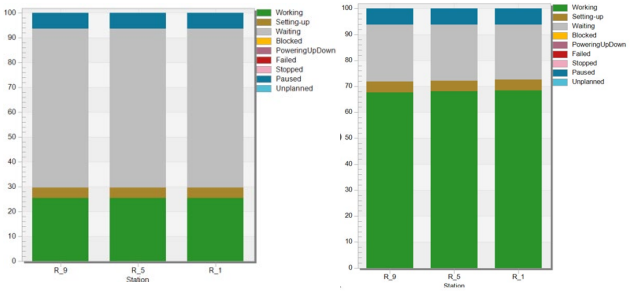
Loading Time	Operational Time	Tool Change Quantity	Number of Trailers	Departure Time
Calculation 1	50.0000	23:30.0000	100	25:35.1664
Calculation 2	1:00.0000	20:30.0000	120	19:55.0134
Calculation 3	...	...	...	...

The benefits of using AI:

- mileage reduction,
- maximise the volume of products produced (from 30 to 78),
- reallocating free resources to other areas.

Neural network training:

Selecting the maximum production volume from a set of matching loading, operation and tool change quantity data sets for neural network training (determining the best outputs for 176 input values).



Technological equipment utilisation data [12]

SUMMARY

- **The complexity of logistical processes is increasing** as a result of the drive to meet individual needs.
- Increasing the **transparency and manageability of processes** is essential. This requires the **development and application of digitalisation, cyber-physical systems and product tracking systems**.

This creates **new opportunities to increase efficiency in the logistics systems**.

Joint educational development and research activities between the corporate and academic sectors are essential to maintain and increase competitiveness!

REFERENCES

[1] https://blog.eplm.hu/ipar-4-feljavitani-kell-az-ipart/

[2] Kosztolányi, J., Schwahofer, G.: In your pocket the Lean series, KaizenPro Oktató és Tanácsadó Kft.

[3] James P. Womack -Daniel T. Jones: lean approach

[4] Tamás, P.: The role of simulation test methods in industrial practice, Automation and digitalization of physical logistics: challenges and opportunities workshop, Robert bosch Power Tool Kft., 2023.06.02.

[5] https://jarmuipar.hu/2023/01/logisztika/

[6] https://www.locate2u.com/ecommerce/top-6-real-time-tracking-software-solutions-in-delivery/

[7] https://www.okosipar.hu/termelesfelugyeleti-rendszer-altal-maximalizalhato-a-gyartas/

[8] Veres, P., Cservenák, Á., Skapinyecz, R., Illés, B., Bányai, T., Akylbek, U., & Tamás, P. *The Role of Augmented and Virtual Reality Technologies in Developing Logistics Processes,* Journal of Engineering Research and Reports, 2020, 13(2), 55-62.

[9] https://www.teamviewer.com/en/special/acquisitions/picavi/

[10] Tamás P. New Dimensions in the Study of Outsourcing Logistics Services: the Role of Digitalization in Enhancing Efficiency. *Logistics*. 2025; 9(2):44. https://doi.org/10.3390/logistics9020044

[11] Matyi, H., Tamás, P.: Operational concept of a packagingmanagement system based on digital twin technology, OGÉT 2022. conference

[12] Tamás, P.: Digital breakthrough in logistics: how can SMEs stay competitive? P. P.: How can logistics companies stay ahead of the competition? University of Miskolc, 2025.04.29.

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!

This research was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences.

Logistik mal anders – Kilovolt statt Kilogramm.

Wolfgang Troppauer, Christian Landschützer

DEFINITION

Definition von Oxford Languages:

- Gesamtheit aller Aktivitäten eines Unternehmens, die die Beschaffung, die Lagerung und den Transport von Materialien und Zwischenprodukten, die Auslieferung von Fertigprodukten, also den gesamten Fluss von Material, Energie und Produkt betreffen

WAHRNEHMUNG

LOGISTIK-ANDERS

- Verbrauch AT 2024: 64,5 TWh
- 1 Terra = 1 Milliarde kW
- AT: 7000km Hochspannungsnetz

KG VERSUS KV

- Logistik-Vergleich:

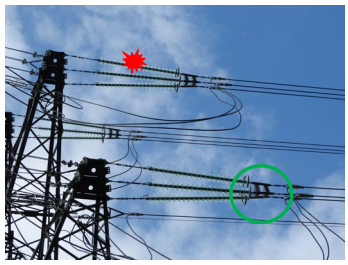
Transportmittel	Lkw, Bahn	Freileitung
Disponent	Spediteur	Netzleitstelle
Stau	A23 Wien am Montag	Netzengpass
Umlagerung	Gabelstapler	Lastfluss-Steuerung
Lager	Hochregallager	Pumpspeicher - Batterie
Verlust	Transportschaden	Wärmeverlust

MAKRO-MIKRO

- Eine wesentliche Komponente ist die Isolatoren-Kette
- Mechanische Verbindung: Seil zu Mast
- Potentialabbau
- Verbindungselemente von Mosdorfer

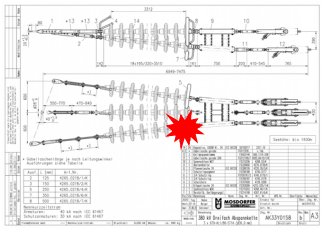
LU-LOGISTIK

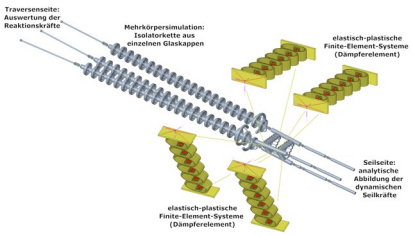
- Große logistische Herausforderung:
  - LASTUMLAGERUNG
- Hochdynamischer Prozess
  - Wegfall eines Stranges „Umlagerung“ auf restliche Stränge
  - Zeitrahmen: ca. 150ms
- Prozess-Sicherheit:
  - Integrierte Dämpfungselemente
  - Simulation des Prozesses



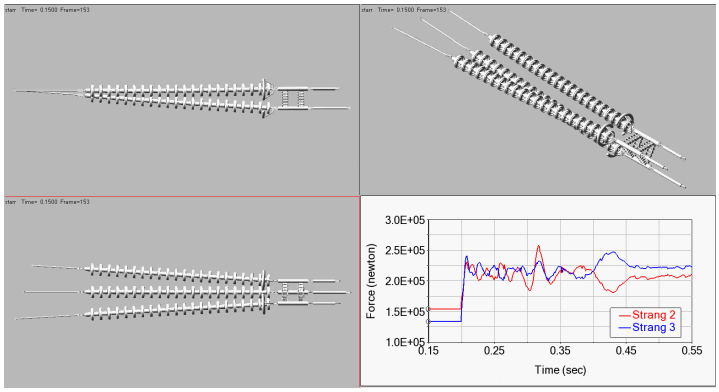
LU-SIMULATION

- Szenario:
  - 400kN Horizontallast
  - Ausfall eines Stranges



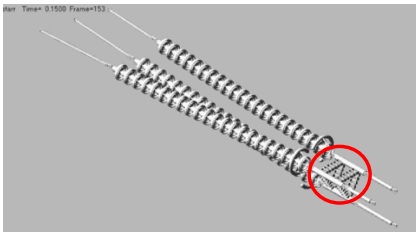


LU-SIMULATION



LU-SIMULATION

- Makrosimulation Dämpfungselemente



ENTWICKLUNG

- kV und kg verschmelzen

24 SIMPLIFY OR DIE: DIE NEUE REGEL DER INDUSTRIE. Warum die Einfachheit der Lösung der Schlüssel der Zukunft ist

Peter Stelzer

SIMPLIFY OR DIE - DIE NEUE REGEL DER INDUSTRIE

Peter Stelzer, GF ivii GmbH
Mai 2025

ivii.eu

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 ivii GmbH

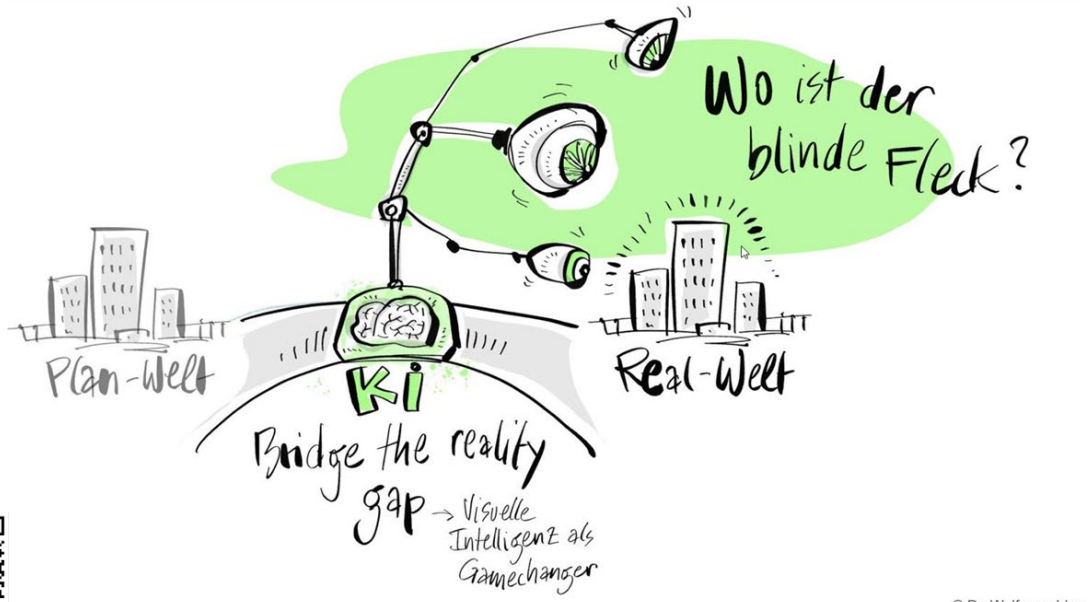
Kontaktdaten ->

© 2025 ivii gmbh

BRIDGE THE REALITY GAP

Warum Einfachheit der Schlüssel für die Zukunft ist

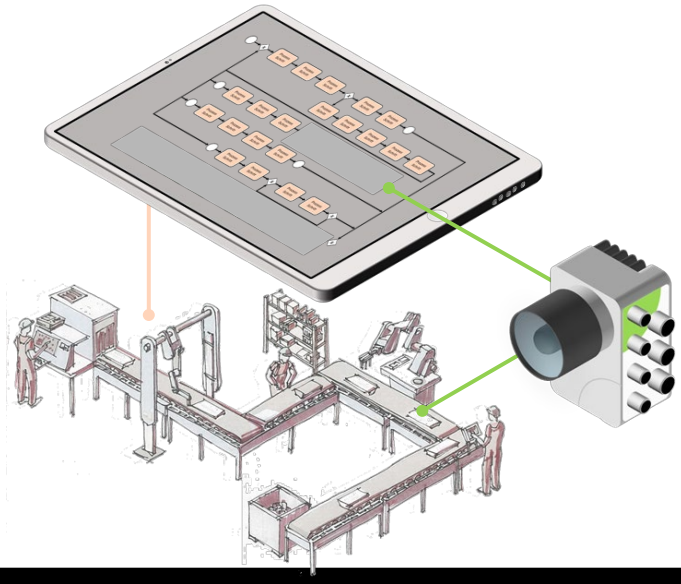
© 2025 ivii gmbh



© Dr. Wolfgang Irber

 © 2025 ivii gmbh

SMARTE PROZESS- und QUALITÄTSSICHERUNG



BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Referenzen

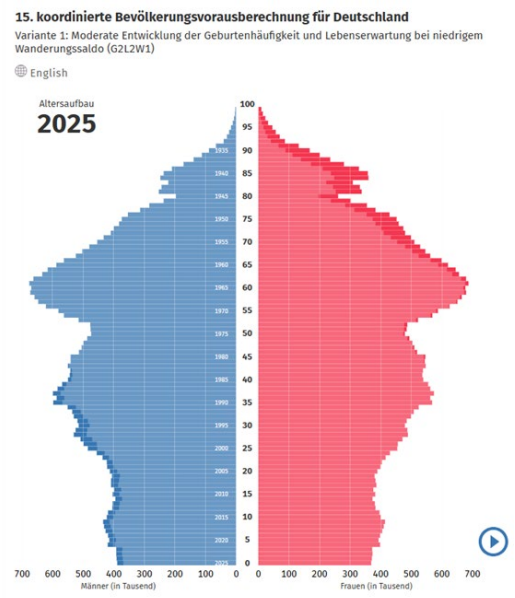
© 2025 ivii gmbh

DEMOGRAPHISCHER WANDEL

© 2025 ivii gmbh

DEMOGRAPHISCHE ENTWICKLUNG

https://service.destatis.de/bevoelkerungspyramide/#!y=2070
https://www.destatis.de/DE/Im-Fokus/Fachkraefte/Demografie/_inhalt.html



 © 2025 ivii gmbh

FACHKRÄFTEMANGEL ABFEDERN

Einfache Lösungen mit KI

Kognitive Assistenz

Von Type zu Touch zu Talk

 © 2025 ivii gmbh

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Customer Voice

© 2025 ivii gmbh

RIKA® BLECHKOMPONENTEN

Reinhard Trippacher

CEO RIKA BLECHKOMPONENTEN

„ Uns ist es wichtig, kontinuierlich höchste Qualität liefern zu können – unabhängig von Fluktuation und der aktuellen Arbeitsmarktlage.

Deshalb setzen wir auf ivii.“

© 2025 ivii gmbh

RIKA® BLECHKOMPONENTEN

Reinhard Schwarzenbrunner

ARBEITSVORBEREITUNG / RIKA BLECHKOMPONENTEN

„Seit Einführung des Systems haben wir mehr als 90 Prozent weniger Beschwerden.“

15 ivii.eu © 2025 ivii gmbh

panki RACING SYSTEMS

Produktionsstart mit ivii smartdesk

2017

17.000 Getriebe

2022

Getriebe **150.000**

Antriebs- u. Abtriebswellen 300.000

Zahnräder 1,500.000

Teile/Prüfungen 3,000.000

Geringe Durchlaufzeit. Bedienbar so leicht wie eine APP.

16 ivii.eu © 2025 ivii gmbh

ivii

,,Der ivii smartdesk-Ansatz ist großartig für die **Motivation** unserer Mitarbeiter.

Die Interaktion mit dem System hat geradezu **spielerischen Charakter**. Unsere Mitarbeiter sehen das Feedback-System nicht als Überwachung, sondern als willkommene Unterstützung, um **sicherzustellen**, dass ihre Arbeit von höchster Qualität ist und diese so schnell wie möglich umsetzt und so unsere Ziele erreicht.“

Christoph Prattes
COO Pankl Racing AG

pankl RACING SYSTEMS

© 2025 ivii gmbh

ivii

,,Das ivii System ist für uns eine zukunftsweisende Lösung in Richtung **Industrie 5.0**.

Es geht um ein wertschöpfendes **Zusammenspiel von Mensch und Maschine.** Die Mitarbeiter erledigen Montagearbeiten, die viel handwerk-liches Geschick erfordern und werden durch ein Bildverarbeitungssystem perfekt **unterstützt**.“

pankl RACING SYSTEMS

Stefan Zinner
Pankl Racing AG

© 2025 ivii gmbh

KOSTENDRUCK

© 2025 ivii gmbh

JUST-IN-TIME ANPASSUNGEN

UPDATES ZENTRAL AUSSPIELEN

UNABHÄNGIG VOM SYSTEMHAUS

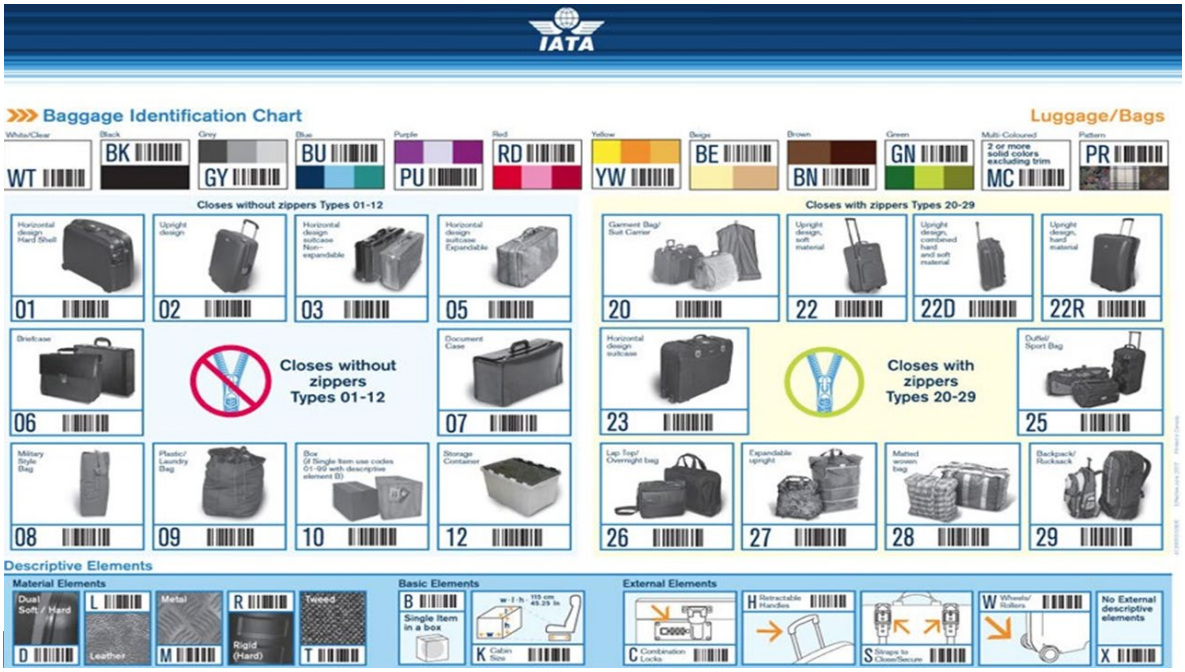
FUTURE PROOF

© 2025 ivii gmbh

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Flughafen-Logistik

© 2025 ivii gmbh



WHERE WE COME FROM

© 2025 ivii gmbh

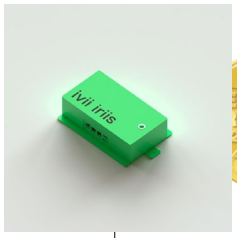
ivii

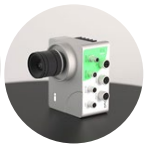
KURZVORSTELLUNG

- Dobl bei Graz, Österreich
- Gründung 2016
- Prämierte Innovation
- Mitglied der KNAPP Gruppe 1, 803 Mrd. € Umsatz
- 30+ Mitarbeiter

 © 2025 ivii gmbh

ivii





1950
Gründung
KNAPP AG
Österreich/Graz

2011
Start mit
Bildverarbeitung
bei KNAPP AG

2016
Gründung
ivii GmbH
Österreich/Dobl

2019
Nominierung
zum österr.
Staatspreis

2020
ivii iriis 1.0
„edge box“

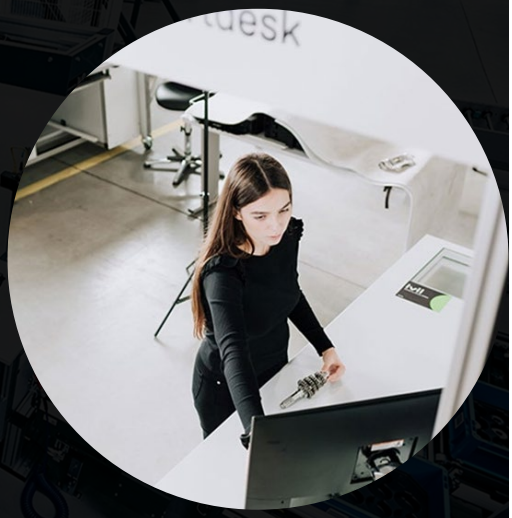
2021
ivii smartdesk
„Bestes Produkt“
LogiMAT

2024
ivii iriis 2.0

 © 2025 ivii gmbh

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

27 ivii.eu ivii.eu © 2025 ivii gmbh

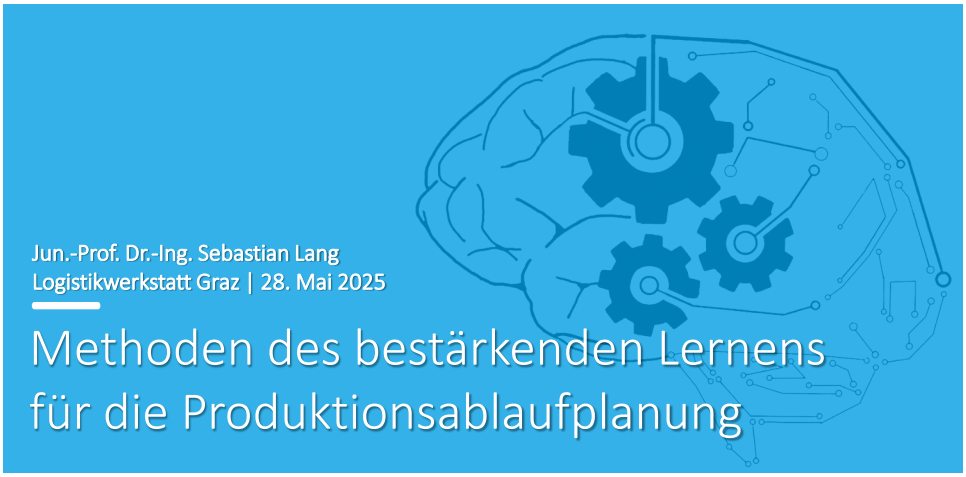
ivii

STAY TUNED!

ivii.eu

Methoden des bestärkenden Lernens für die Produktionsablaufplanung

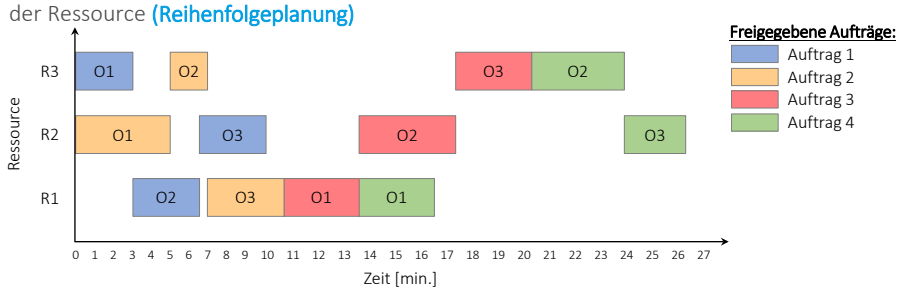
Sebastian Lang



Grundlagen der Ablaufplanung

Jedes Ablaufplanungsproblem kann auf zwei Hauptprobleme heruntergebrochen werden

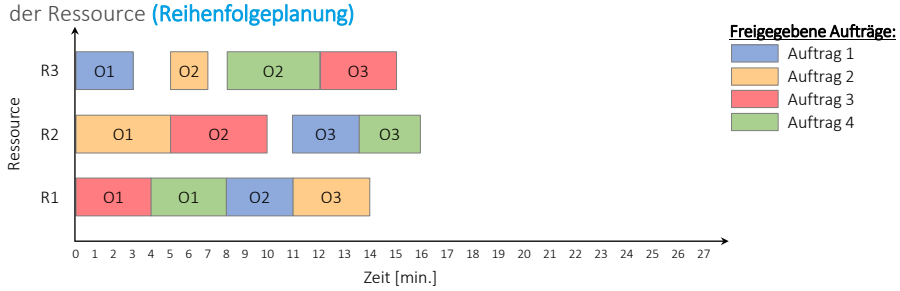
1. Zuweisung von Aufträgen (bzw. Operationen von Aufträgen) zu Ressourcen **(Ressourcenallokation)**
2. Festlegung der Bearbeitungssequenz von Aufträgen (bzw. Operationen von Aufträgen) auf der Ressource **(Reihenfolgeplanung)**



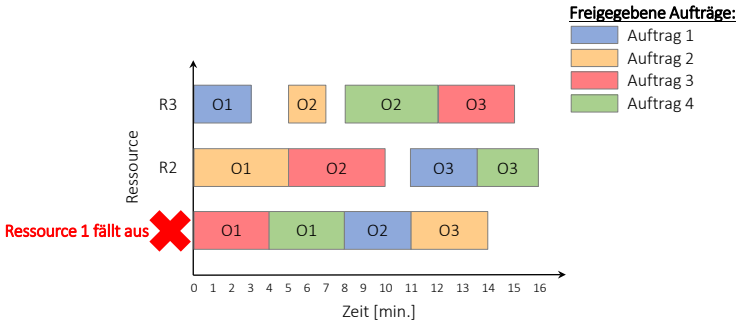
Grundlagen der Ablaufplanung

Jedes Ablaufplanungsproblem kann auf zwei Hauptprobleme heruntergebrochen werden

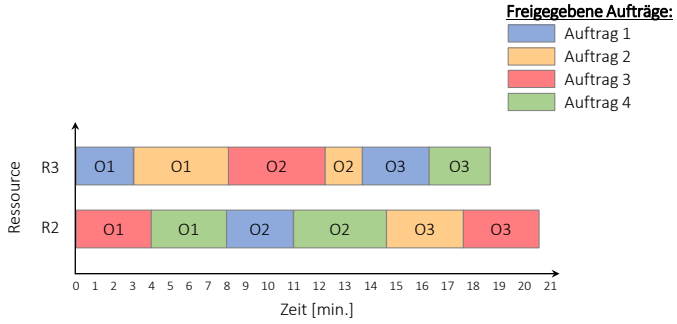
1. Zuweisung von Aufträgen (bzw. Operationen von Aufträgen) zu Ressourcen **(Ressourcenallokation)**
2. Festlegung der Bearbeitungssequenz von Aufträgen (bzw. Operationen von Aufträgen) auf der Ressource **(Reihenfolgeplanung)**



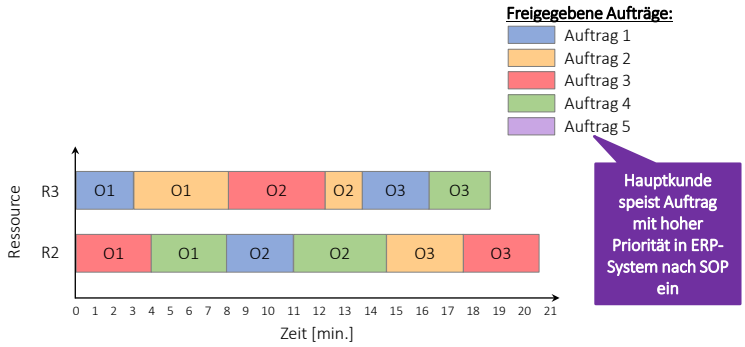
Herausforderungen für die Ablaufplanung



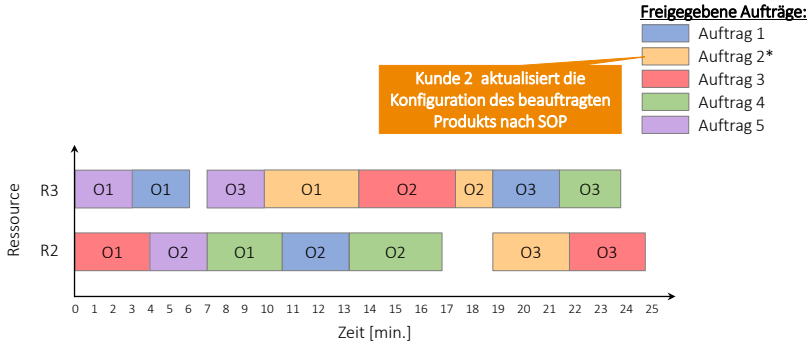
Herausforderungen für die Ablaufplanung



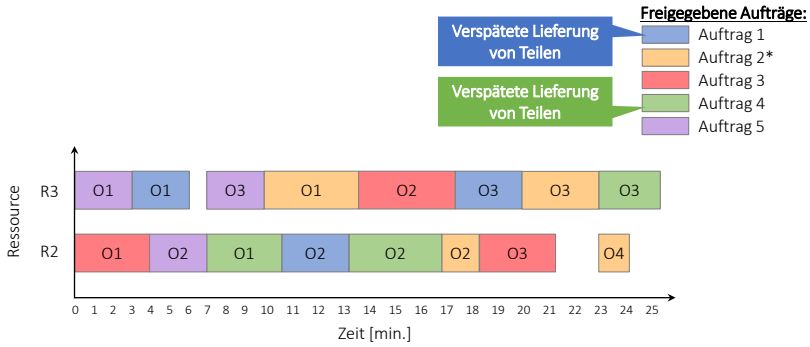
Herausforderungen für die Ablaufplanung



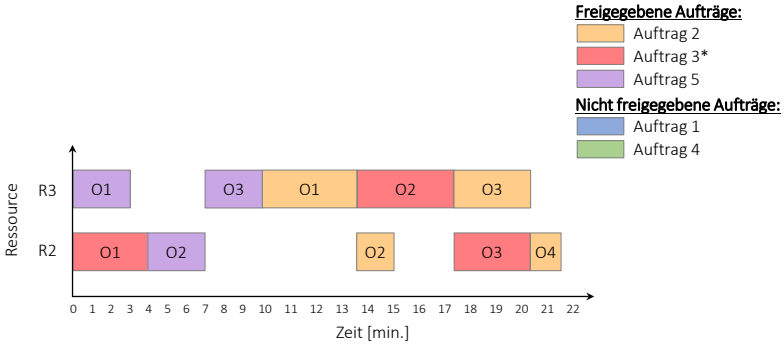
Herausforderungen für die Ablaufplanung



Herausforderungen für die Ablaufplanung

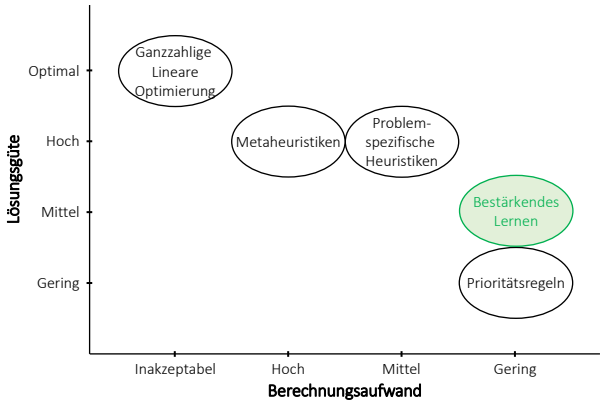


Herausforderungen für die Ablaufplanung



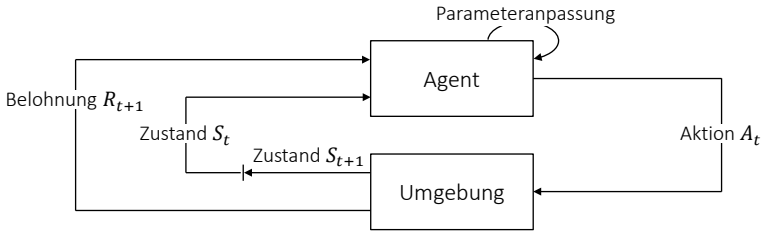
Klassische Lösungsverfahren für die Produktionsablaufplanung…

…und Einordnung des bestärkenden Lernens innerhalb dieser



Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning)

Grundidee



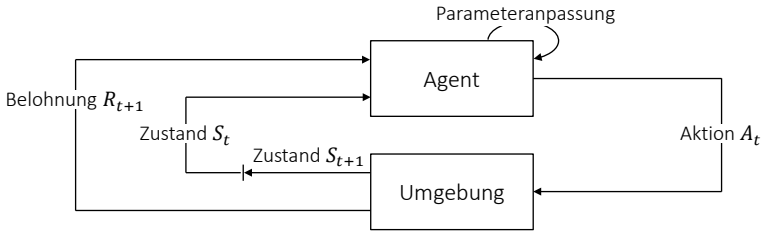
Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning)

Basiert auf der lernpsychologischen Idee der »Konditionierung«

Quelle: giphy.com

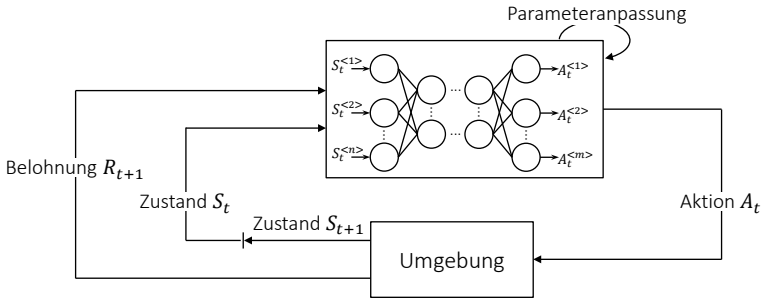
Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning)

Grundidee



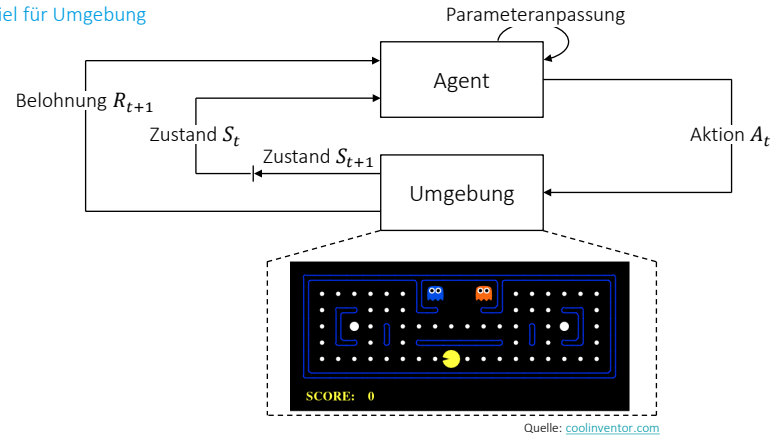
Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning)

Heutzutage handelt es sich bei dem Agenten gewöhnlich um eine Art künstliches neuronales Netz



Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning)

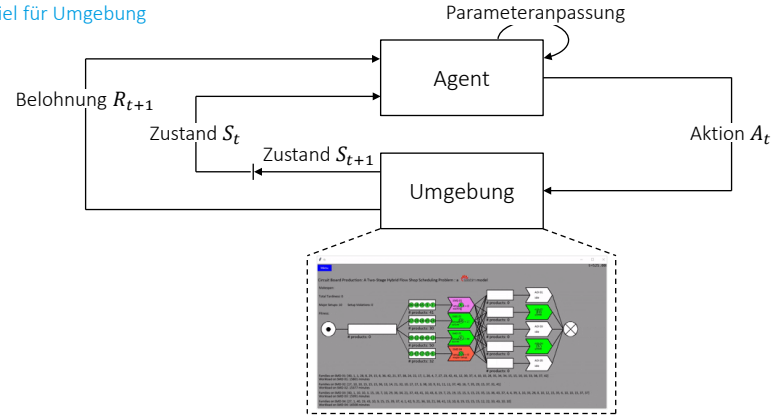
Beispiel für Umgebung



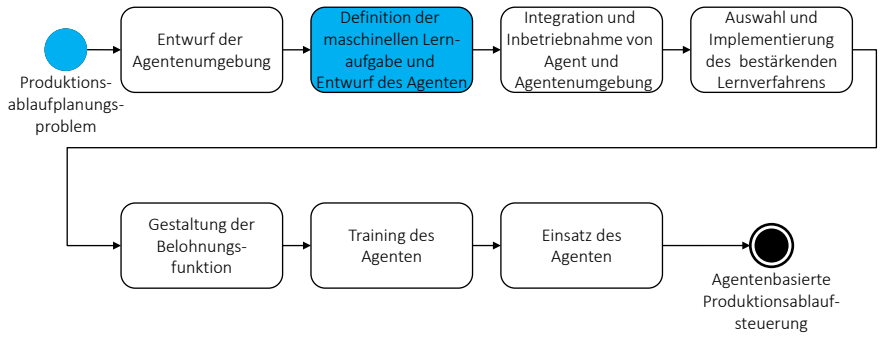
Quelle: coolinventor.com

Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning)

Beispiel für Umgebung

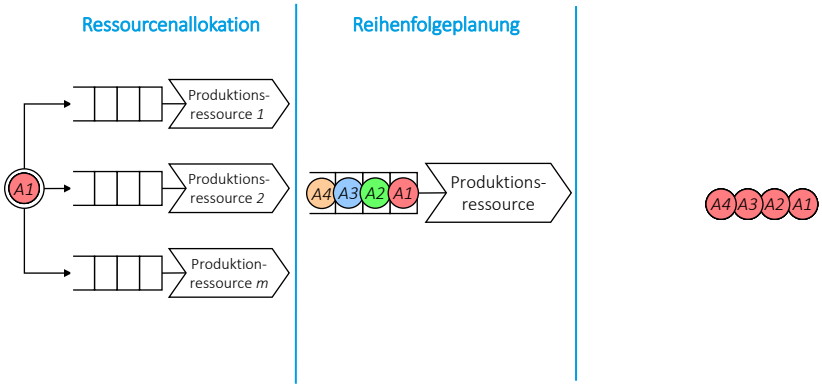


Vorgehensmodell zur Projektierung und Entwicklung von auf bestärkenden Lernen basierenden Produktionsablaufsteuerungen



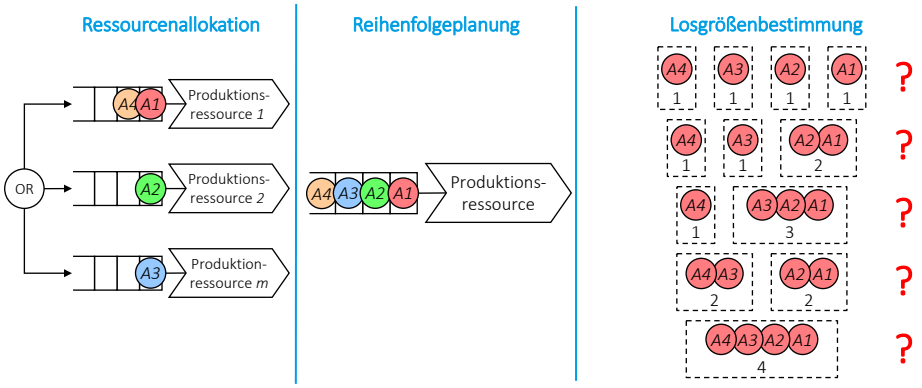
Definition der ML-Aufgabe und Entwurf des Agenten

Drei Teilprobleme der Produktionsablaufplanung

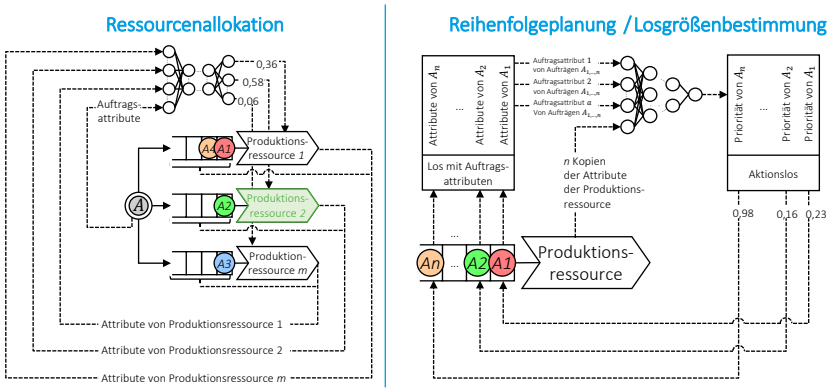


Definition der ML-Aufgabe und Entwurf des Agenten

Drei Teilprobleme der Produktionsablaufplanung



Definition der ML-Aufgabe und Entwurf des Agenten



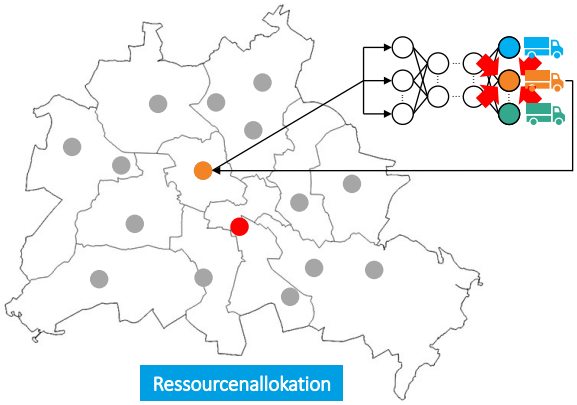
Der Ansatz ist auf viele weitere Probleme übertragbar

Zum Beispiel auf die Transportlogistik (Tourenplanungsproblem) – 1) Zuordnung: Kundenaufträge → LKW

Gegeben:
- 1 Distributionszentrum
- 15 Kunden
- 3 Lieferfahrzeuge

Gesucht:
1) Optimale Zuordnung von Kundenaufträgen zu Lieferfahrzeugen
2) Optimale Route für jedes Lieferfahrzeug

Reihenfolgeplanung



Ressourcenallokation

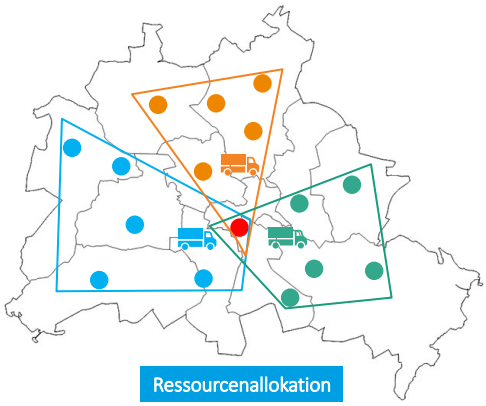
Der Ansatz ist auf viele weitere Probleme übertragbar

Zum Beispiel auf die Transportlogistik (Tourenplanungsproblem) – 1) Zuordnung: Kundenaufträge → LKW

Gegeben:
- 1 Distributionszentrum
- 15 Kunden
- 3 Lieferfahrzeuge

Gesucht:
1) Optimale Zuordnung von Kundenaufträgen zu Lieferfahrzeugen
2) Optimale Route für jedes Lieferfahrzeug

Reihenfolgeplanung



Ressourcenallokation

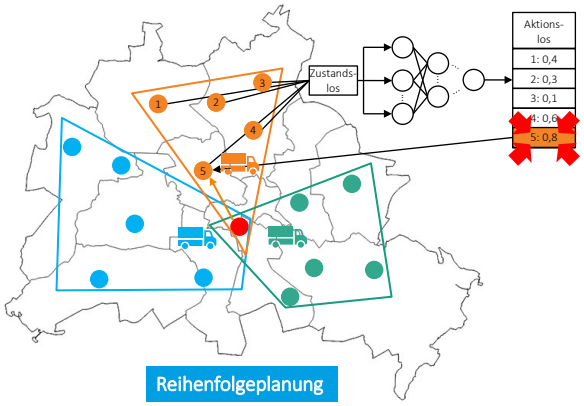
Der Ansatz ist auf viele weitere Probleme übertragbar

Zum Beispiel auf die Transportlogistik (Tourenplanungsproblem) – 2) Routenplanung für jeden LKW

Gegeben:
- 1 Distributionszentrum
- 15 Kunden
- 3 Lieferfahrzeuge

Gesucht:
1) Optimale Zuordnung von Kundenaufträgen zu Lieferfahrzeugen
2) Optimale Route für jedes Lieferfahrzeug

Ressourcenallokation



Reihenfolgeplanung

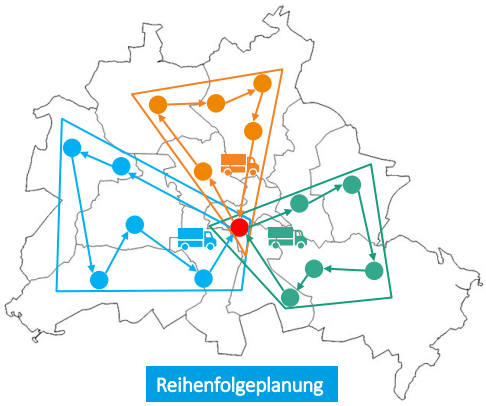
Der Ansatz ist auf viele weitere Probleme übertragbar

Zum Beispiel auf die Transportlogistik (Tourenplanungsproblem) – 2) Routenplanung für jeden LKW

Gegeben:
- 1 Distributionszentrum
- 15 Kunden
- 3 Lieferfahrzeuge

Gesucht:
1) Optimale Zuordnung von Kundenaufträgen zu Lieferfahrzeugen
2) Optimale Route für jedes Lieferfahrzeug

Ressourcenallokation



Reihenfolgeplanung

Ablaufplanungsprobleme sind allgegenwärtig in der Logistik

Einige weitere Beispiele für Ablaufplanungsprobleme in der Logistik

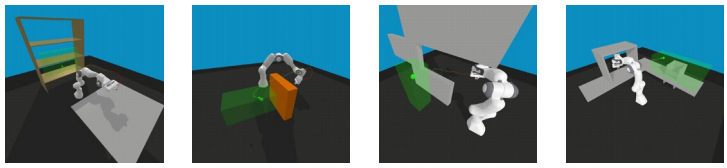
- Innerbetriebliche Versorgungslogistik
  → Vehicle Routing Problem
- Lagerplatzverwaltung
  → Warehouse Location Assignment Problem
- Rampenmanagement
  → Dock Scheduling / Cross-Docking Scheduling
- Kommissionierungsplanung
  → Order-Picking Scheduling

Quelle: Adobe Stock

Quelle: iStock by Getty Images

Einsatz von Deep Reinforcement Learning zur autonomen Steuerung von Robotern

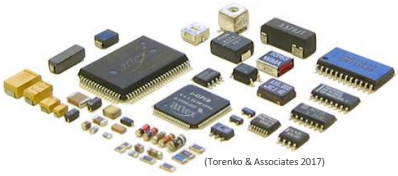
- Einsatz von Deep Reinforcement Learning für **kollisionsfreie Trajektoriengenerierung** und Inhandmanipulation



- Motivation: Viele industrielle Prozesse werden nicht automatisiert, …
  - …Automatisierungsprojekte kostspielig sind (insbesondere für regionale KMU) und / oder
  - …weil bestimmte industrielle Prozesse schwer zu automatisieren sind, aufgrund von dynamischen Einsatzbedingungen, Prozessvarianzen oder weil die zu automatisierende Aufgabe ein hohes Maß an Fingerfertigkeit erfordert

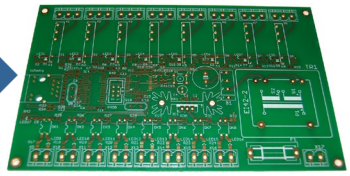
Anwendung und Evaluation der Methode…

…anhand eines realen Produktionssystems aus der Leiterplattenbestückungsindustrie



(Torenko & Associates 2017)

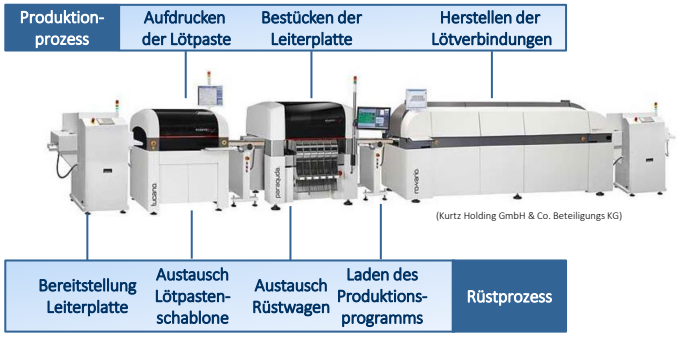
Bestückung



(Radig Hard & Software / Elektrotechnik 2024)

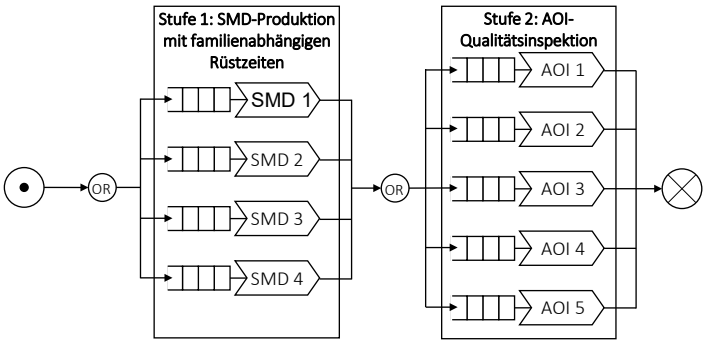
Anwendung und Evaluation der Methode…

…anhand eines realen Produktionssystems aus der Leiterplattenbestückungsindustrie



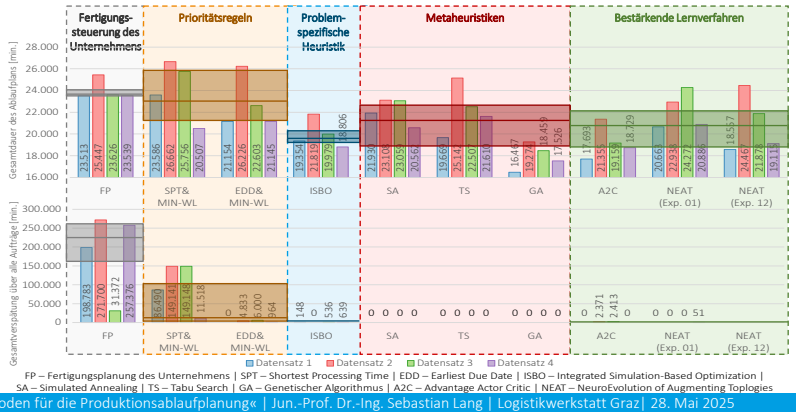
Anwendung und Evaluation der Methode…

…anhand eines realen Produktionssystems aus der Leiterplattenbestückungsindustrie



Veranschaulichung der Lösungsqualität…

…anhand eines Produktionssystems aus der Leiterplattenbestückungsindustrie



FP – Fertigungsplanung des Unternehmens | SPT – Shortest Processing Time | EDD – Earliest Due Date | ISBO – Integrated Simulation-Based Optimization | SA – Simulated Annealing | TS – Tabu Search | GA – Genetischer Algorithmus | A2C – Advantage Actor Critic | NEAT – NeuroEvolution of Augmenting Toplogies

Veranschaulichung der Lösungsqualität…

…anhand eines Produktionssystems aus der Leiterplattenbestückungsindustrie

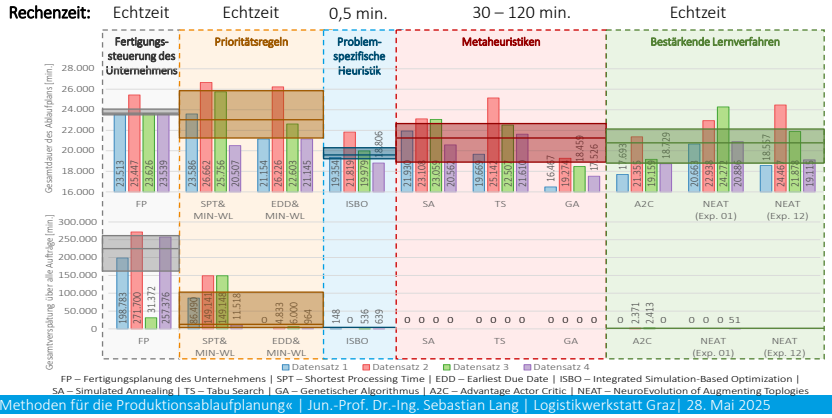
- Durch bestärkendes Lernen konnte **Gesamtdauer des Ablaufplans**
  - im Mittel **über 11%** im Vergleich zur Fertigungssteuerung des Unternehmens und
  - im Mittel **über 13%** zu etablierten Prioritätsregeln

  verbessert werden
- Des Weiteren konnte durch bestärkendes Lernen die **Gesamtverspätung über alle Aufträge**
  - **um mehr als 99%** gegenüber der Fertigungssteuerung des Unternehmens und
  - **um mehr als 26%** gegenüber Prioritätsregeln

  verbessert werden

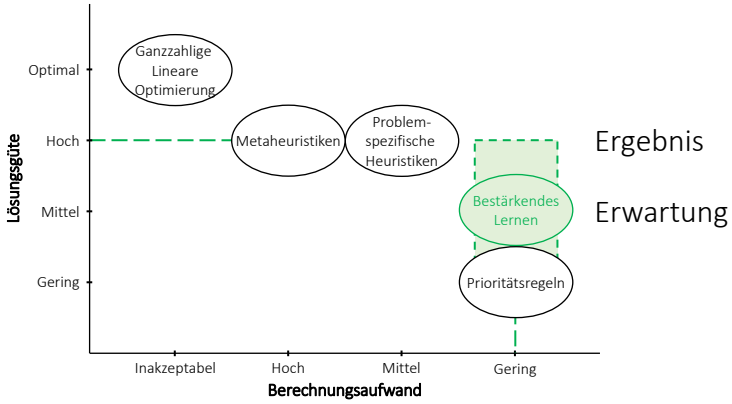
Veranschaulichung der Lösungsqualität…

…anhand eines Produktionssystems aus der Leiterplattenbestückungsindustrie



Bestärkendes Lernen kann die Gesamtdauer des Ablaufplans im Mittel um über 11 % bzw. über 13 % im Vergleich zur Fertigungssteuerung des Unternehmens und zu etablierten Prioritätsregeln verbessern. In Hinblick auf die gemessene Gesamtverspätung über alle Aufträge kann eine Verbesserung um mehr als 99 % gegenüber der Fertigungssteuerung des Unternehmens und mehr als 26 % gegenüber Prioritätsregeln attestiert werden. Überraschenderweise sind bestärkende Lernverfahren hinsichtlich Ihrer Lösungsgüte in etwa mit Metaheuristiken und problemspezifischen Heuristiken vergleichbar. Bestärkende Lernverfahren leisten im Mittel nur weniger als 2 % schlechtere Ergebnisse hinsichtlich der Gesamtdauer des Ablaufplans bzw. weniger als 0,15 % schlechtere Ergebnisse bezogen auf die Gesamtverspätung über alle Aufträge

Fazit: Das bestärkende Lernen im Vergleich zu konventionellen Lösungsverfahren



Ausführliche Darstellungen in meinem Buch »Methoden des bestärkenden Lernens für die Produktionsablaufplanung«

- Open Access verfügbar unter: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-41751-2
  - …oder einfach den folgenden QR-Code scannen ☺

Juniorprofessur für KI-Anwendung in Produktion und Logistik

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten

Leitmotiv: Künstliche Intelligenz in die industrielle Anwendung bringen

Forschungsaktivitäten

- Deep Reinforcement Learning
  - zur Planung, Steuerung und Optimierung in Produktion und Logistik
  - für Robotikanwendungen
- Datengetriebene Modellbildung und Simulation sowie Integration mit KI-Verfahren zur Entscheidungsunterstützung
- Integration und Anwendung von generativer KI, insb. Large Language Models (LLM), für industrielle Problemstellungen

Lehraktivitäten

- Bachelorstudiengang »AI Engineering – Künstliche Intelligenz in den Ingenieurwissenschaften«
  - Entwicklung und Projektierung von industriellen KI-Systemen
  - Reinforcement Learning und Metaheuristiken für ingenieurwissenschaftliche Optimierungsprobleme
  - Ganz viele praxisnahe Projekte
- Für Masterstudiengänge des Wirtschafts-ingenieurwesen: KI-Grundlagen mit Anwendungs-schwerpunkt auf Produktion und Logistik

Juniorprofessur für KI-Anwendung in Produktion und Logistik
Institut für Engineering von Produkten und Systemen
Fakultät für Maschinenbau
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
https://www.kipul.ovgu.de

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Lang
G10-R255
+49 (0) 391 67 57299
sebastian.lang@ovgu.de

Entwicklung intelligenter, technischer Logistiksysteme durch den Einsatz Cyberphysischer Zwillinge

Moritz Roidl

Institut für Technische Logistik

Entwicklung intelligenter, technischer Logistiksysteme durch den Einsatz Cyberphysischer Zwillinge

Vortrag Logistikwerkstatt · Graz, den 28. Mai 2025

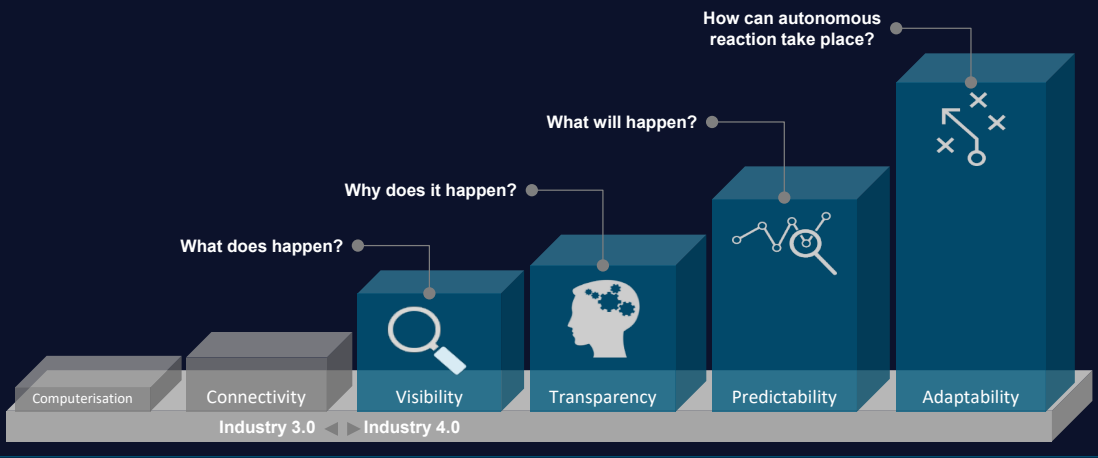
Dr.-Ing. Moritz Roidl, Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen, TU Dortmund

Fraunhofer IML

flw Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen

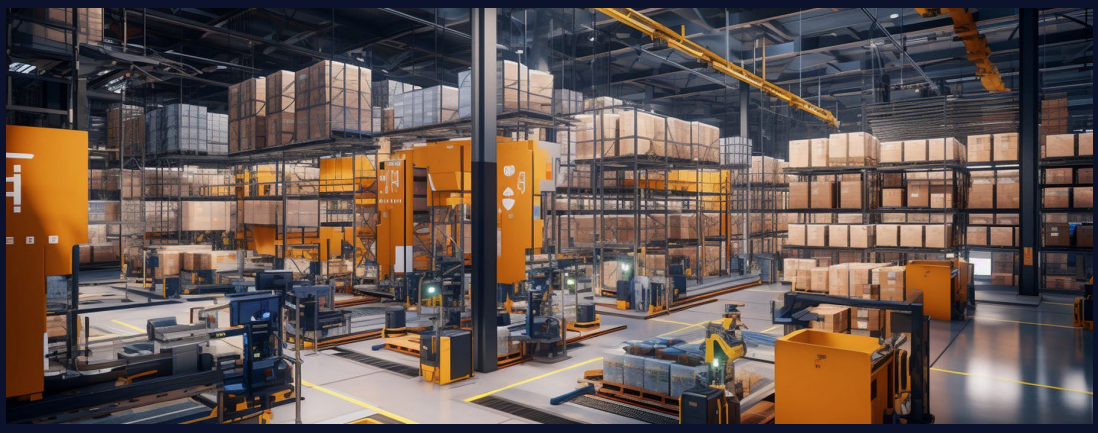
LAMARR INSTITUTE FOR MACHINE LEARNING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Die sechs Schritte zur Industrie 4.0 / Logistik 4.0



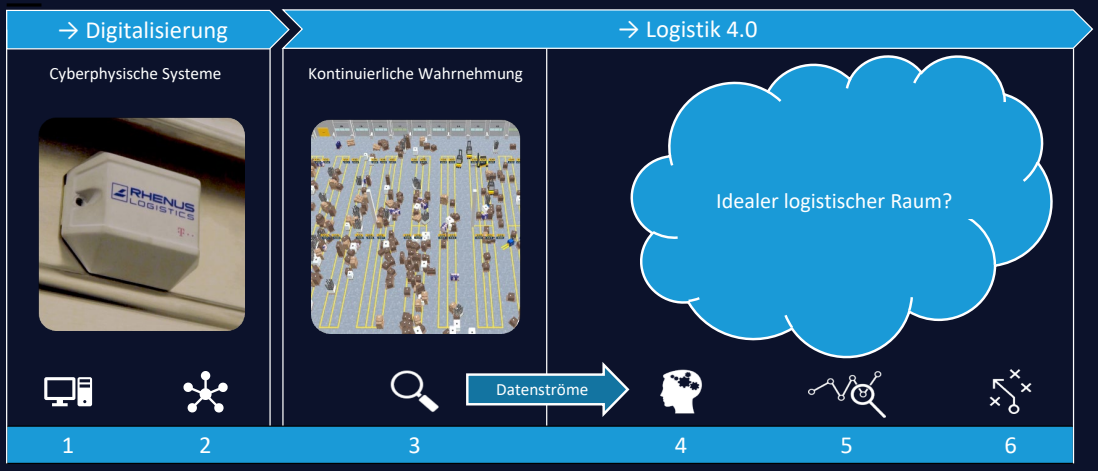
Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; ten Hompel, M.; Wahlster, W (Eds.): Industrie 4.0 Maturity Index. acatech STUDY 2017.

Existierende logistische Systeme können schwer adaptierbar sein



Pic.: Adobe Stock

Intelligente Technische Logistiksysteme

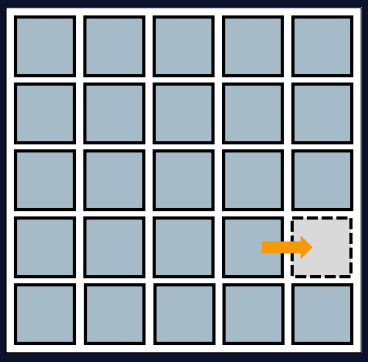


Die Logistik ist ein alles Physische und seine Bewegung durchdringendes Prinzip. Sie ist zugleich Ausdruck des Strebens der Menschen, Dinge in Bewegung zu versetzen.

ten Hompel, M., Rehof, J.: Menschen und Dinge bewegen! Ein Memorandum zur Logistik als Disziplin und Wissenschaft, Spitzencluster EffizienzCluster LogistikRuhr 2013.

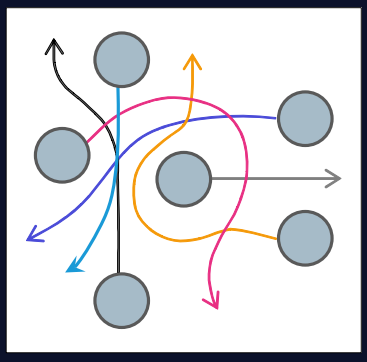
Prinzip der Kollisionsfreiheit

Idealisiertes Lagerwesen



Kontinuum

Idealisiertes Förderwesen



Motivation für die Untersuchung des (idealen) logistischen Raums

Gitterbasierte Bewegung (AutoStore)

Frei-orientierte Bewegung (LoadRunner)

Videos: AutoStore AS / FLW & Fraunhofer IML

Motivation für die Untersuchung des (idealen) logistischen Raums

Gitterbasierte Bewegung (Gridsorter)

Frei-orientierte Bewegung (LoadRunner)

Videos: Gebhardt Intralogistics Group / FLW & Fraunhofer IML

Eine Definition der Logistik

Logistik beschreibt die **vernünftige** Bewegung der **Dinge** an **Orten**, durch die **Zeit** und in **Relationen**.

Viele Objekte

Deadlockfreiheit

Hohe Geschwindigkeiten

Kinodynamische Zwangsbedingungen

Hohe Beschleunigungen

Wiederholte Bewegungen

Echtzeitfähigkeit

Eine Definition des Multi-Robot Motion Planning (MRMP)

MRMP beschreibt die **vernünftige** Bewegung vieler **Roboter** an **Orten**, durch die **Zeit** (und in **Relationen**.)

Viele Roboter

Deadlockfreiheit

Hohe Geschwindigkeiten

Kinodynamische Zwangsbedingungen

Hohe Beschleunigungen

(Wiederholte Bewegungen)

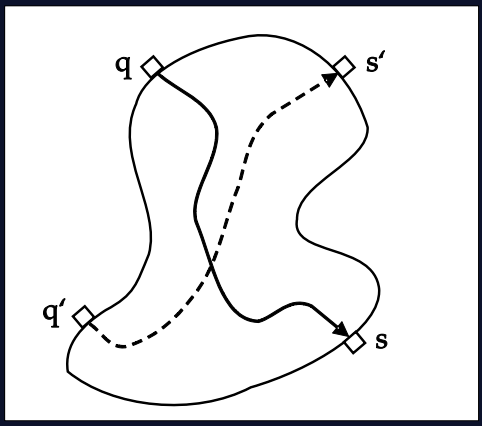
Echtzeitfähigkeit

Hypothese: Der ideale logistische Raum ist leer.

Pic.: Fotolia_66757154

Idealer logistischer Raum als Problem des MRMP

Modellierung nach LaValle „Motion Planning“ (2006)



Weltmodell $\mathcal{W} \in \mathbb{R}^2$

Unbegrenztes Zeitintervall T = [0, ∞)

Aktuelles Objekt $\mathcal{A}^i$

Konfigurationsraum $\mathcal{C}$

Zustandsraum $\mathcal{Z}$

Zustandstrajektorien $z^1, \ldots, z^{i-1}$ für $\mathcal{A}^1, \ldots, \mathcal{A}^{i-1}$

Zeitabhängige Hindernisregion $\mathcal{Z}_{obs}(t)$

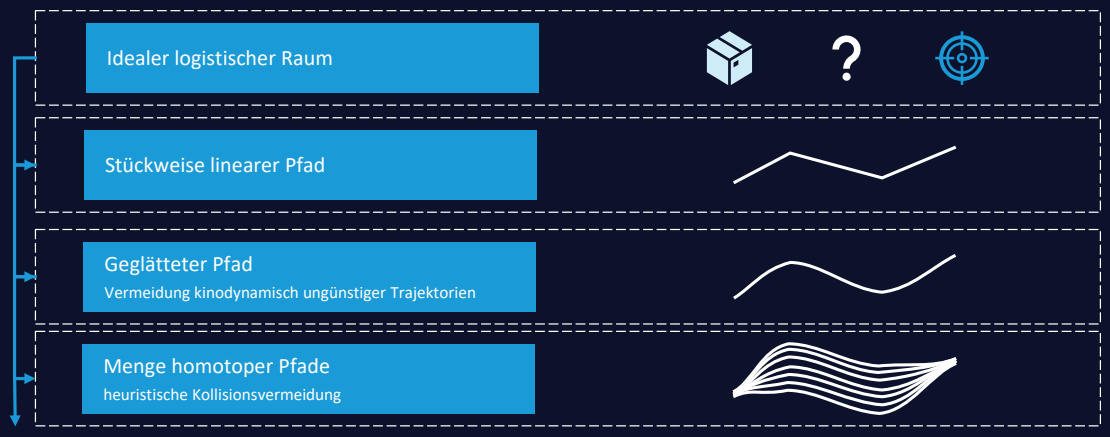
Zeitabhängiger freier Zustandsraum $\mathcal{Z}_{free}(t)$

Aktionsraum $U(z)$ für alle $z \in \mathcal{Z}$ mit $U(z) \subseteq \mathbb{R}^m \cup \{u_T\}$

Zustandsübergangsgleichung $\dot{z} = f(z, u)$, die für alle $z \in \mathcal{Z}$ und $u \in U(z)$ definiert ist

Initialzustand z_q und Zielzustand z_s

Bestandteile eines einfachen Verfahrens (1 / 3)



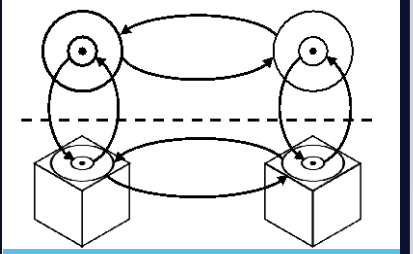
Bestandteile eines einfachen Verfahrens (2 / 3)

Bestandteile eines einfachen Verfahrens (3 / 3)

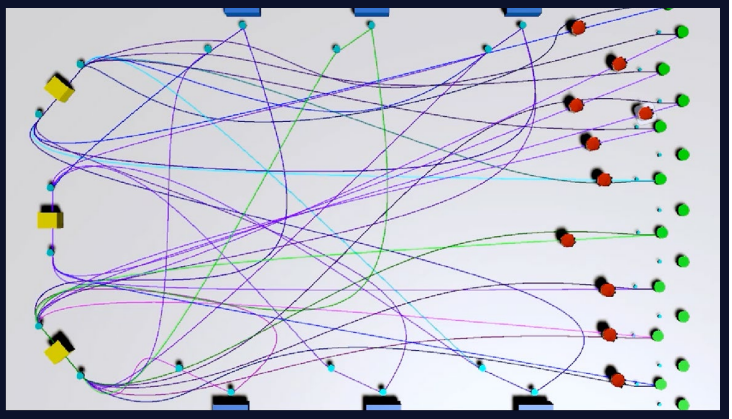
Regeleinrichtung (Controller)
Ausführung der Bewegung in der physischen Welt

Physischer Raum

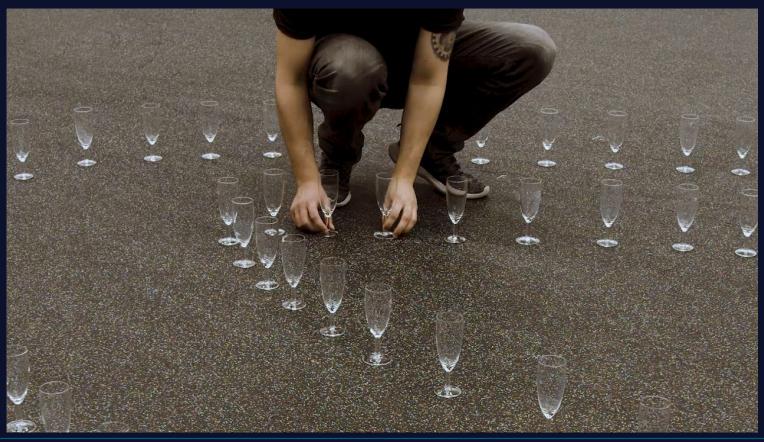
Cyberphysischer Zwilling



Physische Welt



Der Loadrunner als Cyberphysischer Zwilling

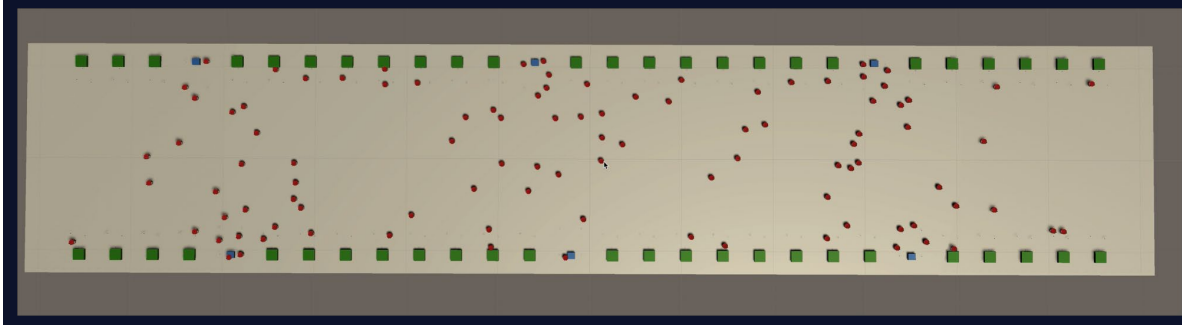


v_{max} = 10 m/s

a_{max} = 4 m/s²

Durchmesser = 0,6 m

Kinodynamic Multi-Robot Motion Planning = Simulation



100% Logistik & 100% Robotik

Digitalgipfel 2019

RoX

RIC Robotics Institute Germany

evoBOT · Simulationsbasierte KI · z.B. Training in unbekannten Umgebungen

Roboter werden zu AVATAREN Simulationsbasierter KI

SIMULATION

Real Life

(Video: manuelle / teilautonome Steuerung)

Quelle: Twitter - T. Yasaki - 13.4.2023 - https://twitter.com/i/status/1642860725331980288

Simulationsbasierte KI

Die manuell gestaltete, algorithmische Darstellung unserer Welt stößt an ihre Grenzen.

Die systemische Komplexität übersteigt in vielen Bereichen die Möglichkeiten geschlossener Analyse und Beschreibung und die Informationsmengen und Betrachtungsräume wachsen exponentiell.

Im Einzelnen wie im Ganzen ist alles wiederum multikriteriell, nachhaltig und resilient zu optimieren.

Die simulationsbasierte KI könnte ein Mittel sein, um neue Lösungen für die Beherrschung komplexer logistischer Systeme zu finden.

© Fraunhofer IML

Institut für Technische Logistik

Entwicklung intelligenter, technischer Logistiksysteme durch den Einsatz Cyberphysischer Zwillinge

Vortrag Logistikwerkstatt · Graz, den 28. Mai 2025

Dr.-Ing. Moritz Roidl, Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen, TU Dortmund

Fraunhofer IML

Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen

LAMARR INSTITUTE FOR MACHINE LEARNING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Posterbeiträge der Logistikwerkstatt Graz 2025

CBE4I
Clean bioenergy for industry

Alexander Ortner-Pichler, Christian Landschützer, Max Cichocki

Institut für Technische Logistik

CBE4I Clean bioenergy for industry

Projektexzerpt

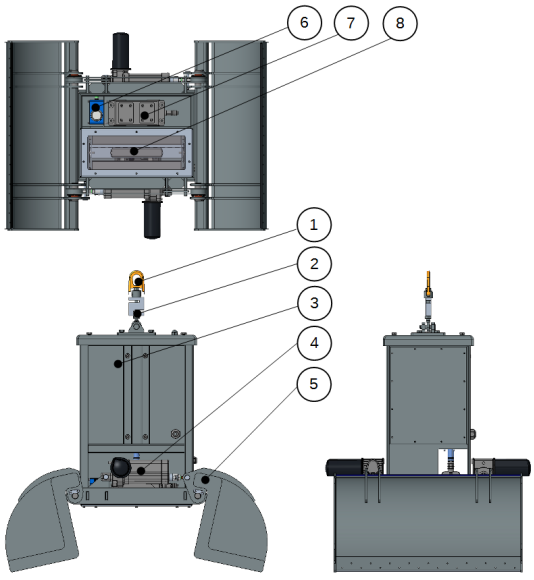
Entwicklung einer hocheffizienten Technologie zur industriellen Prozesswärmeversorgung auf Basis Biomasse-Festbett-Gegenstromvergasung. Das Institut für Technische Logistik ist für die Sicherstellung der bedarfsgerechten Versorgung des Systems mit Brennstoff gleichbleibender Qualität verantwortlich.

Aufgabenstellung:
- Entwicklung eines Biomasseördersystems, welches auf der Entnahme der Biomasse an der Oberseite des Bunkers basiert
- Entwicklung eines multisensorischen Biomassegreifers (unter Anderem Bestimmung von Feuchtegehalt, Aschegehalt)
- Automatisierung des Versorgungssystems
- Entwicklung eines Algorithmus zur Sicherstellung gleichbleibender Brennstoffqualität

Vorgehensweise, Methoden:
- Methodische Konstruktion nach VDI 2221
- Automatisierungsentwicklung anhand einer Kombination aus Software-in-the-Loop (SiL) und Hardware-in-the-Loop (HiL)

Ergebnisse:
- Systemdesign und -entwicklung abgeschlossen
- Multisensorischer Biomassegreifer entwickelt und gefertigt
- Automatisierungsentwicklung entwickelt
- Prototypenanlage befindet sich in der Umsetzungsphase

Greiferentwicklung



1... Interface zum Kransystem
2... Wägezelle (Bestimmung der gegriffenen Masse)
3... Hauptrahmen des Biomassegreifers
4... Hauptaktuatoren des Biomassegreifers
5... Greiferschaufel
6... Ultraschallsensor (Füllstandsmessung)
7... Sensor zur Feuchtemessung der Biomasse
7... Bildserkennungssystem zur Bestimmung des Aschegehalts

Abbildung 1: CAD-Modell des finalen Konzepts des Biomassegreifers

Automatisierung

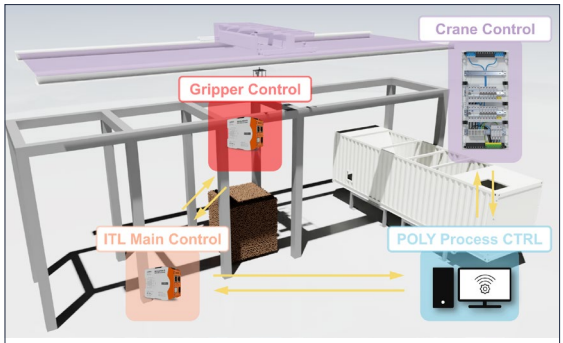


Abbildung 2: Gesamtkonzept der Automatisierungsarchitektur

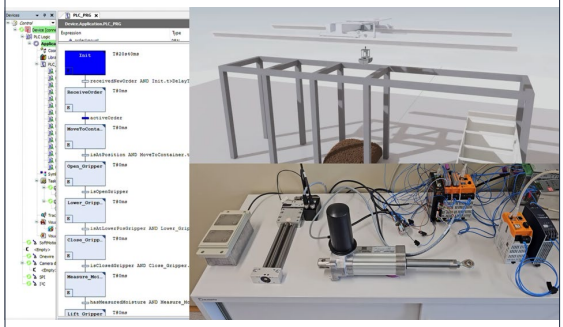


Abbildung 3: SiL & HiL Entwicklungs- und Simulationsumgebung

Prototypenbau

Abbildung 4: Prototyp des Biomassegreifers bei der Inbetriebnahme

Funded by the European Union under grant agreement no. 101122292

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz Graz University of Technology

Projektexzerpt

Entwicklung einer hocheffizienten Technologie zur industriellen Prozesswärmeversorgung auf Basis Biomasse-Festbett-Gegenstromvergasung. Das Institut für Technische Logistik ist für die Sicherstellung der bedarfsgerechten Versorgung des Systems mit Brennstoff gleichbleibender Qualität verantwortlich.

Aufgabenstellung:

- Entwicklung eines Biomasseördersystems, welches auf der Entnahme der Biomasse an der Oberseite des Bunkers basiert
- Entwicklung eines multisensorischen Biomassegreifers (unter Anderem Bestimmung von Feuchtegehalt, Aschegehalt)
- Automatisierung des Versorgungssystems
- Entwicklung eines Algorithmus zur Sicherstellung gleichbleibender Brennstoffqualität

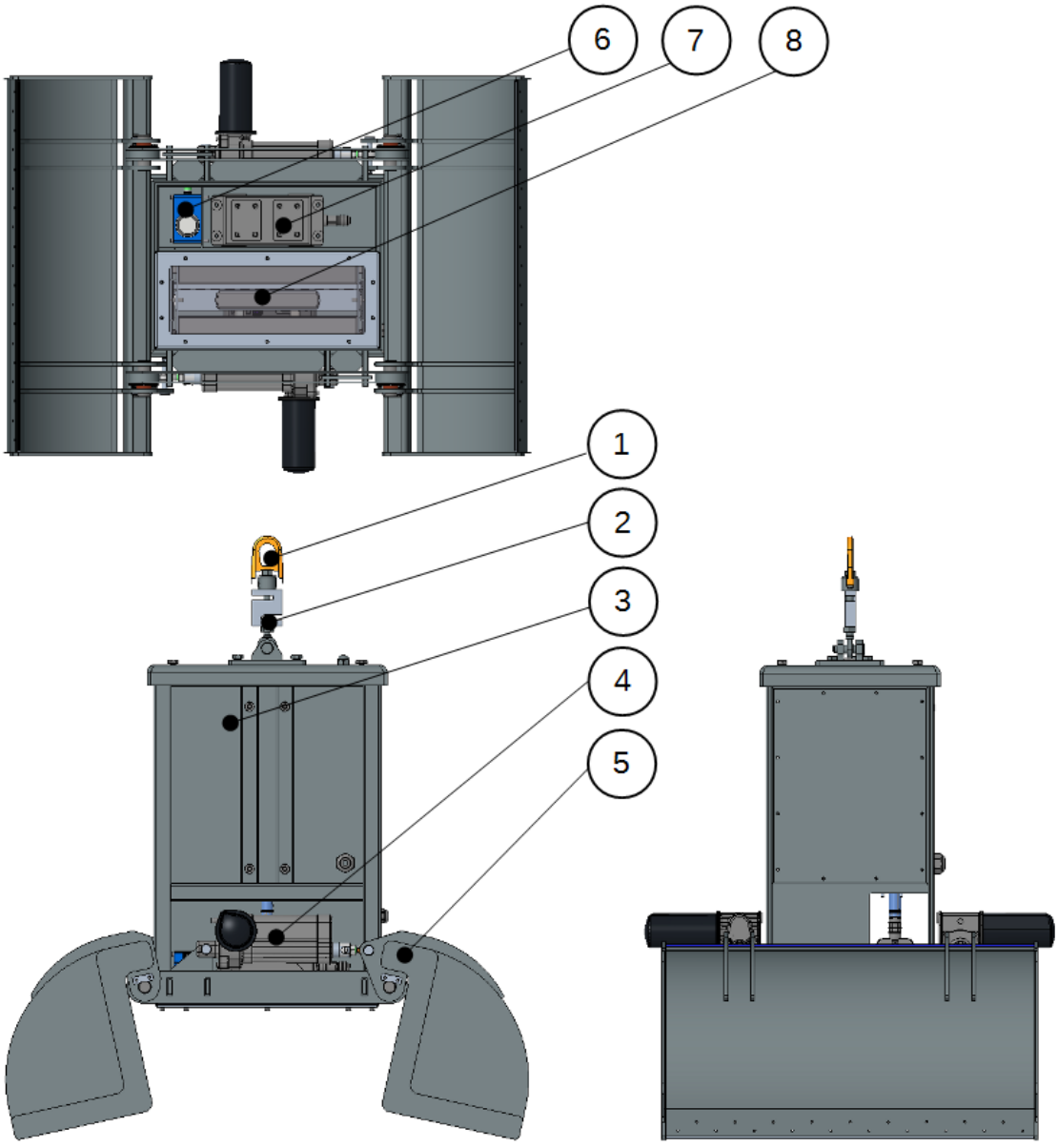
Vorgehensweise, Methoden:

- Methodische Konstruktion nach VDI 2221
- Automatisierungsentwicklung anhand einer Kombination aus Software-in-the-Loop (SiL) und Hardware-in-the-Loop (HiL)

Ergebnisse:

- Systemdesign und -entwicklung abgeschlossen
- Multisensorischer Biomassegreifer entwickelt und gefertigt
- Automatisierungsentwicklung entwickelt
- Prototypenanlage befindet sich in der Umsetzungsphase

Greiferentwicklung



1… Interface zum Kransystem
2… Wägezelle (Bestimmung der gegriffenen Masse)
3… Hauptrahmen des Biomassegreifers
4… Hauptaktuatoren des Biomassegreifers
5… Greiferschaufel
6… Ultraschallsensor (Füllstandsmessung)
7… Sensor zur Feuchtemessung der Biomasse
7… Bildserkennungssystem zur Bestimmung des Aschegehalts

Abbildung 1: CAD-Modell des finalen Konzepts des Biomassegreifers

Automatisierung

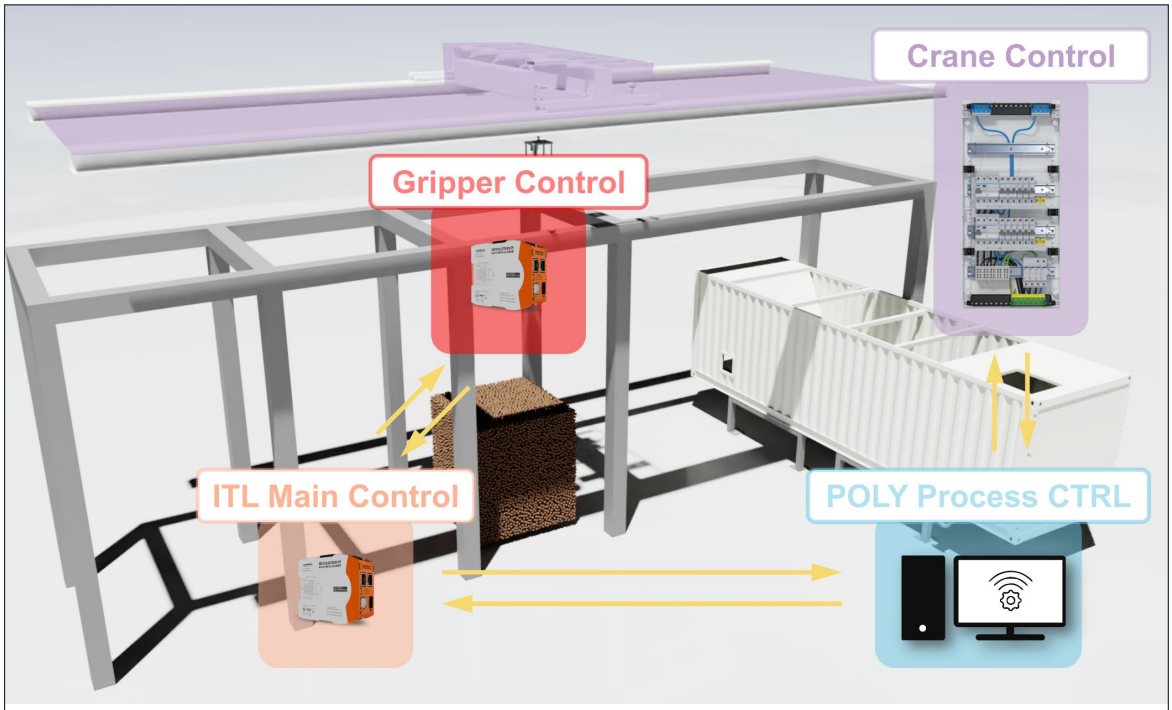


Abbildung 2: Gesamtkonzept der Automatisierungsarchitektur

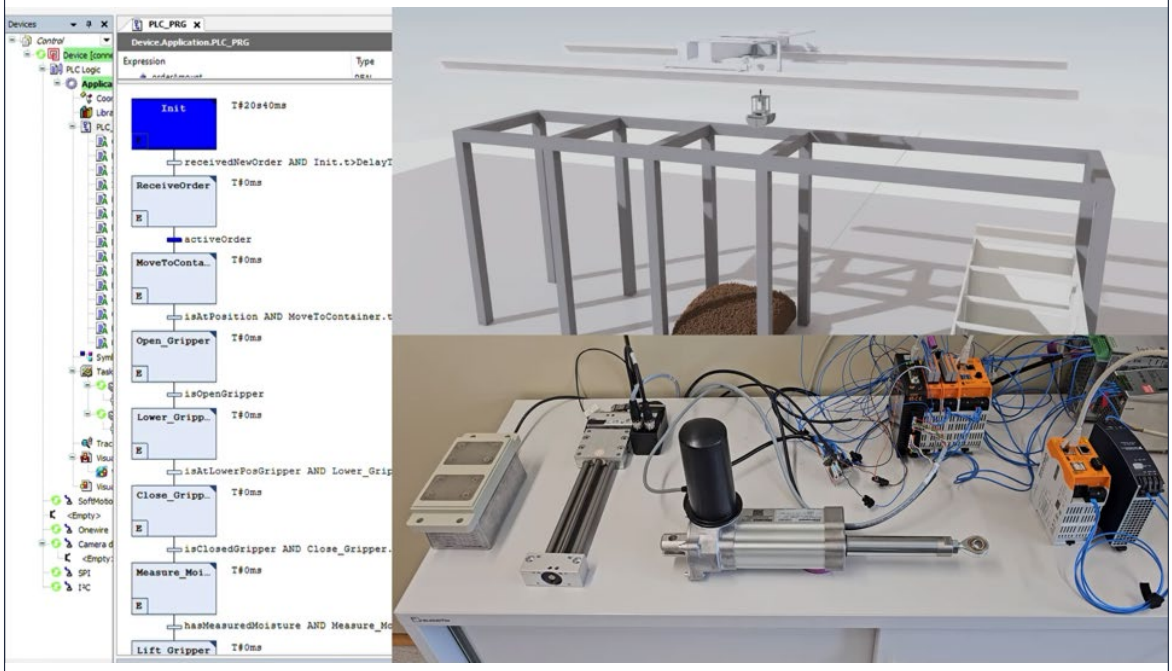


Abbildung 3: SiL & HiL Entwicklungs- und Simulationsumgebung

Prototypenbau

Abbildung 4: Prototyp des Biomassegreifers bei der Inbetriebnahme

FutureWoodTrans: Sustainable Autonomous Forestry Logistics

Alexander Ortner-Pichler, Christian Landschützer

Institut für Technische Logistik
FFG Forschung wirkt.
Die INNOVATIONsstiftung für BILDUNG

Projektexzerpt

Im Projekt FutureWoodTrans erforscht ein Konsortium, bestehend aus vier wissenschaftlichen Partnern der TU Graz (Institut für Technische Logistik, Institut für Fahrzeugtechnik, Institut für Maschinelles Sehen & Darstellen und Institut für Softwaretechnologie) sowie vier Industriepartnern (Siemens Österreich AG, Forstbetrieb Mayr-Melnhof-Saurau, Holzcluster Steiermark GmbH und PALFINGER EPSILON), die Implementierung autonomer Prozesse in der Forstlogistik. Das Hauptziel des Projekts ist die autonom gesteuerte Holzernte, von der Navigation in entlegene Waldgebiete bis zum Be- und Entladen der Holzgüter.

Mit den Zielen:
- Reduktion der CO_2 Emission durch Elektrifizierung der Prozesse
- Untersuchung einer möglichen Autonomisierung der Forstlogistik einschließlich Verladung, Transport und Entladung der Holzstämme

Aufgabenstellung:
- Entwicklung automatisierter der Be-, Ent- und Umladeprozesse
- Abbildung des Systems als Digital Twin zur Reduktion der Entwicklungszeit
- Umsetzung des Be-, Ent- und Umlademoduls

Vorgehensweise, Methoden:
- Multidomänen Digital Twin (mechanisches System, Hydraulik, SPS)
- Prozessalgorithmik: Szenarienentwicklung & -evaluierung
- Automatisierung am Prototyp

Ergebnisse:
- Digital Twin der das System in allen relevanten Domänen abbildet
- Automatisierungsentwicklung und Tests am Prototypen
- Erste Validierungsergebnisse

Be-, Um- und Entlademodul

Abbildung 3: PALFINGER EPSILON M12Z105 Holzverladekran
https://www.palfingerepsilon.com/de_DE/Holzwirtschaft/Holztransport

Entwicklung am Digital Twin

- Um die Entwicklungszeit zu reduzieren und mögliche Entwicklungsfehler so früh wie möglich zu identifizieren und zu beheben, wird zur Entwicklung auf die Methoden des Digital Engineerings zurückgegriffen und der Holzverladekran als Digital Twin abgebildet.
- Aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Domänen, die am Kran realisiert werden, muss auch der Digital Twin in entsprechenden Softwaresystemen realisiert werden, die die physikalischen Domänen möglichst präzise und effizient abbilden.

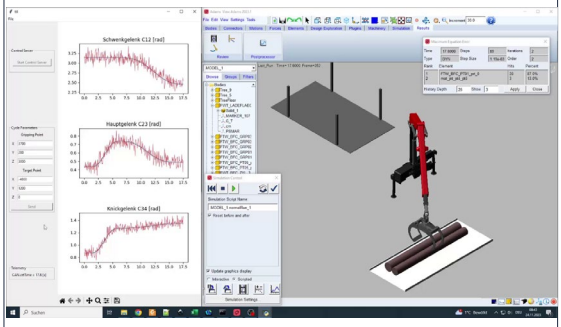


Abbildung 1: Gesamtsystem des Digital Twins

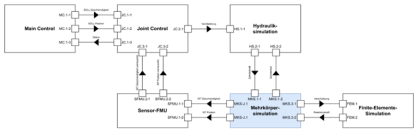


Abbildung 2: Flow-Port-Diagramm des Digital Twins (ein Gelenk)

Validierung

- Um die Entwicklung der Steuerungseinheit auch im realen Umfeld zu testen und den Digital Twin zu validieren wurde im Rahmen des Projekts eine Plug-In-Steuerungsbox entwickelt.

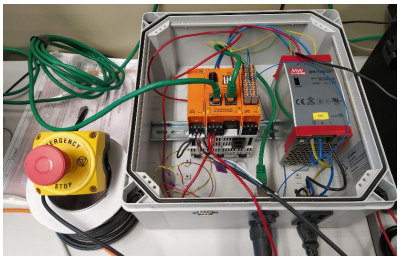


Abbildung 4: Entwicklung der Steuerungseinheit: „Plug-In-Steuerungsbox“

- Erste Testläufe verliefen erfolgreich und zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen Gelenksgeschwindigkeiten und denen, die anhand des Digital Twins bestimmt wurden.

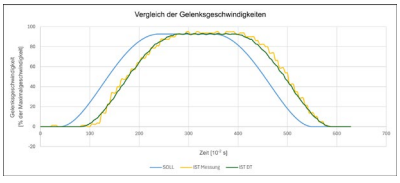


Abbildung 5: Analysekurve eines Versuchslaufs
(blau: Leitkurve; grün: Digital Twin; gelb: Messung)

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz
Graz University of Technology

Projektexzerpt

Im Projekt FutureWoodTrans erforscht ein Konsortium, bestehend aus vier wissenschaftlichen Partnern der TU Graz (Institut für Technische Logistik, Institut für Fahrzeugtechnik, Institut für Maschinelles Sehen & Darstellen und Institut für Softwaretechnologie) sowie vier Industriepartnern (Siemens Österreich AG, Forstbetrieb Mayr-Melnhof-Saurau, Holzcluster Steiermark GmbH und PALFINGER EPSILON), die Implementierung autonomer Prozesse in der Forstlogistik. Das Hauptziel des Projekts ist die autonom gesteuerte Holzernte, von der Navigation in entlegene Waldgebiete bis zum Be- und Entladen der Holzgüter.

Mit den Zielen:

- Reduktion der CO_2 Emission durch Elektrifizierung der Prozesse
- Untersuchung einer möglichen Autonomisierung der Forstlogistik einschließlich Verladung, Transport und Entladung der Holzstämme

Aufgabenstellung:

- Entwicklung automatisierter der Be-, Ent- und Umladeprozesse
- Abbildung des Systems als Digital Twin zur Reduktion der Entwicklungszeit
- Umsetzung des Be-, Ent- und Umlademoduls

Vorgehensweise, Methoden:

- Multidomänen Digital Twin (mechanisches System, Hydraulik, SPS)
- Prozessalgorithmik: Szenarienentwicklung & -evaluierung
- Automatisierung am Prototyp

Ergebnisse:

- Digital Twin der das System in allen relevanten Domänen abbildet
- Automatisierungsentwicklung und Tests am Prototypen
- Erste Validierungsergebnisse

Entwicklung am Digital Twin

- Um die Entwicklungszeit zu reduzieren und mögliche Entwicklungsfehler so früh wie möglich zu identifizieren und zu beheben, wird zur Entwicklung auf die Methoden des Digital Engineerings zurückgegriffen und der Holzverladekran als Digital Twin abgebildet.
- Aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Domänen, die am Kran realisiert werden, muss auch der Digital Twin in entsprechenden Softwaresystemen realisiert werden, die die physikalischen Domänen möglichst präzise und effizient abbilden.

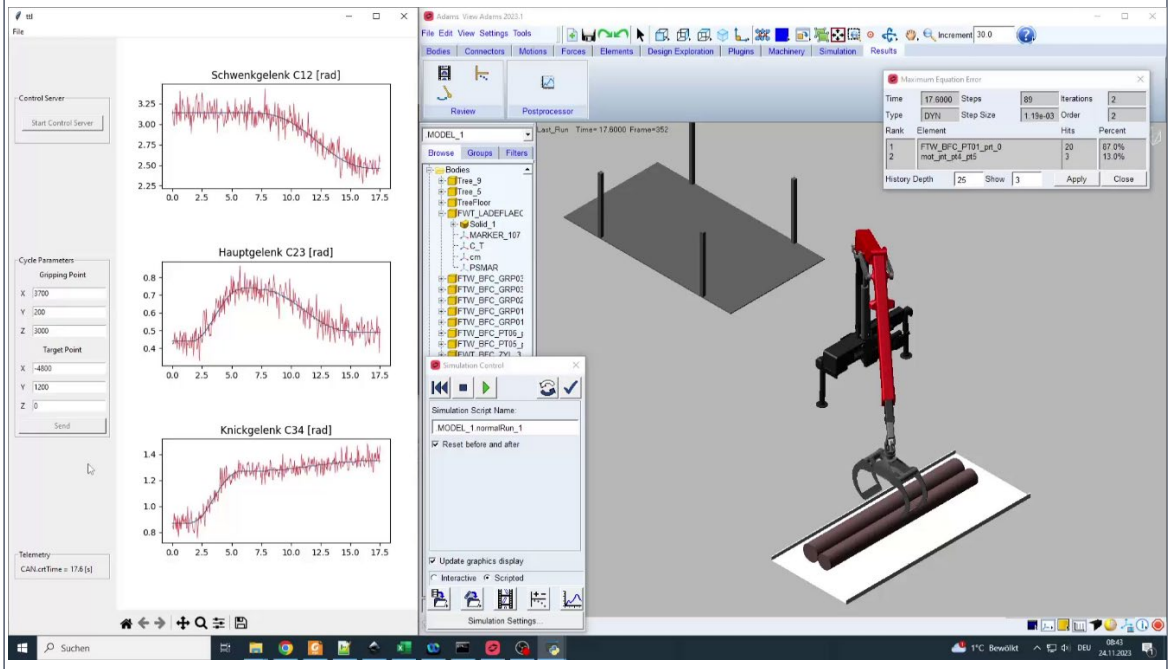


Abbildung 1: Gesamtsystem des Digital Twins

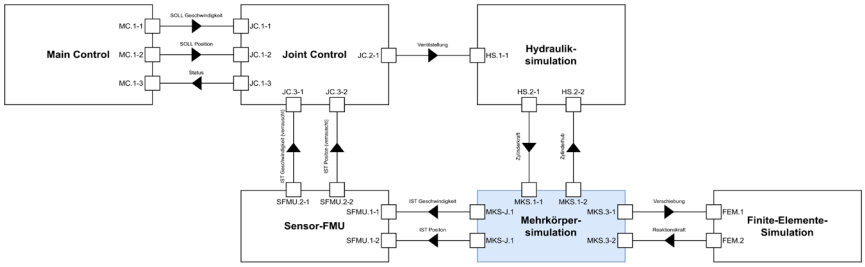


Abbildung 2: Flow-Port-Diagramm des Digital Twins (ein Gelenk)

Be-, Um- und Entlademodul

Abbildung 3: PALFINGER EPSILON M12Z105 Holzverladekran
https://www.palfingerepsilon.com/de_DE/Holzwirtschaft/Holztransport

Validierung

- Um die Entwicklung der Steuerungseinheit auch im realen Umfeld zu testen und den Digital Twin zu validieren wurde im Rahmen des Projekts eine Plug-In-Steuerungsbox entwickelt.

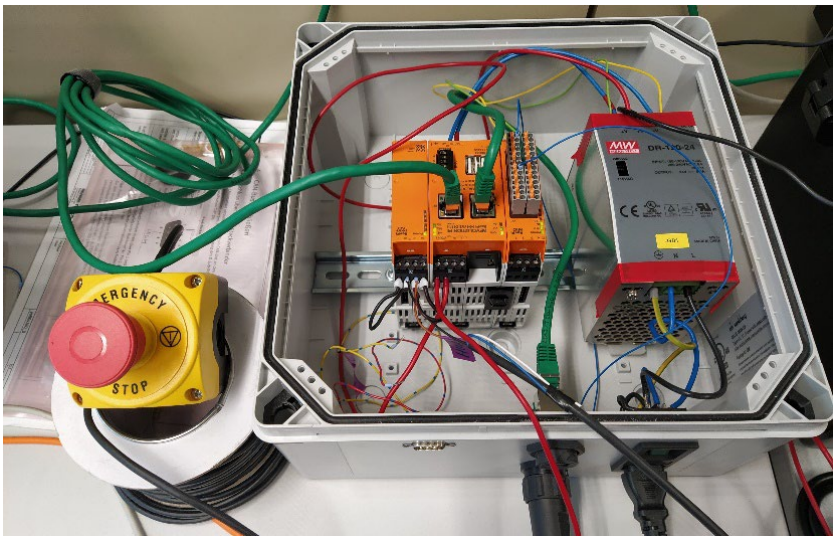


Abbildung 4: Entwicklung der Steuerungseinheit: „Plug-In-Steuerungsbox“

- Erste Testläufe verliefen erfolgreich und zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen Gelenksgeschwindigkeiten und denen, die anhand des Digital Twins bestimmt wurden.

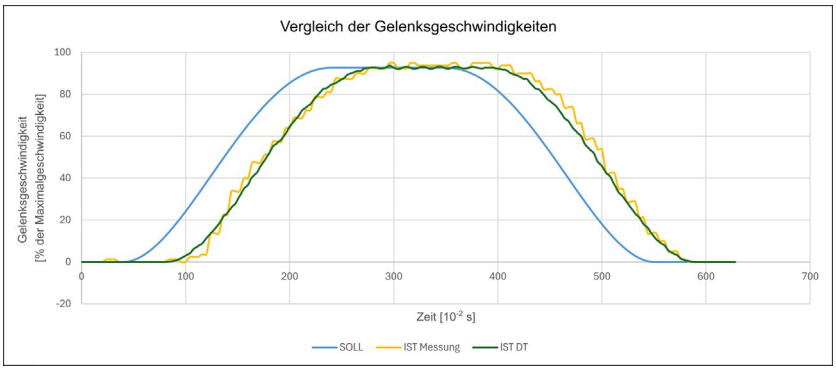


Abbildung 5: Analysekurve eines Versuchslaufs
(blau: Leitkurve; grün: Digital Twin; gelb: Messung)

Soziale Nachhaltigkeit in Paketverteilzentren

Methodische Perspektiven zur quantitativen Bewertung und Integration in Planung sowie Betrieb

Harald Steinkellner, Domenik Kaever

Institut für Technische Logistik

Einleitung

Der **Markt für Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP) wächst** stetig – getrieben vom Onlinehandel stieg das **weltweite Paketvolumen** zwischen 2016 und 2022 um **über 150 %** [1]. Um dieser Entwicklung gerecht zu werden, werden **Paketverteilzentren (PVZ)** kontinuierlich **erweitert, automatisiert** und **technologisch aufgerüstet**.

PVZ sind dabei **hochkomplexe logistische Systeme** mit vielen eng gekoppelten **Subsystemen (Abbildung 1)**. Trotz **hoher Automatisierungsgrade** bleibt insbesondere in den Schnittstellenbereichen (z. B. Zu- und Abförderung) ein **erheblicher Anteil** an Tätigkeiten **manuell**, z. B. beim Entladen von Containern. Diese Tätigkeiten sind oft durch **körperlich belastende Bewegungsabläufe** (z. B. Heben, Tragen, Drehen, langes Gehen) sowie **monotone, wiederkehrende Arbeitsmuster** geprägt. In Kombination mit **Zeitdruck** und **ergonomisch ungünstigen Rahmenbedingungen** führt dies zu einer **signifikanten körperlichen Beanspruchung** der Mitarbeitenden.

Während die **PVZ-Planung** bislang vor allem unter **wirtschaftlichen** und **ökologischen** Gesichtspunkten erfolgt (z. B. Energieverbrauch), bleibt die **soziale Dimension der Nachhaltigkeit** – insbesondere **ergonomische Belastung** und **gerechte Arbeitsverteilung** – methodisch weitgehend unberücksichtigt.

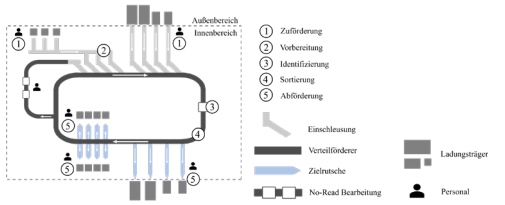


Abbildung 1. Subsysteme im Paketverteilzentrum

Zielsetzung

Die **Planung** und **Bewertung** von **Layouts** und **Prozessen** in PVZ erfolgt bisher primär auf Grundlage **technischer Leistungskennzahlen** wie dem Durchsatz. **Menschzentrierte Aspekte** wie ergonomische Qualität oder Belastungsverteilung zwischen Mitarbeitenden werden hingegen meist qualitativ, wenn überhaupt, berücksichtigt. Diese **Lücke** adressiert das vorliegende Forschungsvorhaben, indem sie ein **methodisches Fundament** schafft, um **soziale Nachhaltigkeit** im **PVZ quantifizierbar** zu machen, um sie als **gleichwertige Planungsdimension** neben Ökonomie und Ökologie systematisch in die Layout- und Prozessoptimierung von PVZ **zu integrieren**.

Methodischer Ansatz

Basierend auf den in [2] dargestellten Ergebnissen werden zwei Erkenntnisse deutlich: **1.** Es existiert eine **Vielzahl** an sozial nachhaltig **relevanten Parametern** in PVZ, **2. Discrete Event Simulation (DES)** ist ein **geeignetes Mittel** zur **Planung** dieser Systeme. Diese relevanten Parameter werden jedoch **noch nicht zielführend** in der **DES eingesetzt**.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Forschungsvorhaben einen **strukturierten Ansatz** zur **Integration sozialer Nachhaltigkeit** in die **PVZ-Planung (Abbildung 2),** wobei der Fokus auf **gerechter Arbeitsverteilung** und **ergonomischen Arbeitsbedingungen** liegt:

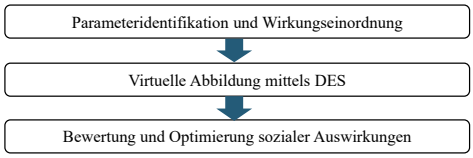


Abbildung 2. Methodischer Ansatz

Umsetzung

Der beschriebene methodische Rahmen wird exemplarisch anhand der **Abförderung (Outbound-Bereich) eines PVZ** näher beschrieben – einem Teilbereich mit hoher ergonomischer Relevanz aufgrund des hohen Anteils manueller Tätigkeiten.

1. **Parameteridentifikation und Wirkungseinordnung:** Zunächst werden **zentrale Indikatoren** sozialer Nachhaltigkeit systematisch erhoben, wie z. B. **Gehstrecken, Hebevorgänge, Lastverteilung,** sowie **monotone Bewegungsmuster**. Parallel dazu werden **beeinflussende Faktoren** wie **Rutschenzuweisung, Sendungsmengen** oder **Layoutmerkmale** identifiziert und hinsichtlich ihrer **Wirkung** auf das **Belastungsprofil** eingeordnet.
2. **Virtuelle Abbildung mittels DES:** Die ermittelten Parameter werden in einem **Simulationsmodell** des **Outbound-Bereichs** abgebildet. Die Modellumsetzung erfolgt auf Basis realitätsnaher Abläufe und ermöglicht die **gleichzeitige Beobachtung** von **technischer Performance** (z. B. Durchsatz) und **ergonomischen Belastungsprofilen** pro Mitarbeitendem.
3. **Bewertung und Optimierung sozialer Auswirkungen:** Das Modell dient der Untersuchung unterschiedlicher Szenarien. Mittels **Multi-Parameter-Optimierung** werden **Trade-offs** zwischen ergonomischer Entlastung und Systemleistung identifiziert und als **Pareto-optimale Lösungen** dargestellt um dadurch **belastbare Entscheidungsgrundlagen** bereitzustellen.

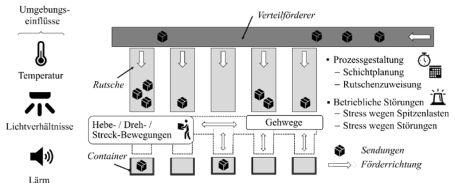


Abbildung 3. Outbound-Bereich aus Sicht der sozialen Nachhaltigkeit

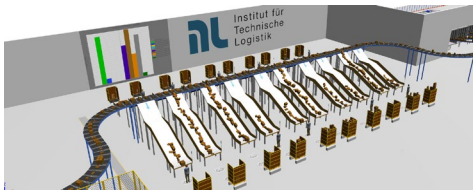


Abbildung 4. Mittels DES modellierter Outbound-Bereich

Ausblick

Aktuell liegt der Forschungsschwerpunkt auf der **konzeptionellen Weiterentwicklung** und **praktischen Umsetzung simulationsgestützter Modelle** für den Outbound-Bereich eines PVZ.

Ziel ist es, durch gezielte Anwendung von **DES** und **Multi-Parameter-Optimierung** ein methodisches Fundament zu schaffen, das **soziale Nachhaltigkeit planbar** und **entscheidungsrelevant** macht.

In einem weiteren Schritt soll das bestehende Modell **empirisch validiert** und um **weitere Subsysteme** erweitert werden, um eine **ganzheitliche Bewertungslogik** für sozial nachhaltige PVZ-Gestaltung zu ermöglichen.

Literatur

[1] Pitney Bowes, "Parcel Shipping Index 2023," 2023. Accessed: Jul. 30, 2024.
[2] H. Steinkellner and D. Kaever, “Strengthen Social Sustainability in Parcel Hubs: A Theoretical Exploration and the Potential Role of Discrete Event Simulation,” Proceedings of the XXV International Conference MHCL 2024, ©TU WIEN, Austria, September 18th - 19th, 2024, pp. 1–10.

Einleitung

Der **Markt für Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP) wächst** stetig – getrieben vom Onlinehandel stieg das **weltweite Paketvolumen** zwischen 2016 und 2022 um **über 150 %** [1]. Um dieser Entwicklung gerecht zu werden, werden **Paketverteilzentren (PVZ)** kontinuierlich **erweitert, automatisiert** und **technologisch aufgerüstet**.

PVZ sind dabei **hochkomplexe logistische Systeme** mit vielen eng gekoppelten **Subsystemen (Abbildung 1)**. Trotz **hoher Automatisierungsgrade** bleibt insbesondere in den Schnittstellenbereichen (z. B. Zu- und Abförderung) ein **erheblicher Anteil** an Tätigkeiten **manuell**, z. B. beim Entladen von Containern. Diese Tätigkeiten sind oft durch **körperlich belastende Bewegungsabläufe** (z. B. Heben, Tragen, Drehen, langes Gehen) sowie **monotone, wiederkehrende Arbeitsmuster** geprägt. In Kombination mit **Zeitdruck** und **ergonomisch ungünstigen Rahmenbedingungen** führt dies zu einer **signifikanten körperlichen Beanspruchung** der Mitarbeitenden.

Während die **PVZ-Planung** bislang vor allem unter **wirtschaftlichen** und **ökologischen** Gesichtspunkten erfolgt (z. B. Energieverbrauch), bleibt die **soziale Dimension der Nachhaltigkeit** – insbesondere **ergonomische Belastung** und **gerechte Arbeitsverteilung** – methodisch weitgehend unberücksichtigt.

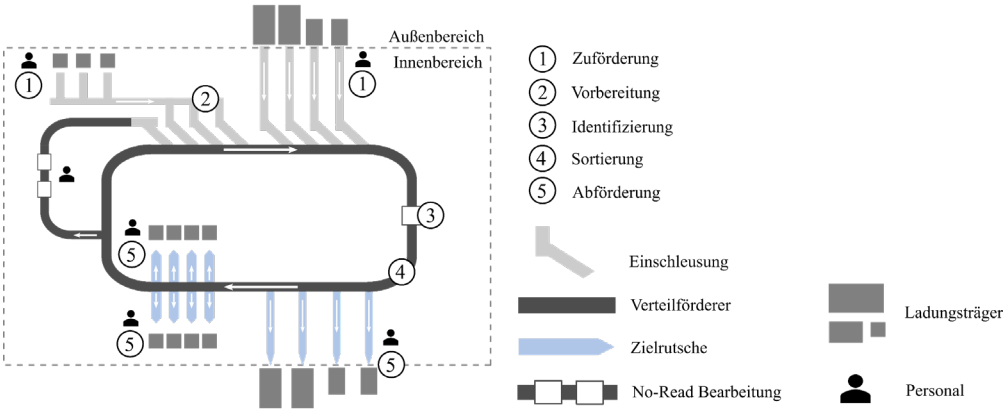


Abbildung 1. Subsysteme im Paketverteilzentrum

Zielsetzung

Die **Planung** und **Bewertung** von **Layouts** und **Prozessen** in PVZ erfolgt bisher primär auf Grundlage **technischer Leistungskennzahlen** wie dem Durchsatz. **Menschzentrierte Aspekte** wie ergonomische Qualität oder Belastungsverteilung zwischen Mitarbeitenden werden hingegen meist qualitativ, wenn überhaupt, berücksichtigt. Diese **Lücke** adressiert das vorliegende Forschungsvorhaben, indem sie ein **methodisches Fundament** schafft, um **soziale Nachhaltigkeit** im **PVZ quantifizierbar** zu machen, um sie als **gleichwertige Planungsdimension** neben Ökonomie und Ökologie systematisch in die Layout- und Prozessoptimierung von PVZ **zu integrieren**.

Methodischer Ansatz

Basierend auf den in [2] dargestellten Ergebnissen werden zwei Erkenntnisse deutlich: **1.** Es existiert eine **Vielzahl** an sozial nachhaltig **relevanten Parametern** in PVZ, **2. Discrete Event Simulation (DES)** ist ein **geeignetes Mittel** zur **Planung** dieser Systeme. Diese relevanten Parameter werden jedoch **noch nicht zielführend** in der **DES eingesetzt**.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Forschungsvorhaben einen **strukturierten Ansatz** zur **Integration sozialer Nachhaltigkeit** in die **PVZ-Planung (Abbildung 2),** wobei der Fokus auf **gerechter Arbeitsverteilung** und **ergonomischen Arbeitsbedingungen** liegt:

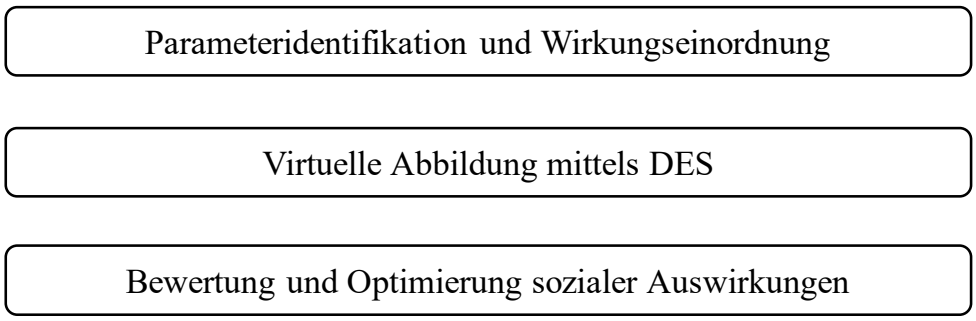


Abbildung 2. Methodischer Ansatz

Umsetzung

Der beschriebene methodische Rahmen wird exemplarisch anhand der **Abförderung (Outbound-Bereich) eines PVZ** näher beschrieben – einem Teilbereich mit hoher ergonomischer Relevanz aufgrund des hohen Anteils manueller Tätigkeiten.

1. **Parameteridentifikation und Wirkungseinordnung:** Zunächst werden **zentrale Indikatoren** sozialer Nachhaltigkeit systematisch erhoben, wie z. B. **Gehstrecken, Hebevorgänge, Lastverteilung,** sowie **monotone Bewegungsmuster**. Parallel dazu werden **beeinflussende Faktoren** wie **Rutschenzuweisung, Sendungsmengen** oder **Layoutmerkmale** identifiziert und hinsichtlich ihrer **Wirkung** auf das **Belastungsprofil** eingeordnet.
2. **Virtuelle Abbildung mittels DES:** Die ermittelten Parameter werden in einem **Simulationsmodell** des **Outbound-Bereichs** abgebildet. Die Modellumsetzung erfolgt auf Basis realitätsnaher Abläufe und ermöglicht die **gleichzeitige Beobachtung** von **technischer Performance** (z. B. Durchsatz) und **ergonomischen Belastungsprofilen** pro Mitarbeitendem.
3. **Bewertung und Optimierung sozialer Auswirkungen:** Das Modell dient der Untersuchung unterschiedlicher Szenarien. Mittels **Multi-Parameter-Optimierung** werden **Trade-offs** zwischen ergonomischer Entlastung und Systemleistung identifiziert und als **Pareto-optimale Lösungen** dargestellt um dadurch **belastbare Entscheidungsgrundlagen** bereitzustellen.

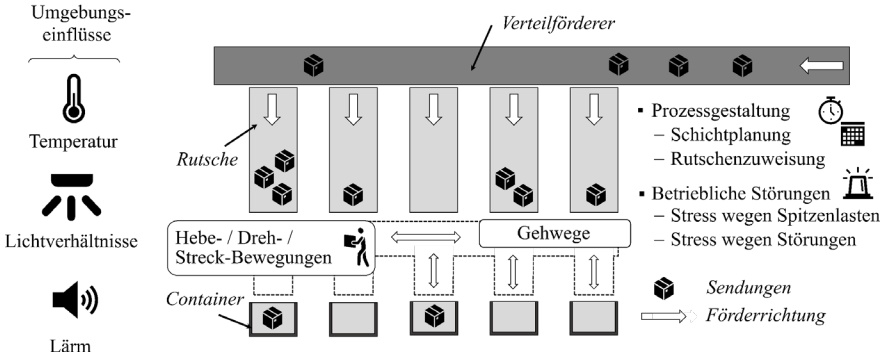


Abbildung 3. Outbound-Bereich aus Sicht der sozialen Nachhaltigkeit

Abbildung 4. Mittels DES modellierter Outbound-Bereich

Ausblick

Aktuell liegt der Forschungsschwerpunkt auf der **konzeptionellen Weiterentwicklung** und **praktischen Umsetzung simulationsgestützter Modelle** für den Outbound-Bereich eines PVZ.

Ziel ist es, durch gezielte Anwendung von **DES** und **Multi-Parameter-Optimierung** ein methodisches Fundament zu schaffen, das **soziale Nachhaltigkeit planbar** und **entscheidungsrelevant** macht.

In einem weiteren Schritt soll das bestehende Modell **empirisch validiert** und um **weitere Subsysteme** erweitert werden, um eine **ganzheitliche Bewertungslogik** für sozial nachhaltige PVZ-Gestaltung zu ermöglichen.

Literatur

[1] Pitney Bowes, "Parcel Shipping Index 2023," 2023. Accessed: Jul. 30, 2024.
[2] H. Steinkellner and D. Kaever, “Strengthen Social Sustainability in Parcel Hubs: A Theoretical Exploration and the Potential Role of Discrete Event Simulation,” Proceedings of the XXV International Conference MHCL 2024, ©TU WIEN, Austria, September 18th - 19th, 2024, pp. 1–10.

Reduzierung des Aufwandes zur Erstellung von Ereignisdiskreten Simulationsmodellen durch Automatisierung der Modellgenerierung

Armin Lozic, Harald Steinkellner, Domenik Kaever

Institut für Technische Logistik

Einleitung

Die **Ereignisdiskrete Simulation** (Discrete Event Simulation – DES) hat sich in der industriellen Praxis als bewährtes Mittel zur **Planung, Analyse und Optimierung von Materialflusssystemen** etabliert, u. a. für dynamische Anlagen in der Intralogistik wie **komplexe Sortieranlagen** und **automatisierte Lagersysteme** (Automated Storage and Retrieval Systems – ASRS).

Die **Modellbildung** ist jedoch nach wie vor **zeitaufwendig und fehleranfällig**, da Layout-Daten häufig manuell übertragen, sowie Systemstrukturen individuell modelliert werden müssen. Um diesen **Aufwand zu reduzieren** und die **Wiederverwendbarkeit** von Modellen zu verbessern, werden **automatisierte** und **parametergestützte Ansätze für die Modellgenerierung** immer wichtiger.

Das vorgestellte Vorgehen kombiniert die **automatisierte Übernahme von Layoutdaten** aus dem CAD-System mit einer **parametrierbaren Modellstruktur**, um eine **flexible** und **effiziente** Erstellung von **Simulationsmodellen** zu ermöglichen.

Zielsetzung

Um den **Modellierungsaufwand von Ereignisdiskreten Simulationsmodellen** in der Intralogistik zu **reduzieren**, werden nachfolgend **zwei Ansätze** vorgestellt:

- die **automatisierte Ableitung fördertechnischer Komponenten aus CAD-Layouts**
- die **parametergestützte Generierung flexibler und skalierbarer Systemstrukturen**, beispielhaft umgesetzt für ein Shuttle-basiertes Lagersystem

Diese Kombination erlaubt eine **standardisierte, zeiteffiziente Modellerstellung** und trägt zur Steigerung von Modellqualität, Konsistenz und Wiederverwendbarkeit bei.

Vorgehensweise

Ein etabliertes **Vorgehensmodell** zur **Entwicklung und Durchführung Ereignisdiskreter Simulationen** wird in [1] beschrieben. Die Einordnung der Methoden in die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells sowie die grundsätzliche **methodische Struktur** sind in **Abbildung 1** dargestellt. Die vorgestellten Ansätze lassen sich dabei der Phase der Implementierung zuordnen.

Während die frühen Phasen (z. B. Systemanalyse) weitgehend unabhängig vom eingesetzten Simulationswerkzeug erfolgen, ist die **Implementierungsphase** stark **werkzeugspezifisch**. In diesem Vorhaben kommt hierfür exemplarisch die Software Tecnomatix **Plant Simulation** von Siemens zum Einsatz.

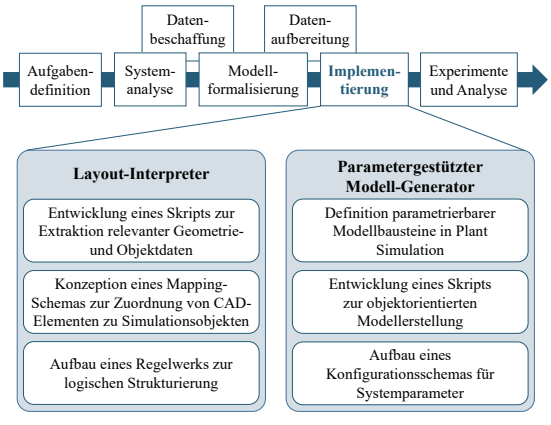


Abbildung 1. Vorgehensweise und Einordung in das Vorgehensmodell nach [1]

Modellierung & Anwendung

Layout-Interpreter: Abbildung 2a zeigt die Ausgangsbasis: ein exemplarisches **2D-CAD-Layout** mit beispielhaft hinterlegten **Objektkoordinaten**. In **Abbildung 2b** ist das daraus **abgeleitete Simulationsmodell** zu sehen.

Im Rahmen der **Modell-Generierung** werden folgende Schritte durchgeführt:

- **Einlesen** der **CAD-Geometriedaten**,
- **Positionszuweisung** der erkannten Elemente und **Verknüpfung der Komponenten** zu logischen Funktionseinheiten,
- **Konsistenzprüfung** zur Sicherstellung der Datenvollständigkeit.

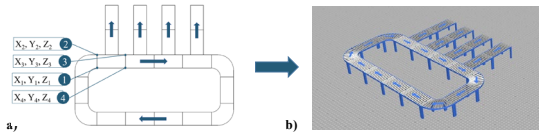


Abbildung 2. Layout-Interpreter

Parametergestützter Modell-Generator: Abbildung 3a zeigt ein **Prinzip-Schaubild** eines Shuttle-Lagersystems als strukturelle Vorlage für die modellbasierte Umsetzung. In **Abbildung 3b** ist das darauf basierende, **automatisiert generierte 3D-Modell** in Plant Simulation dargestellt, welches auf Grundlage **definierter Parameter** (z. B. Anzahl der Regalgassen, Ebenen, Stellplätze, etc.) erstellt wurde.

Folgende Schritte erfolgen innerhalb des **Modellgenerators**:

- **Einlesen** der **Eingabedateien** und parametrisierter **Strukturinformationen**,
- **Erzeugung** und **Platzierung** der **Modellbausteine**,
- Zuweisung von **Funktionslogiken**.

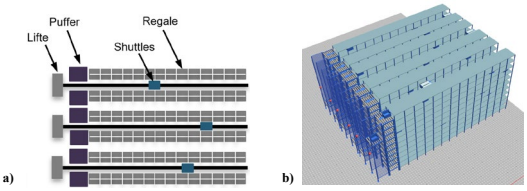


Abbildung 3. Parametergestützter Modell-Generator

Ergebnisse & Ausblick

Die **automatisierte Modellgenerierung** in Plant Simulation hat sich als **zielführende Methode** zur **effizienten Abbildung intralogistischer Systeme** erwiesen. **Wesentliche Merkmale** der Ansätze sind:

- Funktionale Trennung in einen **CAD-basierten Interpreter** zur strukturierten Layout-Übernahme und einen **parametrischen Modellgenerator**,
- Verwendung **standardisierter Eingabedaten** zur **Reduktion manueller Modellierungsaufwände**,
- **Konsistente Modellstruktur**, die eine **schnelle** und **flexible Erzeugung** von **Varianten** ermöglicht.

Zur **Weiterentwicklung** des Ansatzes sind folgende Erweiterungen vorgesehen:

- Einbindung **zusätzlicher Modellparameter**,
- Entwicklung einer **grafischen Benutzeroberfläche (GUI)** zur intuitiven Parametereingabe und Visualisierung der Modellstruktur.

Literatur

[1] M. Rabe, S. Spieckermann, and S. Wenzel, Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken. Springer Berlin, Heidelberg, 2008.

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz Graz University of Technology

Einleitung

Die **Ereignisdiskrete Simulation** (Discrete Event Simulation – DES) hat sich in der industriellen Praxis als bewährtes Mittel zur **Planung, Analyse und Optimierung von Materialflusssystemen** etabliert, u. a. für dynamische Anlagen in der Intralogistik wie **komplexe Sortieranlagen** und **automatisierte Lagersysteme** (Automated Storage and Retrieval Systems – ASRS).

Die **Modellbildung** ist jedoch nach wie vor **zeitaufwendig und fehleranfällig**, da Layout-Daten häufig manuell übertragen, sowie Systemstrukturen individuell modelliert werden müssen. Um diesen **Aufwand zu reduzieren** und die **Wiederverwendbarkeit** von Modellen zu verbessern, werden **automatisierte** und **parametergestützte Ansätze für die Modellgenerierung** immer wichtiger.

Das vorgestellte Vorgehen kombiniert die **automatisierte Übernahme von Layoutdaten** aus dem CAD-System mit einer **parametrierbaren Modellstruktur**, um eine **flexible** und **effiziente** Erstellung von **Simulationsmodellen** zu ermöglichen.

Zielsetzung

Um den **Modellierungsaufwand von Ereignisdiskreten Simulationsmodellen** in der Intralogistik zu **reduzieren**, werden nachfolgend **zwei Ansätze** vorgestellt:

- die **automatisierte Ableitung fördertechnischer Komponenten aus CAD-Layouts**
- die **parametergestützte Generierung flexibler und skalierbarer Systemstrukturen**, beispielhaft umgesetzt für ein Shuttle-basiertes Lagersystem

Diese Kombination erlaubt eine **standardisierte, zeiteffiziente Modellerstellung** und trägt zur Steigerung von Modellqualität, Konsistenz und Wiederverwendbarkeit bei.

Vorgehensweise

Ein etabliertes **Vorgehensmodell** zur **Entwicklung und Durchführung Ereignisdiskreter Simulationen** wird in [1] beschrieben. Die Einordnung der Methoden in die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells sowie die grundsätzliche **methodische Struktur** sind in **Abbildung 1** dargestellt. Die vorgestellten Ansätze lassen sich dabei der Phase der Implementierung zuordnen.

Während die frühen Phasen (z. B. Systemanalyse) weitgehend unabhängig vom eingesetzten Simulationswerkzeug erfolgen, ist die **Implementierungsphase** stark **werkzeugspezifisch**. In diesem Vorhaben kommt hierfür exemplarisch die Software Tecnomatix **Plant Simulation** von Siemens zum Einsatz.

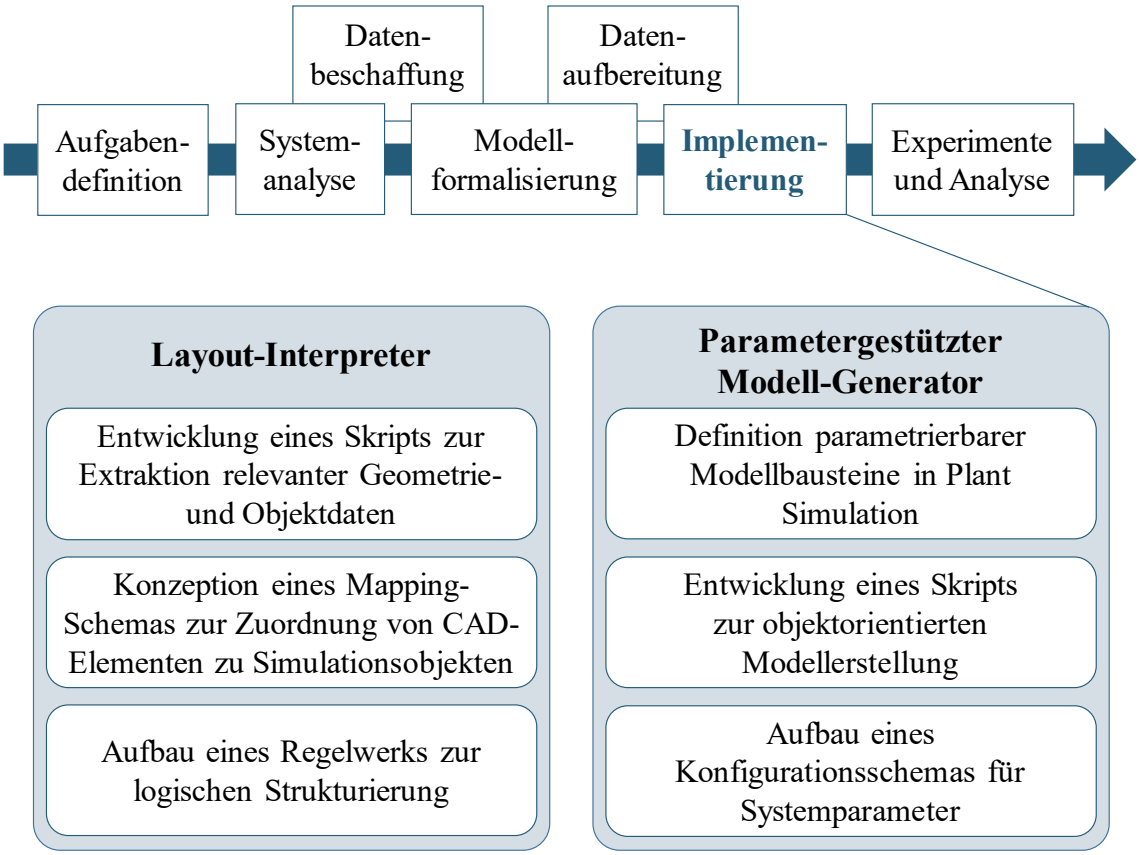


Abbildung 1. Vorgehensweise und Einordung in das Vorgehensmodell nach [1]

Modellierung & Anwendung

Layout-Interpreter: Abbildung 2a zeigt die Ausgangsbasis: ein exemplarisches **2D-CAD-Layout** mit beispielhaft hinterlegten **Objektkoordinaten**. In **Abbildung 2b** ist das daraus **abgeleitete Simulationsmodell** zu sehen.

Im Rahmen der **Modell-Generierung** werden folgende Schritte durchgeführt:

- **Einlesen** der **CAD-Geometriedaten**,
- **Positionszuweisung** der erkannten Elemente und **Verknüpfung der Komponenten** zu logischen Funktionseinheiten,
- **Konsistenzprüfung** zur Sicherstellung der Datenvollständigkeit.

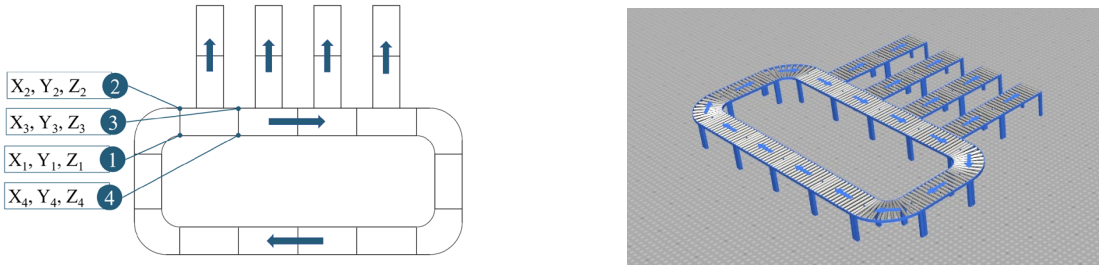


Abbildung 2. Layout-Interpreter

Parametergestützter Modell-Generator: Abbildung 3a zeigt ein **Prinzip-Schaubild** eines Shuttle-Lagersystems als strukturelle Vorlage für die modellbasierte Umsetzung. In **Abbildung 3b** ist das darauf basierende, **automatisiert generierte 3D-Modell** in Plant Simulation dargestellt, welches auf Grundlage **definierter Parameter** (z. B. Anzahl der Regalgassen, Ebenen, Stellplätze, etc.) erstellt wurde.

Folgende Schritte erfolgen innerhalb des **Modellgenerators**:

- **Einlesen** der **Eingabedateien** und parametrisierter **Strukturinformationen**,
- **Erzeugung** und **Platzierung** der **Modellbausteine**,
- Zuweisung von **Funktionslogiken**.

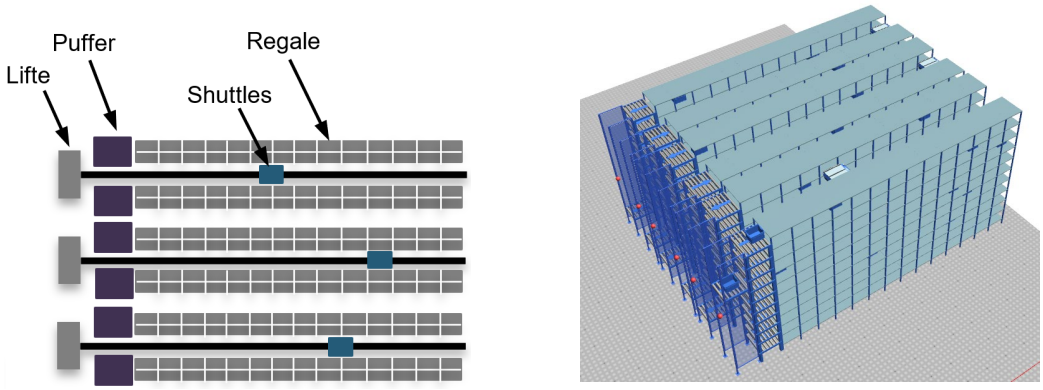


Abbildung 3. Parametergestützter Modell-Generator

Ergebnisse & Ausblick

Die **automatisierte Modellgenerierung** in Plant Simulation hat sich als **zielführende Methode** zur **effizienten Abbildung intralogistischer Systeme** erwiesen. **Wesentliche Merkmale** der Ansätze sind:

- Funktionale Trennung in einen **CAD-basierten Interpreter** zur strukturierten Layout-Übernahme und einen **parametrischen Modellgenerator**,
- Verwendung **standardisierter Eingabedaten** zur **Reduktion manueller Modellierungsaufwände**,
- **Konsistente Modellstruktur**, die eine **schnelle** und **flexible Erzeugung** von **Varianten** ermöglicht.

Zur **Weiterentwicklung** des Ansatzes sind folgende Erweiterungen vorgesehen:

- Einbindung **zusätzlicher Modellparameter**,
- Entwicklung einer **grafischen Benutzeroberfläche (GUI)** zur intuitiven Parametereingabe und Visualisierung der Modellstruktur.

Literatur

[1] M. Rabe, S. Spieckermann, and S. Wenzel, Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken. Springer Berlin, Heidelberg, 2008.

‘indicAIte’: A mobile, AI-powered condition monitoring system for fault detection in roller conveyors

Dipl.-Ing. Michael Schadler BSc. BSc.

Institut für Technische Logistik

Problem statement

The increasing complexity and interconnectedness of logistics systems lead to a higher likelihood of unplanned equipment failures, which can have a significantly negative impact on service continuity. To address this challenge, logistics providers have to adopt effective strategies to enhance the availability and reliability of their intralogistics systems. This involves leveraging advanced high-availability technologies and implementing maintenance and service approaches that minimize operational interruptions.

While the reliability and availability of intralogistics systems are critical concerns, their maintenance and servicing have received limited attention in scientific research. According to the DIN EN 13306 standard, various maintenance strategies are available, but only a few are widely applied in intralogistics practice. Corrective and predetermined preventive measures remain predominant. Condition-based maintenance is rarely implemented and is typically limited to critical components, as it requires either repeated manual inspections or advanced technologies to assess the current state of the equipment. Predictive maintenance, on the other hand, holds significant industrial potential by enabling continuous monitoring, health status evaluation, and failure prediction. Although this concept has not yet been widely adopted, there is a clear need to integrate such capabilities. While these approaches are relevant to logistics in general, intralogistics presents a particularly suitable domain for the initial implementation of predictive maintenance.

In intralogistics a variety of material handling equipment exists for the continuous conveying of unit loads, with the specific application determined by the type and weight of the load. In sectors like postal services or where small load carriers (< 50 kg) are used, roller or belt conveyors are commonly employed. While the technology may vary, these conveyor systems are typically modular, relying heavily on standard components. This modularity offers the advantage of sourcing mechanical or electrical components from suppliers, allowing the system manufacturer or system integrator to focus on customer-specific requirements, design, construction, and system commissioning. [cp. 1, 2, 3]

Objectives

However, this standardization poses a significant challenge: when issues arise with these common components or assemblies, the problems are amplified across the entire system due to their extensive deployment.

This research focuses on the components of roller conveyors as a representative case study. In the operation of a certain type of roller conveyor, early and frequent failures due to bearing damage have been observed in practice. The study aims to investigate and develop fundamental procedures and tools for fault detection through systematic monitoring and analysis of these roller conveyor components utilizing an economical yet sophisticated mobile data acquisition system. As first described in [3, 4], two distinct condition monitoring approaches have been implemented at the Institute's test rigs. The first employs a stationary DAQ system attached directly to the conveyor framework, while the second, called '*indicAIte*', represents a mobile monitoring solution integrated into two different standard small load carriers. While developing the systems, continuous improvements were made to both DAQ systems. One of the key advantages of the mobile implementation is its superior versatility, which has generated much interest among industry partners due to its enhanced flexibility and retrofit compatibility. The mobile monitoring systems incorporate cost-effective accelerometer sensors coupled with high-performance microcontrollers to generate enough data to effectively evaluate the operational integrity of the rollers.

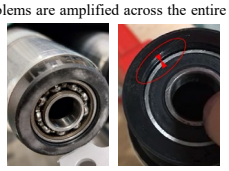


Fig. 1: Rollers and their defective bearings.

Fig. 2: Stationary DAQ system based on a Raspberry Pi 4 with an ADXL3021 mounted onto the conveyor frame.

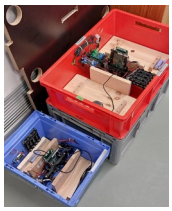


Fig. 3: Two identical mobile condition monitoring systems, both based on different small load carriers.

Method & exemplary result

Current research efforts are advancing through the systematic acquisition of measurement data series, which will serve as the empirical foundation for subsequent analysis. Data collection is being conducted using the institute’s newest test facilities. The main test rig undergoes regular reconfiguration to enable data collection from both new and damaged rollers. For this purpose, an industry partner has provided a total of 13 rollers that were previously in operation at an online retailer's distribution center and had to be replaced due to failure symptoms. The collected maintenance data from the mobile condition monitoring platform undergoes analysis and interpretation following the established Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) methodology.

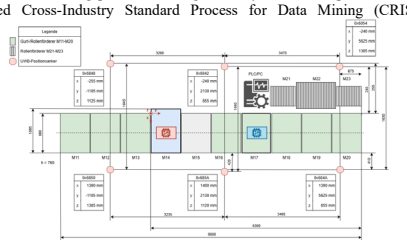


Fig. 4: Illustration depicting the dual conveyor test rig, its control unit and the relative position of the UltraWideBand indoor localization sensors for spatial tracking.

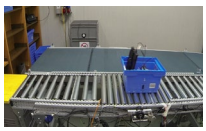


Fig. 5: Experiment with the mobile condition monitoring system.

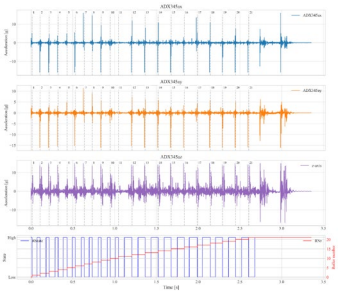


Fig. 6: Exemplary triaxial acceleration measurement with roller count and signal pattern from the inductive sensor.

Figure 4 shows an example measurement in which the mobile condition monitoring system moves over the conveyor system. The total mass of the small load carrier is 8.1kg, consisting of its own weight, measuring equipment and payload. The speed of the roller conveyor is set to 300mm/s². Figure 5 plots the acceleration values captured using an ADXL345 accelerometer with a sampling rate of 3200 Hz and a measurement range of ±16g. The lower portion of the graph shows the signal pattern from the inductive sensor, which enables precise attribution of the acceleration values to specific rollers. It is evident that the measurement box is capable of effectively recording vibrations from the underlying roller.

Outlook

Upon completion of data collection, the implementation and evaluation of multiple supervised machine learning algorithms specifically designed for roller conveyor fault classification will be completed. Concurrently, the mobile condition monitoring system is undergoing continued development and rigorous testing to validate its functionality and extend its technical capabilities.

Literature

[1] Böge, A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendunge der Maschinenbau-Technik. 19. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner-Verlag, 2009

[2] Lottersberger, F.: Beitrag zu einer energieffizienten Materialflusstechnik, Dissertation, Technische Universität Graz, 2016

[3] Schadler, M.: *Contribution to the maintenance of material handling technology in intralogistics in the context of ongoing digitalization*. 311-315. Poster session presented at Logistikwerkstatt Graz 2021, Austria. https://doi.org/10.3217/978-3-85125-837-0

[4] Schadler, M.: *Mobile conveyor condition monitoring system ‘indicAIte”*. 330-333. Poster session presented at Logistikwerkstatt Graz 2023, Austria. https://doi.org/10.3217/978-3-85125-951-3

Problem statement

The increasing complexity and interconnectedness of logistics systems lead to a higher likelihood of unplanned equipment failures, which can have a significantly negative impact on service continuity. To address this challenge, logistics providers have to adopt effective strategies to enhance the availability and reliability of their intralogistics systems. This involves leveraging advanced high-availability technologies and implementing maintenance and service approaches that minimize operational interruptions.

While the reliability and availability of intralogistics systems are critical concerns, their maintenance and servicing have received limited attention in scientific research. According to the DIN EN 13306 standard, various maintenance strategies are available, but only a few are widely applied in intralogistics practice. Corrective and predetermined preventive measures remain predominant. Condition-based maintenance is rarely implemented and is typically limited to critical components, as it requires either repeated manual inspections or advanced technologies to assess the current state of the equipment. Predictive maintenance, on the other hand, holds significant industrial potential by enabling continuous monitoring, health status evaluation, and failure prediction. Although this concept has not yet been widely adopted, there is a clear need to integrate such capabilities. While these approaches are relevant to logistics in general, intralogistics presents a particularly suitable domain for the initial implementation of predictive maintenance.

In intralogistics a variety of material handling equipment exists for the continuous conveying of unit loads, with the specific application determined by the type and weight of the load. In sectors like postal services or where small load carriers (< 50 kg) are used, roller or belt conveyors are commonly employed. While the technology may vary, these conveyor systems are typically modular, relying heavily on standard components. This modularity offers the advantage of sourcing mechanical or electrical components from suppliers, allowing the system manufacturer or system integrator to focus on customer-specific requirements, design, construction, and system commissioning. [cp. 1, 2, 3]

Objectives

However, this standardization poses a significant challenge: when issues arise with these common components or assemblies, the problems are amplified across the entire system due to their extensive deployment.

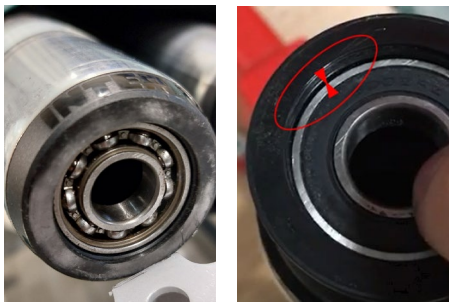


Fig. 1: Rollers and their defective bearings.

This research focuses on the components of roller conveyors as a representative case study. In the operation of a certain type of roller conveyor, early and frequent failures due to bearing damage have been observed in practice. The study aims to investigate and develop fundamental procedures and tools for fault detection through systematic monitoring and analysis of these roller conveyor components utilizing an economical yet sophisticated mobile data acquisition system. As first described in [3, 4], two distinct condition monitoring approaches have been implemented at the Institute's test rigs. The first employs a stationary DAQ system attached directly to the conveyor framework, while the second, called '*indicAIte*', represents a mobile monitoring solution integrated into two different standard small load carriers. While developing the systems, continuous improvements were made to both DAQ systems. One of the key advantages of the mobile implementation is its superior versatility, which has generated much interest among industry partners due to its enhanced flexibility and retrofit compatibility. The mobile monitoring systems incorporate cost-effective accelerometer sensors coupled with high-performance microcontrollers to generate enough data to effectively evaluate the operational integrity of the rollers.

Fig. 2: Stationary DAQ system based on a Raspberry Pi 4 with an ADXL3021 mounted onto the conveyor frame.

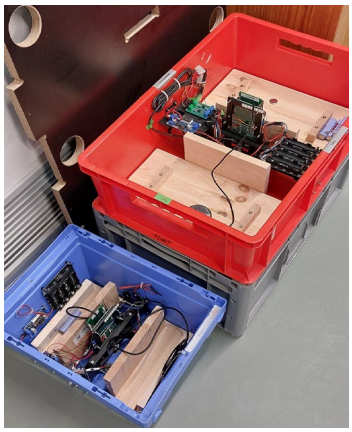


Fig. 3: Two identical mobile condition monitoring systems, both based on different small load carriers.

Method & exemplary result

Current research efforts are advancing through the systematic acquisition of measurement data series, which will serve as the empirical foundation for subsequent analysis. Data collection is being conducted using the institute's newest test facilities. The main test rig undergoes regular reconfiguration to enable data collection from both new and damaged rollers. For this purpose, an industry partner has provided a total of 13 rollers that were previously in operation at an online retailer's distribution center and had to be replaced due to failure symptoms. The collected maintenance data from the mobile condition monitoring platform undergoes analysis and interpretation following the established Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) methodology.

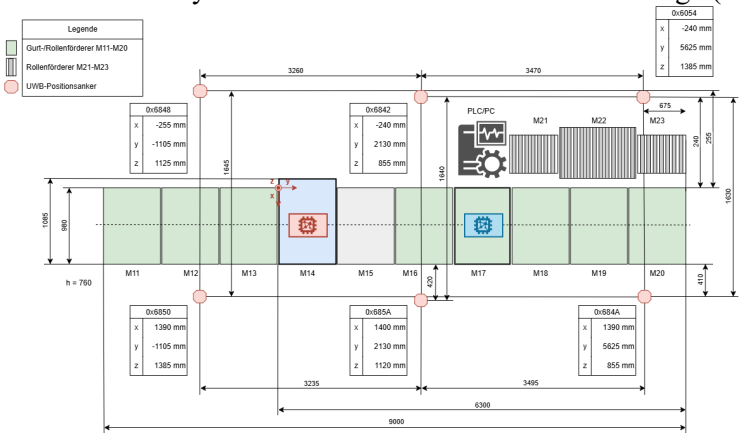


Fig. 4: Illustration depicting the dual conveyor test rig, its control unit and the relative position of the UltraWideBand indoor localization sensors for spatial tracking.

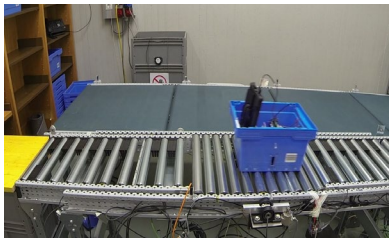


Fig. 5: Experiment with the mobile condition monitoring system.

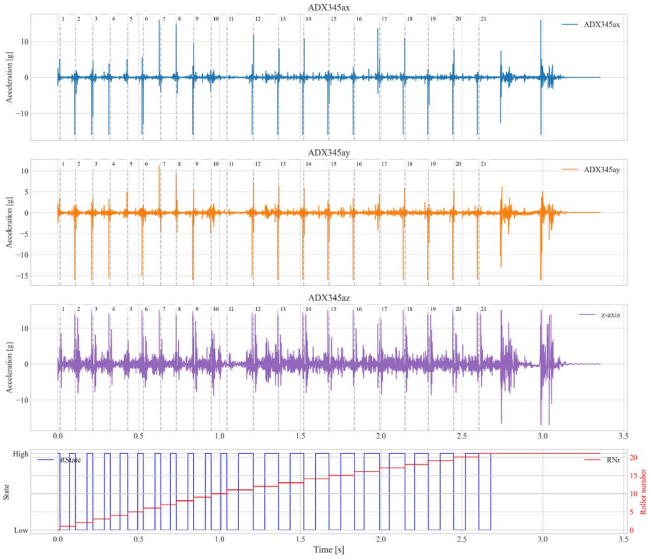


Fig. 6: Exemplary triaxial acceleration measurement with roller count and signal pattern from the inductive sensor.

Figure 4 shows an example measurement in which the mobile condition monitoring system moves over the conveyor system. The total mass of the small load carrier is 8.1kg, consisting of its own weight, measuring equipment and payload. The speed of the roller conveyor is set to 300mm/s². Figure 5 plots the acceleration values captured using an ADXL345 accelerometer with a sampling rate of 3200 Hz and a measurement range of ±16g. The lower portion of the graph shows the signal pattern from the inductive sensor, which enables precise attribution of the acceleration values to specific rollers. It is evident that the measurement box is capable of effectively recording vibrations from the underlying roller.

Outlook

Upon completion of data collection, the implementation and evaluation of multiple supervised machine learning algorithms specifically designed for roller conveyor fault classification will be completed. Concurrently, the mobile condition monitoring system is undergoing continued development and rigorous testing to validate its functionality and extend its technical capabilities.

Literature

[1] Böge, A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendunge der Maschinenbau-Technik. 19. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner-Verlag, 2009

[2] Lottersberger, F.: Beitrag zu einer energieffizienten Materialflusstechnik, Dissertation, Technische Universität Graz, 2016

[3] Schadler, M.: *Contribution to the maintenance of material handling technology in intralogistics in the context of ongoing digitalization*. 311-315. Poster session presented at Logistikwerkstatt Graz 2021, Austria. https://doi.org/10.3217/978-3-85125-837-0

[4] Schadler, M.: *Mobile conveyor condition monitoring system 'indicAIte"*. 330-333. Poster session presented at Logistikwerkstatt Graz 2023, Austria. https://doi.org/10.3217/978-3-85125-951-3

Simulation-Based Optimization of the MC350 Continuous Miner Undercarriage

Patrick Kröpfl[1], Alexander-Ortner Pichler[1], Christian Landschützer[1], Andreas König[2], Karl Irregger[2]

Institut für Technische Logistik

SANDVIK

Introduction

- **Sandvik Mining and Construction G.m.b.H.** is counted among the **world's leading suppliers of machines for mining and tunnelling.**
- Its Continuous Miner series (MC250–MC470) delivers [1]:
  - **Cutting power:** 175–540 kW
  - **Loading capacity**: 15–45 t/min
  - **Cutting width:** 2.7–3.8 m
  - **Cutting height:** 1.5–5.0 m
- **Continuous improvement and optimization** remains a central priority, with particular emphasis on the **undercarriage's** need to balance mobility and stability under harsh conditions.

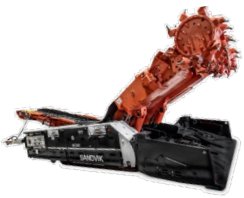


Figure 1: Sandvik MC350 [1]

- In a joint project, a **simulation-driven** study of the **MC350** (Figure 1) undercarriage is **analyzed under realistic operating conditions to uncover potential design enhancements**.

Objective

- Analysis of the undercarriage **running behavior** and **loads distribution** on the MC350 undercarriage under variation of:
  - **Track tensioning**
  - **Manufacturing and assembly tolerances**
  - **Track wear conditions**
- **Derivation targeted optimization measures** based on analysis results

Method

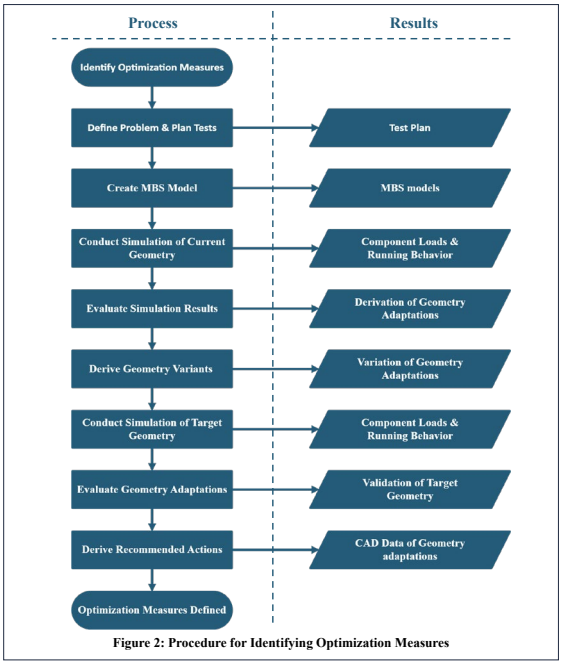


Figure 2: Procedure for Identifying Optimization Measures

Modelling

- The MC350 **undercarriage modelled** using a detailed **Multi-body simulation (MBS)** approach in **Hexagon Adams,** built straight from the machine's CAD data (see Figure 3).
- **CAD geometry** undergoes **preprocessing** and **simplification (geometry reduction)** to retain critical features while ensuring **simulation performance.**
- This reduced geometry is **imported into Hexagon Adams**, where the undercarriage's mechanical structure **is reconstructed with the necessary constraint and coupling elements** for the **simulation studies**.

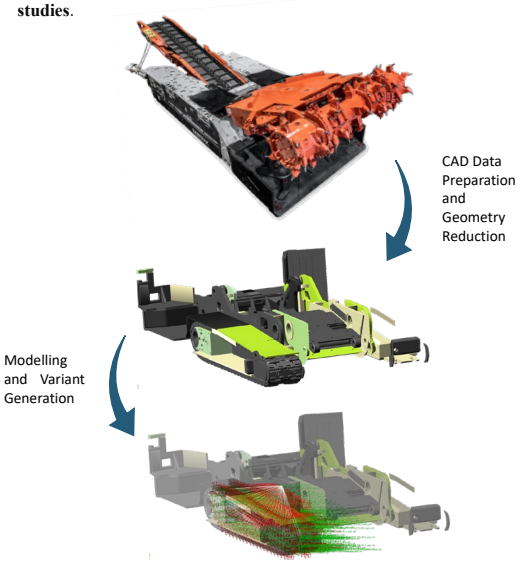


Figure 3: Modelling Steps: Real Machine [1] → MBS Model

The following **variations** are considered in the **modelling**:

- **Clearance between track link and track pin (geometric)**
  - **Manufacturing-induced** clearance
  - **Wear-induced** clearance
- Utilization of **manufacturing** and **assembly tolerances**
  - Guide and wear plates
  - Drive unit
- **Variation of tensioning force**

Results & Outlook

- **Operational behavior** and **load conditions of the as-built geometry** under **manufacturing** and **assembly tolerances** and **various wear states**
- **Geometry adjustments** to **improve** the **entry and exit behavior** of the **track** in the **drive station**
- **Adaptation of the guide-plate geometry** to **optimize the contact formation** between track link and ground

Literature

[1] Sandvik GmbH, „Shaping the future of underground continuous mining solutions in mechanical cutting," ProdPres_MC350_2024.830_rev0, Mai 2024.

[1] Graz University of Technology – Institute of Logistics Engineering
[2] Sandvik Mining and Construction G.m.b.H.

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz
Graz University of Technology

Introduction

- **Sandvik Mining and Construction G.m.b.H.** is counted among the **world's leading suppliers of machines for mining and tunnelling.**
- Its Continuous Miner series (MC250–MC470) delivers [1]:
  - **Cutting power:** 175–540 kW
  - **Loading capacity**: 15–45 t/min
  - **Cutting width:** 2.7–3.8 m
  - **Cutting height:** 1.5–5.0 m
- **Continuous improvement and optimization** remains a central priority, with particular emphasis on the **undercarriage's** need to balance mobility and stability under harsh conditions.

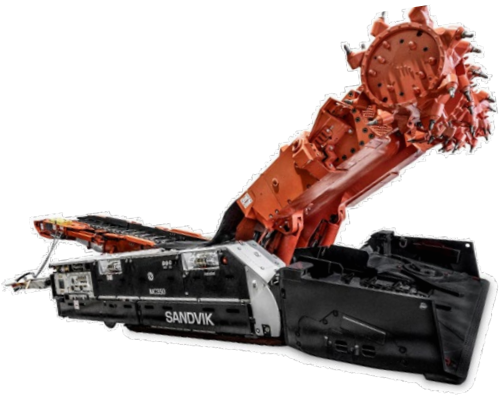


Figure 1: Sandvik MC350 [1]

- In a joint project, a **simulation-driven** study of the **MC350** (Figure 1) undercarriage is **analyzed under realistic operating conditions to uncover potential design enhancements**.

Objective

- Analysis of the undercarriage **running behavior** and **loads distribution** on the MC350 undercarriage under variation of:
  - **Track tensioning**
  - **Manufacturing and assembly tolerances**
  - **Track wear conditions**
- **Derivation targeted optimization measures** based on analysis results

Method

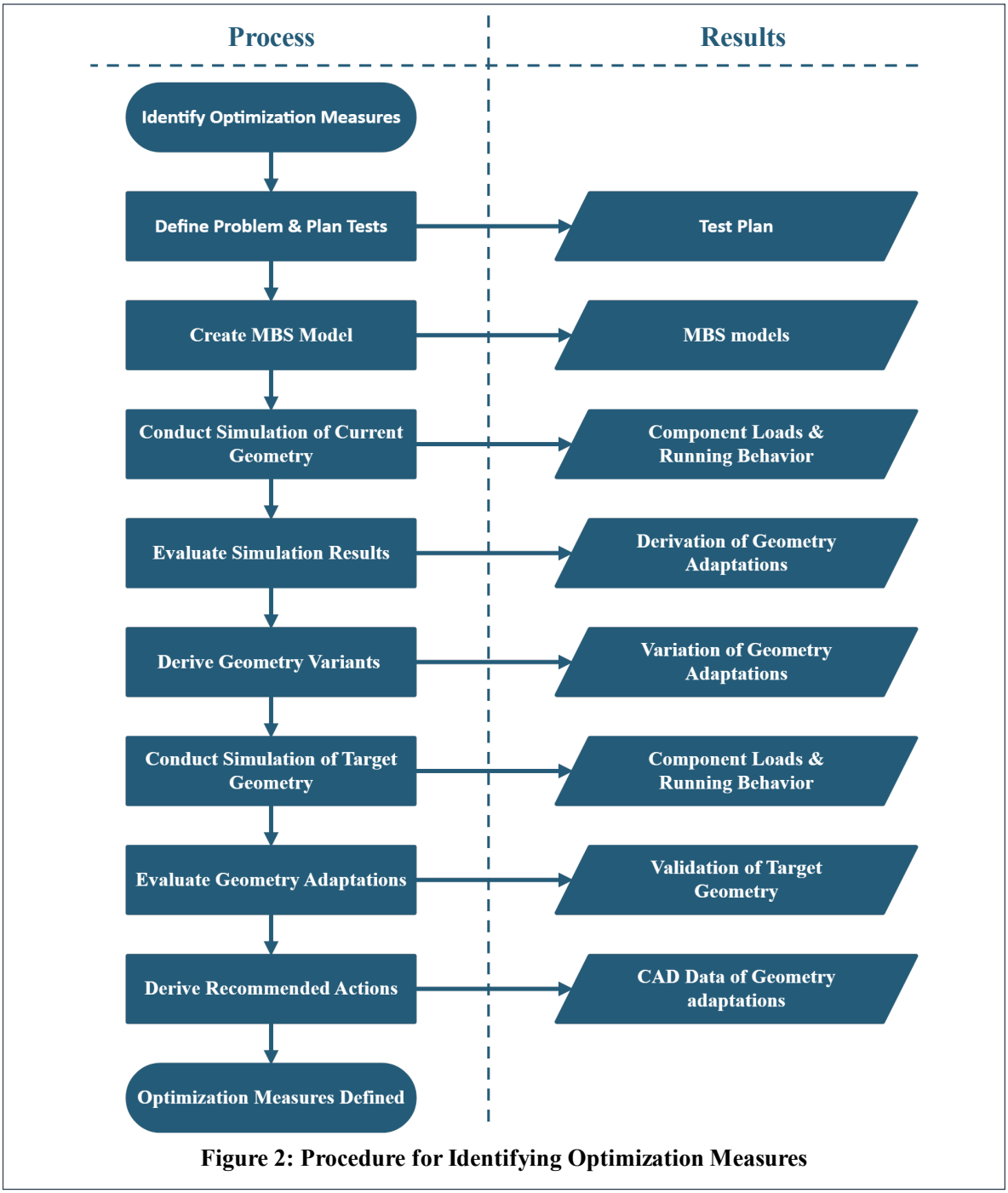


Figure 2: Procedure for Identifying Optimization Measures

Modelling

- The MC350 **undercarriage modelled** using a detailed **Multi-body simulation (MBS)** approach in **Hexagon Adams,** built straight from the machine's CAD data (see Figure 3).
- **CAD geometry** undergoes **preprocessing** and **simplification (geometry reduction)** to retain critical features while ensuring **simulation performance.**
- This reduced geometry is **imported into Hexagon Adams**, where the undercarriage's mechanical structure **is reconstructed with the necessary constraint and coupling elements** for the **simulation studies**.

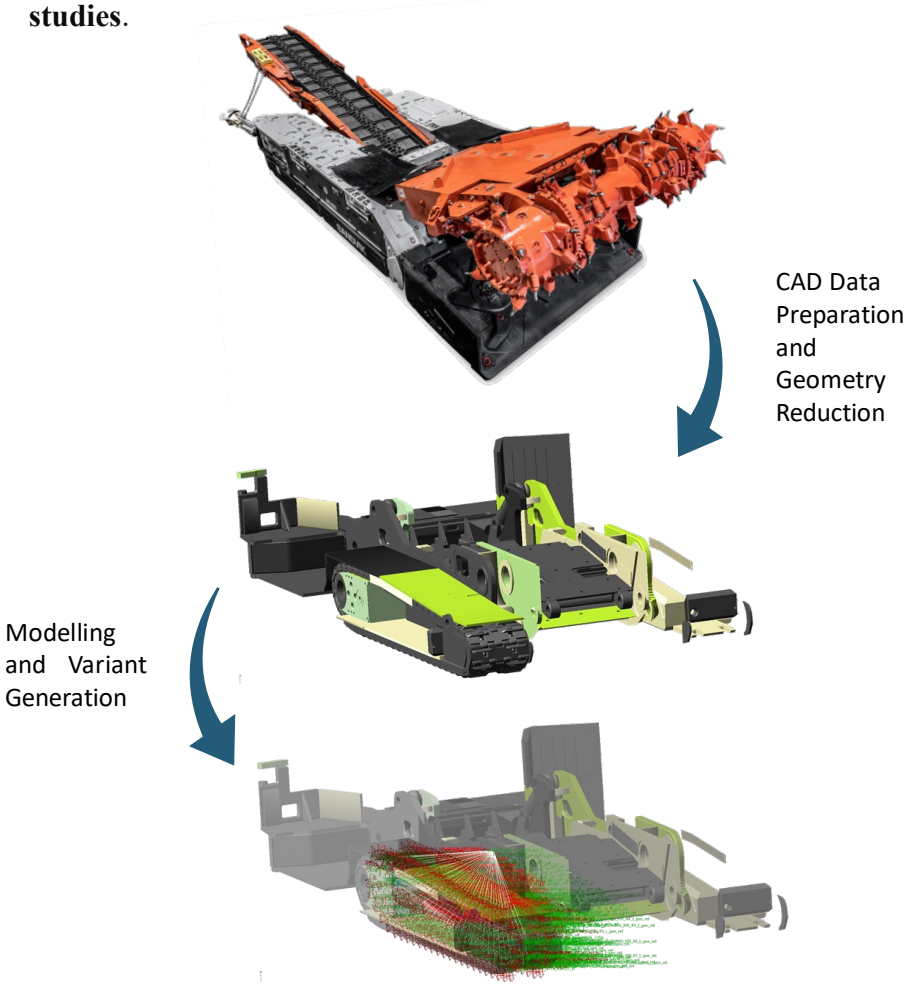


Figure 3: Modelling Steps: Real Machine [1] → MBS Model

The following **variations** are considered in the **modelling**:

- **Clearance between track link and track pin (geometric)**
  - **Manufacturing-induced** clearance
  - **Wear-induced** clearance
- Utilization of **manufacturing** and **assembly tolerances**
  - Guide and wear plates
  - Drive unit
- **Variation of tensioning force**

Results & Outlook

- **Operational behavior** and **load conditions of the as-built geometry** under **manufacturing** and **assembly tolerances** and **various wear states**
- **Geometry adjustments** to **improve** the **entry and exit behavior** of the **track** in the **drive station**
- **Adaptation of the guide-plate geometry** to **optimize the contact formation** between track link and ground

Literature

[1] Sandvik GmbH, „Shaping the future of underground continuous mining solutions in mechanical cutting,“ ProdPres_MC350_2024.830_rev0, Mai 2024.

Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: DEM-Based Analysis of an innovative Loading Concept

Gabriel Leitner[1], Alexander-Ortner Pichler[1], Christian Landschützer[1], Hubert Kargl[2]

Institut für Technische Logistik

SANDVIK

Introduction

Challenges in Hard Rock Tunnel Excavation [1]

- Mechanical excavation of **hard rock** (>150 MPa UCS) is technically demanding and economically limited in applicability
  - Conventional road headers are flexible (small turning radii), but fail under high rock strength and abrasiveness
  - Tunnel boring machines handle high rock strengths but require large radii, limiting its flexibility
- A **technological gap** exists for continuous methods in confined space with high rock strength
- The Rapid Mine Development System MX650 was designed to address this gap – its successor, the MX MK2, builds upon this approach
- In contrast to the original concept using continuous transfer with spinners, the material transport is now performed **discontinuously** using a **loading bucket**

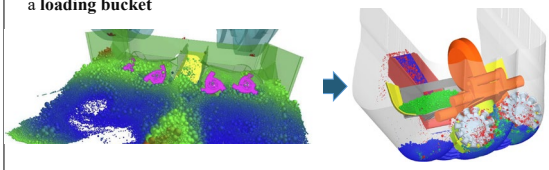


Figure 1: From Continuous to Discrete Material Transport

Objective

- Simulative verification of **functionality and efficiency** of the new loading system
- Investigation of the **material flow** from the cutting face to the handoff point at the conveyor
- Evaluation under **varying scenarios** to assess system robustness
- Derivation of **structural** and **control-oriented optimization measures**

Method

Requirements Analysis:
System-wide analysis, definition of system boundaries, formulation of simulation goals, collection of input data

Modelling:
Creation and preparation of the CAD model, integration into the DEM environment, definition of the kinematics and material properties.

Simulation Study:
Execution of several cutting cycles to identify a stationary loading behaviour, evaluation of the bulk material distribution, identification of critical zones.

Parameter Studies:
Investigation of several variants to optimize the loading system.

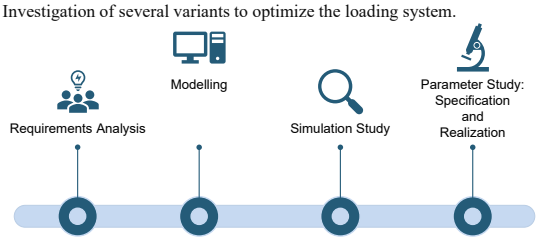


Figure 2: Methodology for Simulative Analysis of the Loading System

Modelling

- Simplification of CAD data into a DEM-suitable geometry model
- Implementation and verification of system kinematics
- Particle generation at the cutting face, based on realistic cutting rate and particle properties (form, size distribution, density)

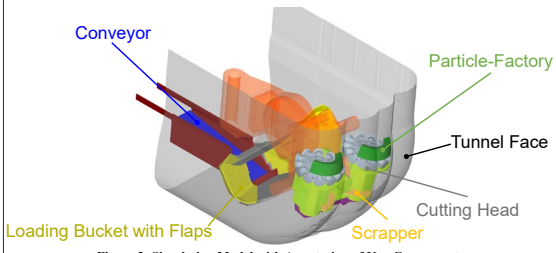


Figure 3: Simulation Model with Annotation of Key Components

Results

Spinners
- Too much material between the loading unit and the face
  - ➢ Secondary shredding
- Handling of large chunks with table not easy
- Dead zones

Extended loading flaps
- Improve emptying of the bucket considerably

Scrapper
- Effective to improve material transport to the bucket

Shaking the bucket
- Enables bucket emptying even with high wall friction values

Edges or geometric steps on the loading unit should be avoided

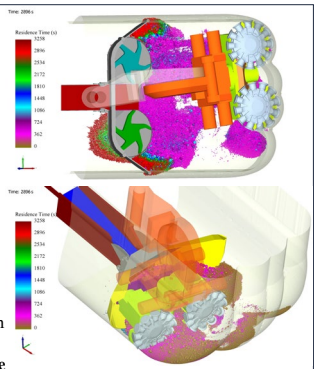


Figure 4: Simulation Snapshots comparing Spinner and Loading Bucket (Variant n)

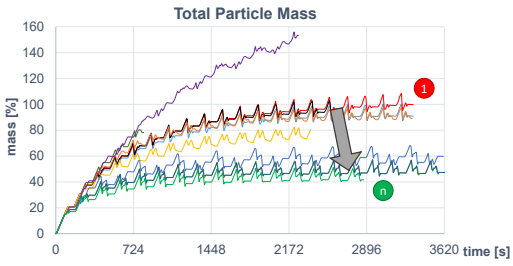


Figure 5: Total Particle Mass over Time. Variant 1 (red) as Reference, Variant n (green) with most efficient Material Transport. Scaling relative to Variant 1.

Literature

[1] N. Sifferlinger, P. Hartlieb, and P. Moser, „The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods“, BHM Berg- Hüttenmänn. Monatshefte, Jän. 2017, doi: 10.1007/s00501-017-0574-y.

[1] Graz University of Technology – Institute of Logistics Engineering
[2] Sandvik Mining and Construction G.m.b.H.

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz
Graz University of Technology

Introduction

Challenges in Hard Rock Tunnel Excavation [1]

- Mechanical excavation of **hard rock** (>150 MPa UCS) is technically demanding and economically limited in applicability
  - Conventional road headers are flexible (small turning radii), but fail under high rock strength and abrasiveness
  - Tunnel boring machines handle high rock strengths but require large radii, limiting its flexibility
- A **technological gap** exists for continuous methods in confined space with high rock strength
- The Rapid Mine Development System MX650 was designed to address this gap – its successor, the MX MK2, builds upon this approach
- In contrast to the original concept using continuous transfer with spinners, the material transport is now performed **discontinuously** using a **loading bucket**

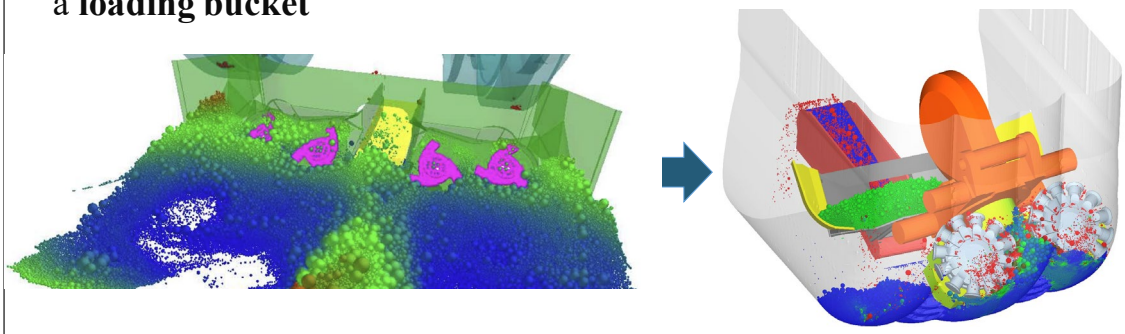


Figure 1: From Continuous to Discrete Material Transport

Objective

- Simulative verification of **functionality and efficiency** of the new loading system
- Investigation of the **material flow** from the cutting face to the handoff point at the conveyor
- Evaluation under **varying scenarios** to assess system robustness
- Derivation of **structural** and **control-oriented optimization measures**

Method

Requirements Analysis:
System-wide analysis, definition of system boundaries, formulation of simulation goals, collection of input data

Modelling:
Creation and preparation of the CAD model, integration into the DEM environment, definition of the kinematics and material properties.

Simulation Study:
Execution of several cutting cycles to identify a stationary loading behaviour, evaluation of the bulk material distribution, identification of critical zones.

Parameter Studies:
Investigation of several variants to optimize the loading system.

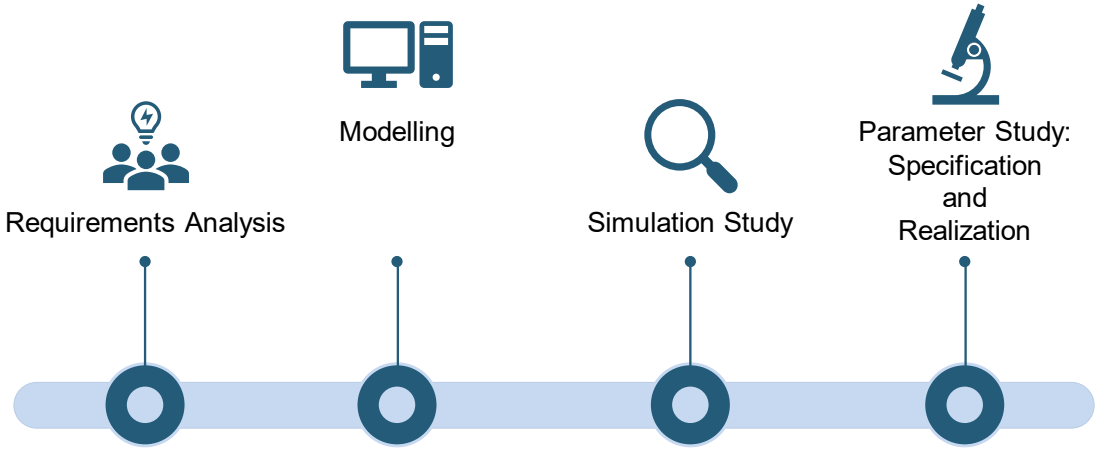


Figure 2: Methodology for Simulative Analysis of the Loading System

- Simplification of CAD data into a DEM-suitable geometry model
- Implementation and verification of system kinematics
- Particle generation at the cutting face, based on realistic cutting rate and particle properties (form, size distribution, density)

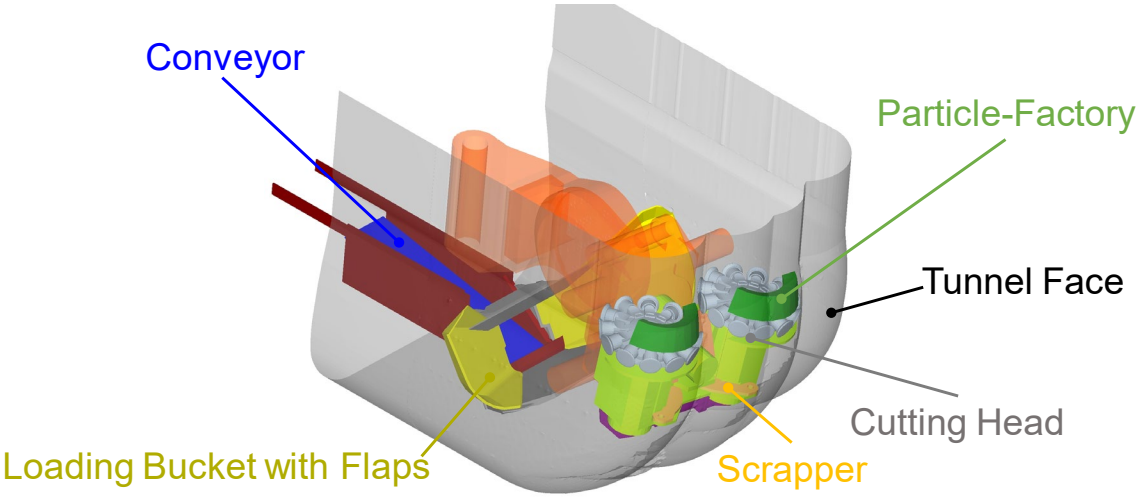


Figure 3: Simulation Model with Annotation of Key Components

Results

Spinners

- Too much material between the loading unit and the face
  - ➢ Secondary shredding
- Handling of large chunks with table not easy
- Dead zones

Extended loading flaps

- Improve emptying of the bucket considerably

Scrapper

- Effective to improve material transport to the bucket

Shaking the bucket

- Enables bucket emptying even with high wall friction values

Edges or geometric steps on the loading unit should be avoided

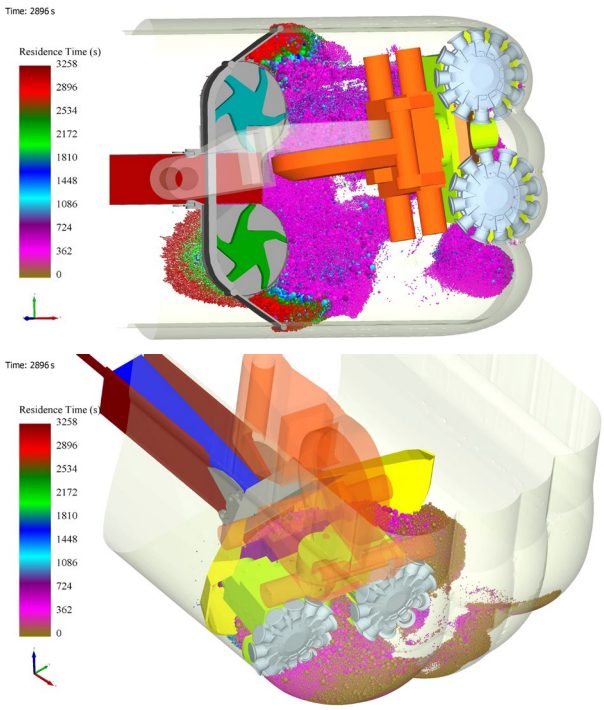


Figure 4: Simulation Snapshots comparing Spinner and Loading Bucket (Variant n)

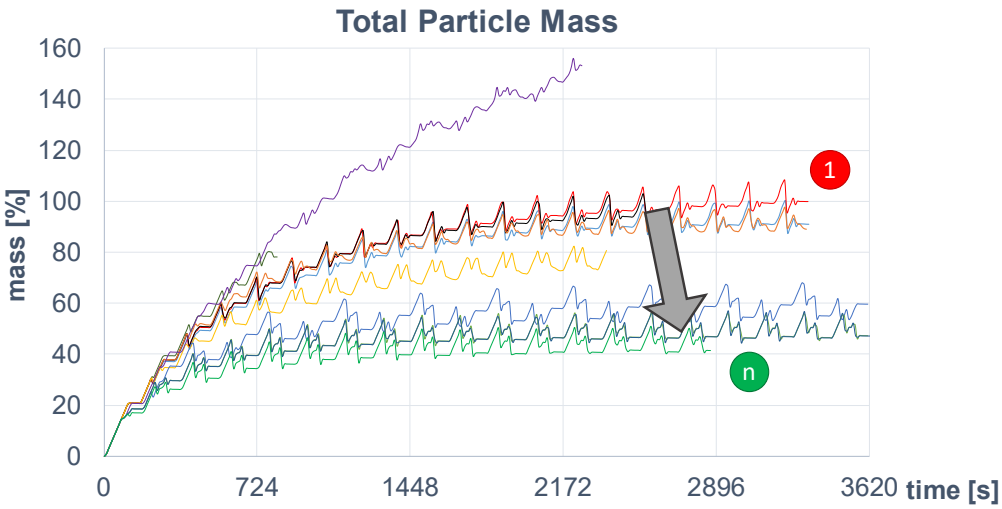


Figure 5: Total Particle Mass over Time. Variant 1 (red) as Reference, Variant n (green) with most efficient Material Transport. Scaling relative to Variant 1.

Literature

[1] N. Sifferlinger, P. Hartlieb, and P. Moser, „The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods“, BHM Berg- Hüttenmänn. Monatshefte, Jän. 2017, doi: 10.1007/s00501-017-0574-y.

Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: Methodological Design and Mobility Concepts

Gabriel Leitner[1], Patrick Kröpfl[1], Alexander-Ortner Pichler[1], Christian Landschützer[1], Hubert Kargl[2]

Institut für Technische Logistik

SANDVIK

Introduction

- Mechanical rock excavation methods reach their technical and economic limits at **high strengths** (>150 MPa UCS) and **tight tunnel** radii (<12 m). As Sifferlinger et al. [1] show, there is a significant **technology gap** for continuous, flexible tunnelling solutions in hard rock.
- The MX650 Rapid Mine Development System addresses this **technology gap**. In addition to challenges in material removal and transport, **manoeuvring** in the confined tunnel space is a key difficulty [2].

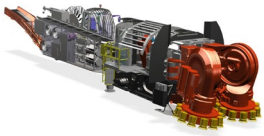


Figure 1: Sandvik MX650 [1]

- In order to achieve the required manoeuvrability, a systematic approach is used that pursues a **virtual engineering** approach that uses digital methods for analysis and optimization.

Objective

- The aim of this study is to determine the feasibility of **moving a two-part machine** with a total mass of approximately **300 tonnes** through a **narrow tunnel**.
- The most promising variants will be subjected to **detailed kinematic** and **kinetic analyses**; in addition, control concepts will be tested.
- The overall objective of this study is to conduct a comprehensive analysis of the **movement behaviour** of the entire machine.

Method

Literature Review
- Systematic collection, analysis and processing of relevant scientific and technical literature to evaluate existing technologies, research findings and fields of innovation.

Concept Development
- Development and evaluation of potential solution concepts, preliminary testing with regard to technical characteristics and design constraints, documentation for suitability assessment.

Kinematic Analysis
- Investigation of the theoretical motion capability of the overall solution concepts by defining relevant degrees of freedom and performing kinematic analyses.

Kinetic Analysis
- Evaluation of the acting forces and moments within the solution concepts to assess the structural load and mechanical feasibility.

Control Engineering
- Testing various control concepts using different application scenarios.

Results

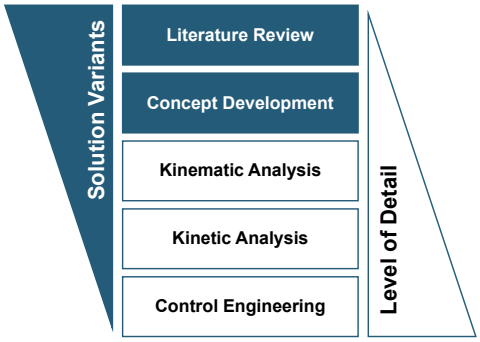


Figure 2: Illustration of the Reduction of Solution Variants with increasing Level of Detail in the Course of the Methodology

Literature Review:
The review deals with the core topics shown in Figure 3 and is intended to identify solution concepts that have not been considered.

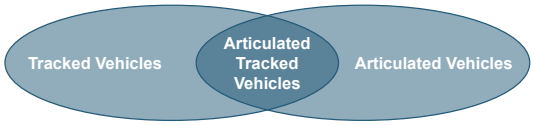


Figure 3: Overview of the researched Literature Areas on Mobility Concepts

Concept development:
Over 1000 potential variants were generated on the basis of the concepts researched. These were systematically evaluated and filtered in order to identify a limited selection of promising variants that serve as a starting point for further analyses.

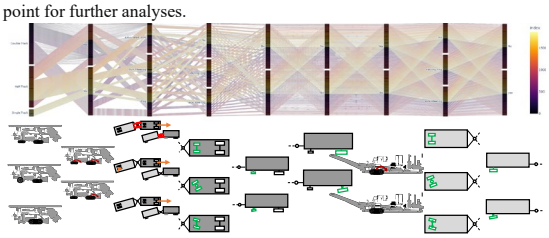


Figure 4: Overview of the Solution Concepts and their Combination

Outlook

Promising overall solution concepts are subjected to a detailed kinematic analysis and then a kinetic evaluation.

Literature

[1] N. Sifferlinger, P. Hartlieb, and P. Moser, „The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods“, BHM Berg- Hüttenmänn. Monatshefte, Jän. 2017, doi: 10.1007/s00501-017-0574-y.
[2] G. Leitner, A. Ortner-Pichler, C. Landschützer und H. Kargl, „Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: DEM-Based Analysis of an innovative Loading Concept “, Logistikwerkstatt Graz, Mai 2025.

[1] Graz University of Technology – Institute of Logistics Engineering
[2] Sandvik Mining and Construction G.m.b.H.

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz
Graz University of Technology

Introduction

- Mechanical rock excavation methods reach their technical and economic limits at **high strengths** (>150 MPa UCS) and **tight tunnel** radii (<12 m). As Sifferlinger et al. [1] show, there is a significant **technology gap** for continuous, flexible tunnelling solutions in hard rock.
- The MX650 Rapid Mine Development System addresses this **technology gap**. In addition to challenges in material removal and transport, **manoeuvring** in the confined tunnel space is a key difficulty [2].

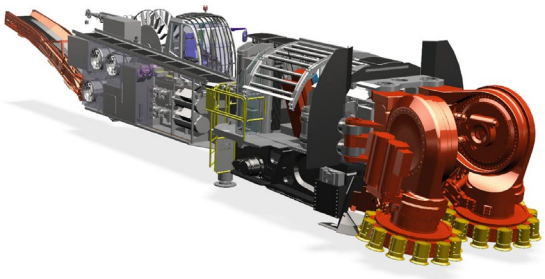


Figure 1: Sandvik MX650 [1]

- In order to achieve the required manoeuvrability, a systematic approach is used that pursues a **virtual engineering** approach that uses digital methods for analysis and optimization.

Objective

- The aim of this study is to determine the feasibility of **moving a two-part machine** with a total mass of approximately **300 tonnes** through a **narrow tunnel**.
- The most promising variants will be subjected to **detailed kinematic** and **kinetic analyses**; in addition, control concepts will be tested.
- The overall objective of this study is to conduct a comprehensive analysis of the **movement behaviour** of the entire machine.

Method

Literature Review

- Systematic collection, analysis and processing of relevant scientific and technical literature to evaluate existing technologies, research findings and fields of innovation.

Concept Development

- Development and evaluation of potential solution concepts, preliminary testing with regard to technical characteristics and design constraints, documentation for suitability assessment.

Kinematic Analysis

- Investigation of the theoretical motion capability of the overall solution concepts by defining relevant degrees of freedom and performing kinematic analyses.

Kinetic Analysis

- Evaluation of the acting forces and moments within the solution concepts to assess the structural load and mechanical feasibility.

Control Engineering

- Testing various control concepts using different application scenarios.

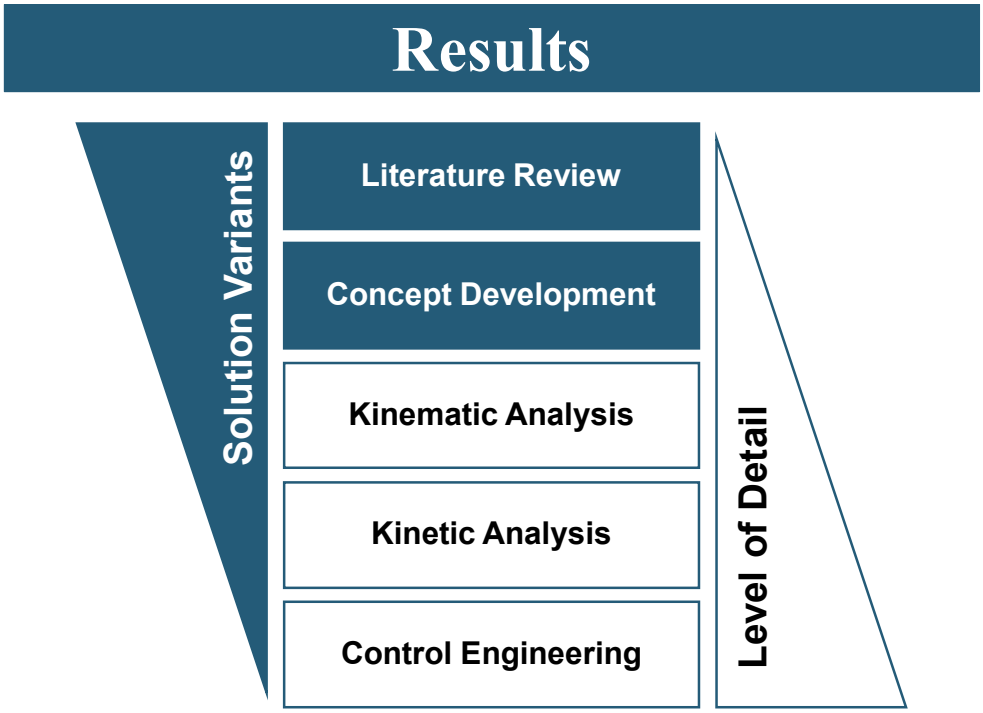
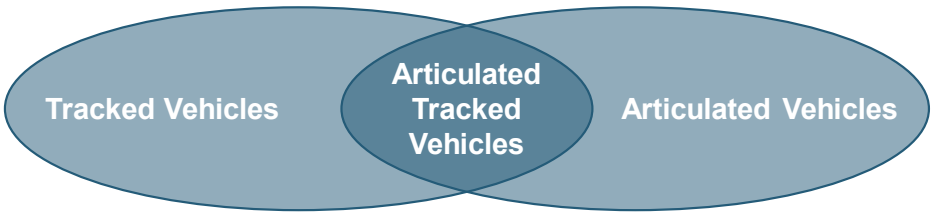


Figure 2: Illustration of the Reduction of Solution Variants with increasing Level of Detail in the Course of the Methodology

Literature Review:
The review deals with the core topics shown in Figure 3 and is intended to identify solution concepts that have not been considered.



Concept development:
Over 1000 potential variants were generated on the basis of the concepts researched. These were systematically evaluated and filtered in order to identify a limited selection of promising variants that serve as a starting point for further analyses.

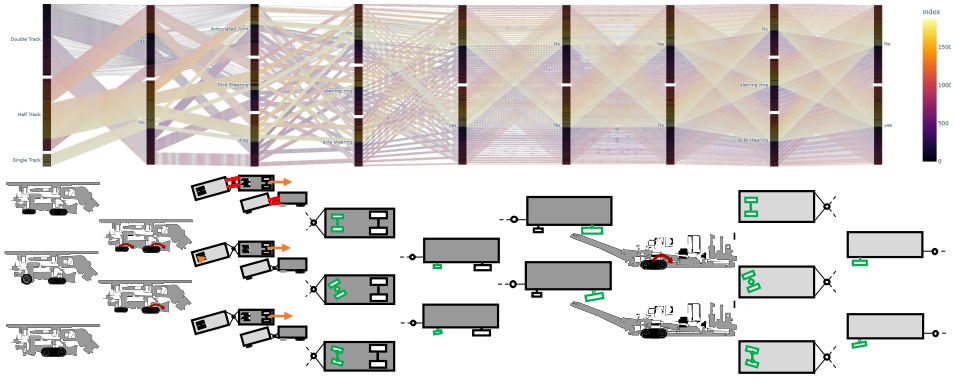


Figure 4: Overview of the Solution Concepts and their Combination

Outlook

Promising overall solution concepts are subjected to a detailed kinematic analysis and then a kinetic evaluation.

Literature

[1] N. Sifferlinger, P. Hartlieb, and P. Moser, „The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods“, BHM Berg- Hüttenmänn. Monatshefte, Jän. 2017, doi: 10.1007/s00501-017-0574-y.

[2] G. Leitner, A. Ortner-Pichler, C. Landschützer und H. Kargl, „Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: DEM-Based Analysis of an innovative Loading Concept “, Logistikwerkstatt Graz, Mai 2025.

Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: Kinematic and Kinetic Analysis

Patrick Kröpfl[1], Gabriel Leitner[1], Alexander Ortner-Pichler[1], Christian Landschützer[1], Hubert Kargl[2]

Institut für Technische Logistik

SANDVIK

Introduction

- **Sandvik MX650 MK2** is a **mechanical tunnelling and extraction system for hard rock** that combines the maneuverability of road headers with the high throughput of disc-cutters and operates completely without explosives [1].
- After the fundamental design decisions described in [2], the Institute of Logistics Engineering supports the **validation of the machine's mobility by means of Multi-body simulation**.
- The complexity of this analysis arises from the fact that the machine consists of two parts**, each with separate tracked undercarriage,** which are connected by a coupling (see Figure 1).

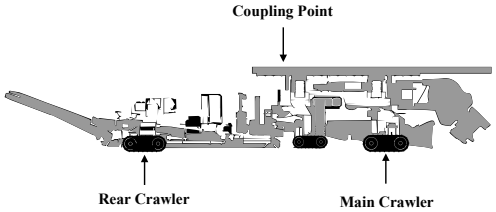


Figure 1: Basic Concept MX650 MK2

Objective

- Development of **kinematic models** that - under **specified boundary conditions** ensure - the **required mobility of the machine**
- **Verification** of the developed concepts via Multi-body simulations to **confirm mobility while accounting for kinetic effects**

Method

The method builds on the approach defined in [2]. The focus (Figure 2) is on **kinematic** and **kinetic analysis** of the **design variants**. A **step-by-step reduction of solution variants** is performed as the level of detail in the investigations increases.

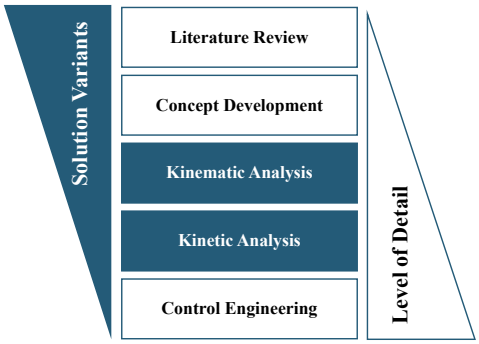


Figure 2: Methodology for Virtual Engineering in the Machine Development MX650 MK2 [2]

Results

Kinematics:
Based on the machine's overall **dimensions** and the **boundary conditions** in the **mine tunnel**, the solution variants that meet the requirements are examined. For each variant, the **minimal set of control parameters** and the **corresponding velocity profiles of the tracked undercarriages** are determined (Figure 3).

Control Parameters:
- Velocity of the tracked undercarriages
- Turning angle
- Articulation angle

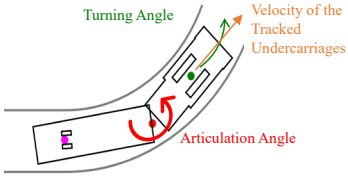


Figure 3: Kinematic - Simplified Model

Kinetics:
In the kinetic investigation, the remaining design variants are **evaluated in terms of their mobility, taking into account the reaction forces that occur**. To cover the **various loading situations**, the following **driving scenarios** are considered:
- Reverse driving uphill (Figure 4, Scenario 1) and forward driving downhill (Figure 4, Scenario 2)
- Cornering
- Skid steering

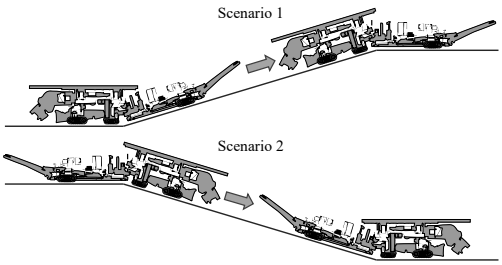


Figure 4: Kinematic – Simulated Driving Scenarios

Outlook

- Implement a **control scheme in the Multi-body** simulation
- Augment the **kinematic models with kinetic effects** (e.g. slip)
- Simulate the **control scheme to assess its impact and effectiveness**

Literature

[1] N. Sifferlinger, P. Hartlieb, und P. Moser, „The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods", BHM Berg- Hüttenmänn. Monatshefte, Jän. 2017, doi: 10.1007/s00501-017-0574-y.
[2] G. Leitner, P. Kröpfl, A. Ortner-Pichler, C. Landschützer und H. Kargl, „Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: Methodological Design and Mobility Concepts", Logistikwerkstatt Graz, Mai 2025.

[1] Graz University of Technology – Institute of Logistics Engineering
[2] Sandvik Mining and Construction G.m.b.H.

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz
Graz University of Technology

Introduction

- **Sandvik MX650 MK2** is a **mechanical tunnelling and extraction system for hard rock** that combines the maneuverability of road headers with the high throughput of disc-cutters and operates completely without explosives [1].

- After the fundamental design decisions described in [2], the Institute of Logistics Engineering supports the **validation of the machine's mobility by means of Multi-body simulation**.

- The complexity of this analysis arises from the fact that the machine consists of two parts**, each with separate tracked undercarriage,** which are connected by a coupling (see Figure 1).

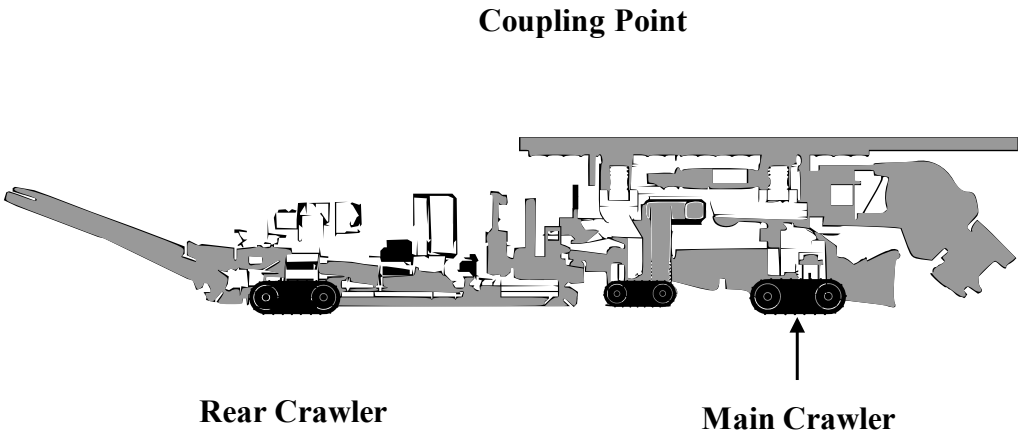


Figure 1: Basic Concept MX650 MK2

Objective

- Development of **kinematic models** that - under **specified boundary conditions** ensure - the **required mobility of the machine**
- **Verification** of the developed concepts via Multi-body simulations to **confirm mobility while accounting for kinetic effects**

Method

The method builds on the approach defined in [2]. The focus (Figure 2) is on **kinematic** and **kinetic analysis** of the **design variants**. A **step-by-step reduction of solution variants** is performed as the level of detail in the investigations increases.

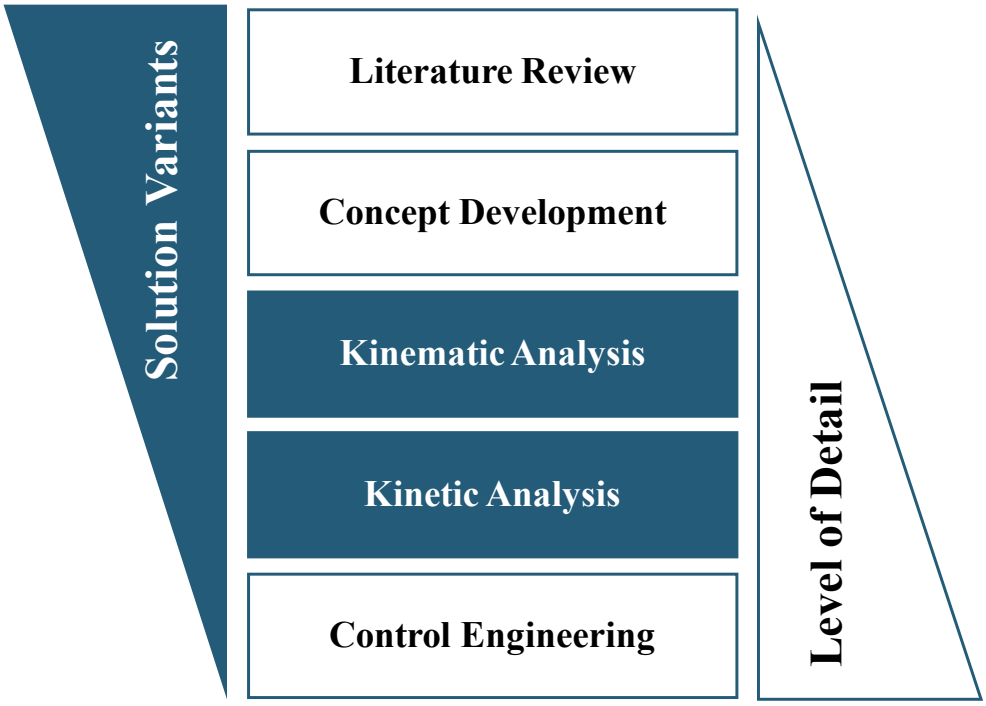


Figure 2: Methodology for Virtual Engineering in the Machine Development MX650 MK2 [2]

Results

Kinematics:
Based on the machine's overall **dimensions** and the **boundary conditions** in the **mine tunnel**, the solution variants that meet the requirements are examined. For each variant, the **minimal set of control parameters** and the **corresponding velocity profiles of the tracked undercarriages** are determined (Figure 3).

Control Parameters:
- Velocity of the tracked undercarriages
- Turning angle
- Articulation angle

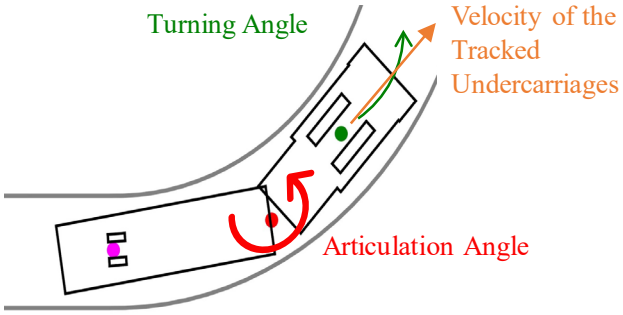


Figure 3: Kinematic - Simplified Model

Kinetics:
In the kinetic investigation, the remaining design variants are **evaluated in terms of their mobility, taking into account the reaction forces that occur**. To cover the **various loading situations**, the following **driving scenarios** are considered:
- Reverse driving uphill (Figure 4, Scenario 1) and forward driving downhill (Figure 4, Scenario 2)
- Cornering
- Skid steering

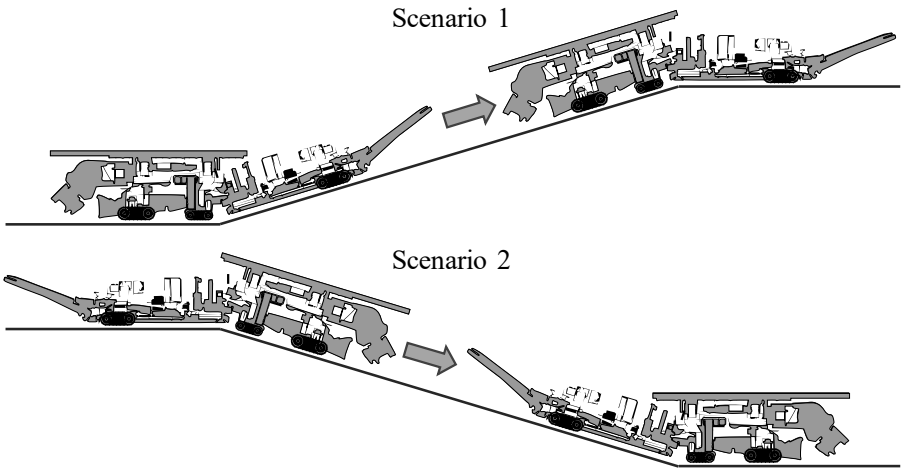


Figure 4: Kinematic – Simulated Driving Scenarios

Outlook

- Implement a **control scheme in the Multi-body** simulation
- Augment the **kinematic models with kinetic effects** (e.g. slip)
- Simulate the **control scheme to assess its impact and effectiveness**

Literature

[1] N. Sifferlinger, P. Hartlieb, und P. Moser, „The Importance of Research on Alternative and Hybrid Rock Extraction Methods“, BHM Berg- Hüttenmänn. Monatshefte, Jän. 2017, doi: 10.1007/s00501-017-0574-y.
[2] G. Leitner, P. Kröpfl, A. Ortner-Pichler, C. Landschützer und H. Kargl, „Virtual Engineering in the Development of a Hard-Rock Tunnelling Machine: Methodological Design and Mobility Concepts”, Logistikwerkstatt Graz, Mai 2025.

Virtual Bulk Handling: Simulating Non-Rigid Parcel Flows for CEP Automation

Dominik Stadlthanner, Gabriel Leitner, Harald Steinkellner

Institut für Technische Logistik

FFG Forschung wirkt.

Introduction

- **Context**: CEP industry is rapidly growing (e-commerce/COVID-driven)
- **Challenge**:
  - Parcel volumes ↑167% in Germany (2000–2023) [1]
  - Shift from rigid boxes → flexible packaging (mixed-mail, e.g., polybags) [2]
- **Automation Gap**:
  - Current systems optimized for cardboard boxes
  - Non-rigid consignments often require manual processing
  - ↑ Damage rates & network inefficiencies

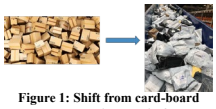


Figure 1: Shift from card-board boxes to mixed-mail [2].

Research Objective

- **Research Gap:** No computational models exist for bulk behavior of non-rigid parcels, limiting automation & sustainable packaging.
- **Goal:** Develop efficient modeling/simulation methods to enable:
  - Virtual prototyping of automated handling systems
  - ↓ Damage rates & support for reusable packaging (circular economy)
- **Scope:** Focus on CEP logistics, with further applications in waste management, agriculture, and other fields.

Methodology

1. **Data Collection & Scenario Definition**
   - Analyze consignment characteristics in parcel hubs
   - Map live mail processes → identify load scenarios (drops, collisions)
   - Synthesize data into test scenarios for simulation
2. **Real-World Experiments**
   - Design and build test rigs and prototype consignments
   - Conduct parametrization (e.g., friction tests) and validation experiments
3. **Simulation Model Development**
   - Derive abstract models (motion, collision dynamics) from empirical data
   - Implement and parametrize models using various approaches (DEM, MFBD, GPU-accelerated robotics sim)
   - Validate against real-world data from step 2
4. **Model Evaluation & Optimization**
   - Compare models via technical-economic benchmarks (accuracy, speed)
   - Sensitivity analyses to identify critical parameters
   - Rank models (accuracy vs. complexity)
5. **Application & Future Perspectives**
   - Propose process improvements
   - Assess feasibility of simulation approaches for virtual damage/lifespan models in reusable packaging design
   - Identify cross-industry applications

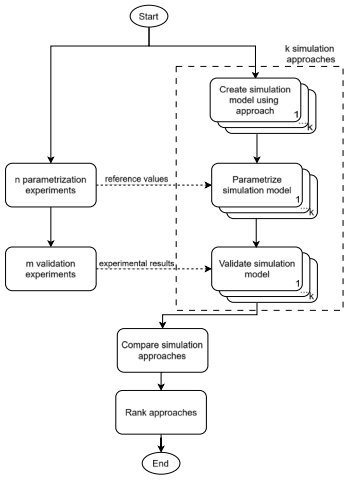


Figure 2: Flowchart outlining steps 2 to 4 the methodology used in this study.

Results & Outlook

Real-World Experiments

1. **Parametrization experiments**
   - Friction tests: Inter-material coefficients for common packaging types and equipment materials.
   - Bending tests: Deformation characteristics for non-rigid consignments.
   - Collision tests: Impact behavior under hub-relevant conditions.
2. **Validation experiments**
   - 2D bulk segmentation & tracking: Context-aware consignment masking using AI (SAM2 model [3])
   - 3D volumetric tracking: Depth-resolved motion capture via ZED 2i system

Figure 3: 2D-bulk tracking using SAM2 [3].

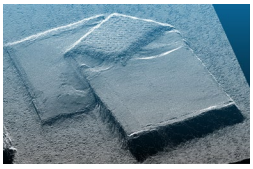


Figure 4: 3D-bulk tracking using depth camera.

Simulation Approaches

Table 1: The different simulation approaches investigated in this study.

Method	Software	Hardware
Multibody Simulation (MBS)	RecurDyn, MSC Adams	CPU
Multi-flexible-body Dynamics (MFBD)	RecurDyn	CPU
Discrete Element Method (DEM)	Altair EDEM	GPU
Finite Element Method (FEM) / Robotics Simulation	MuJoCo, NVIDIA Isaac Sim, Genesis	GPU
Position Based Dynamics (PBD) / Robotics Simulation	NVIDIA Isaac Sim, Genesis	GPU
Material Point Method (MPM) / Robotics Simulation	Genesis	GPU

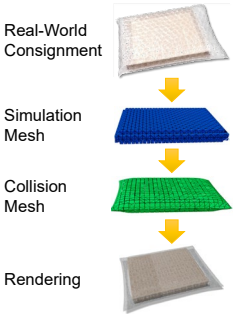


Figure 5: Model of a non-rigid consignment using FEM in Isaac Sim.

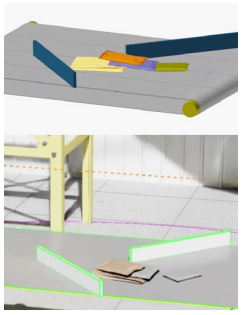


Figure 6: Simulation of non-rigid mixed-mail consignments on a conveyor using MFBD in RecurDyn (top) and FEM in Isaac Sim (bottom).

Literature

[1] K. Esser and J. Kurte, "KEP-Studie 2024 – Analyse des Marktes in Deutschland. Eine Untersuchung im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)," Jul. 2024.
[2] M. Schadler, M. Schedler, M. Knödl, D. Prims, C. Landschützer, and A. Katterfeld, "Characteristics of 'polybags' used for low-value consignments in the mail, courier, express and parcel industry," Logistics Journal, p. 25, 2022.
[3] N. Ravi et al., "SAM 2: Segment Anything in Images and Videos," Oct. 28, 2024, arXiv: arXiv:2408.00714. doi: 10.48550/arXiv.2408.00714.

LogistikWerkstatt Graz

TU Graz Graz University of Technology

Introduction

- **Context**: CEP industry is rapidly growing (e-commerce/COVID-driven)
- **Challenge**:
  - Parcel volumes ↑167% in Germany (2000–2023) [1]
  - Shift from rigid boxes → flexible packaging (mixed-mail, e.g., polybags) [2]
- **Automation Gap**:
  - Current systems optimized for cardboard boxes
  - Non-rigid consignments often require manual processing
  - ↑ Damage rates & network inefficiencies

Figure 1: Shift from card-board boxes to mixed-mail [2].

Research Objective

- **Research Gap:** No computational models exist for bulk behavior of non-rigid parcels, limiting automation & sustainable packaging.
- **Goal:** Develop efficient modeling/simulation methods to enable:
  - Virtual prototyping of automated handling systems
  - ↓ Damage rates & support for reusable packaging (circular economy)
- **Scope:** Focus on CEP logistics, with further applications in waste management, agriculture, and other fields.

Methodology

1. **Data Collection & Scenario Definition**
   - Analyze consignment characteristics in parcel hubs
   - Map live mail processes → identify load scenarios (drops, collisions)
   - Synthesize data into test scenarios for simulation
2. **Real-World Experiments**
   - Design and build test rigs and prototype consignments
   - Conduct parametrization (e.g., friction tests) and validation experiments
3. **Simulation Model Development**
   - Derive abstract models (motion, collision dynamics) from empirical data
   - Implement and parametrize models using various approaches (DEM, MFBD, GPU-accelerated robotics sim)
   - Validate against real-world data from step 2
4. **Model Evaluation & Optimization**
   - Compare models via technical-economic benchmarks (accuracy, speed)
   - Sensitivity analyses to identify critical parameters
   - Rank models (accuracy vs. complexity)
5. **Application & Future Perspectives**
   - Propose process improvements
   - Assess feasibility of simulation approaches for virtual damage/lifespan models in reusable packaging design
   - Identify cross-industry applications

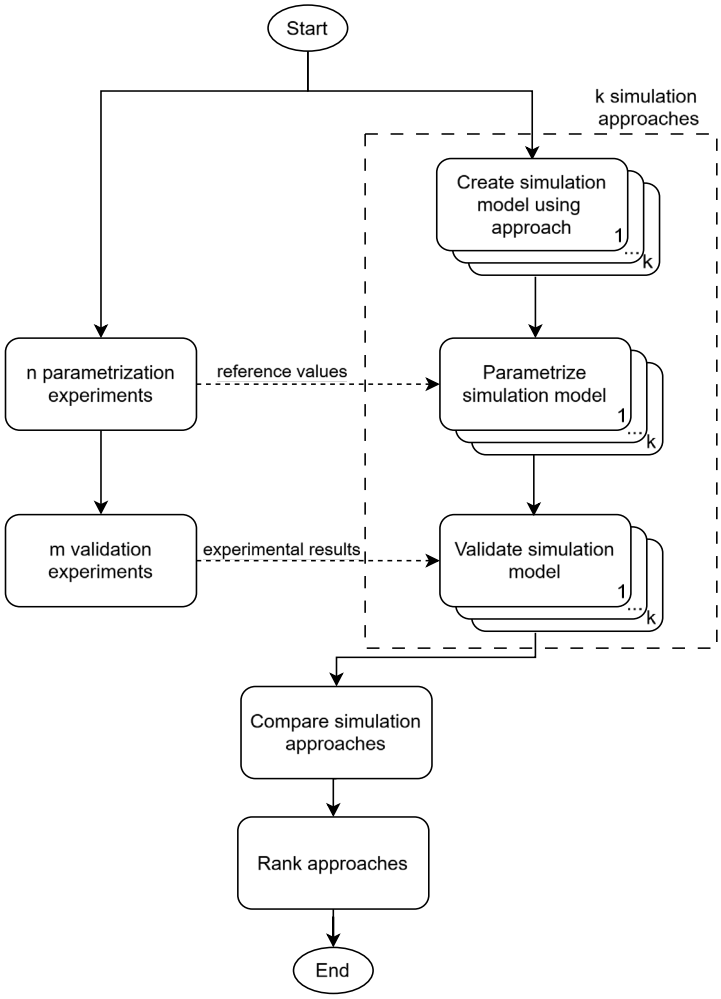


Figure 2: Flowchart outlining steps 2 to 4 the methodology used in this study.

Results & Outlook

Real-World Experiments

1. **Parametrization experiments**
   - Friction tests: Inter-material coefficients for common packaging types and equipment materials.
   - Bending tests: Deformation characteristics for non-rigid consignments.
   - Collision tests: Impact behavior under hub-relevant conditions.
2. **Validation experiments**
   - 2D bulk segmentation & tracking: Context-aware consignment masking using AI (SAM2 model [3])
   - 3D volumetric tracking: Depth-resolved motion capture via ZED 2i system

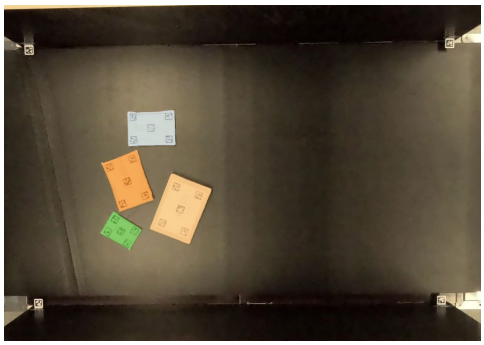


Figure 3: 2D-bulk tracking using SAM2 [3].

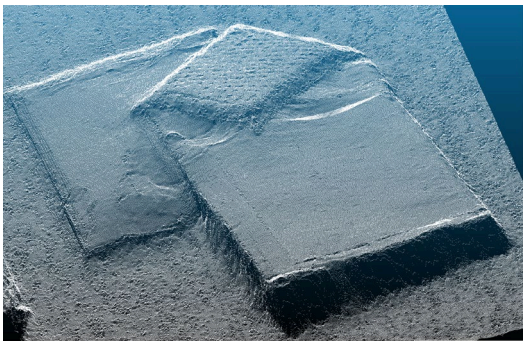


Figure 4: 3D-bulk tracking using depth camera.

Simulation Approaches

Table 1: The different simulation approaches investigated in this study.

Method	Software	Hardware
Multibody Simulation (MBS)	RecurDyn, MSC Adams	CPU
Multi-flexible-body Dynamics (MFBD)	RecurDyn	CPU
Discrete Element Method (DEM)	Altair EDEM	GPU
Finite Element Method (FEM) / Robotics Simulation	MuJoCo, NVIDIA Isaac Sim, Genesis	GPU
Position Based Dynamics (PBD) / Robotics Simulation	NVIDIA Isaac Sim, Genesis	GPU
Material Point Method (MPM) / Robotics Simulation	Genesis	GPU

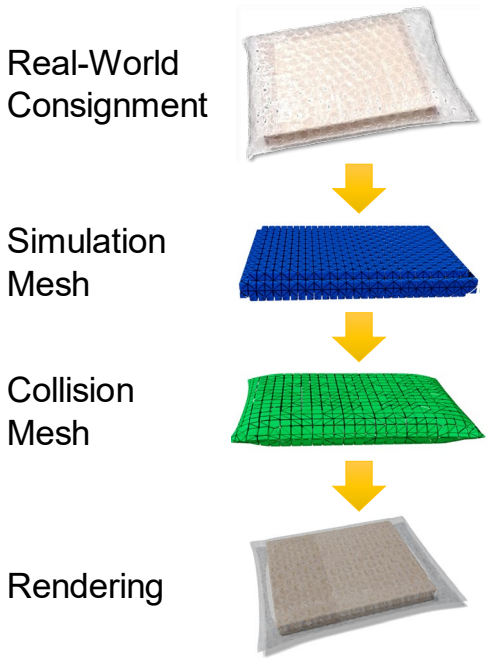


Figure 5: Model of a non-rigid consignment using FEM in Isaac Sim.

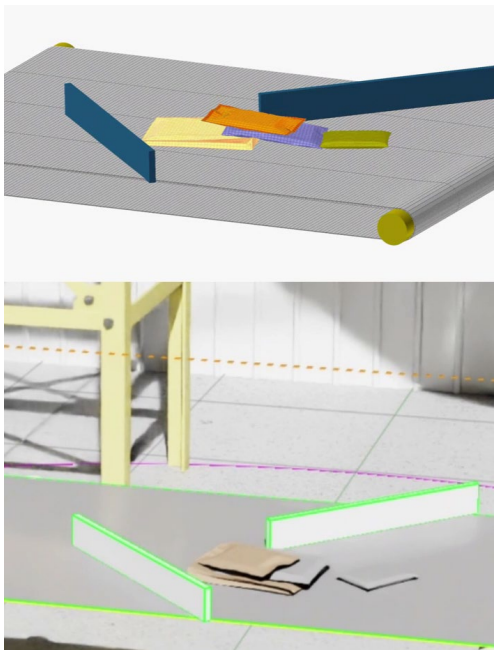


Figure 6: Simulation of non-rigid mixed-mail consignments on a conveyor using MFBD in RecurDyn (top) and FEM in Isaac Sim (bottom).

Literature

[1] K. Esser and J. Kurte, "KEP-Studie 2024 – Analyse des Marktes in Deutschland. Eine Untersuchung im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK)," Jul. 2024.
[2] M. Schadler, M. Schedler, M. Knödl, D. Prims, C. Landschützer, and A. Katterfeld, "Characteristics of 'polybags' used for low-value consignments in the mail, courier, express and parcel industry," Logistics Journal, p. 25, 2022.
[3] N. Ravi et al., "SAM 2: Segment Anything in Images and Videos," Oct. 28, 2024, arXiv: arXiv:2408.00714. doi: 10.48550/arXiv.2408.00714.