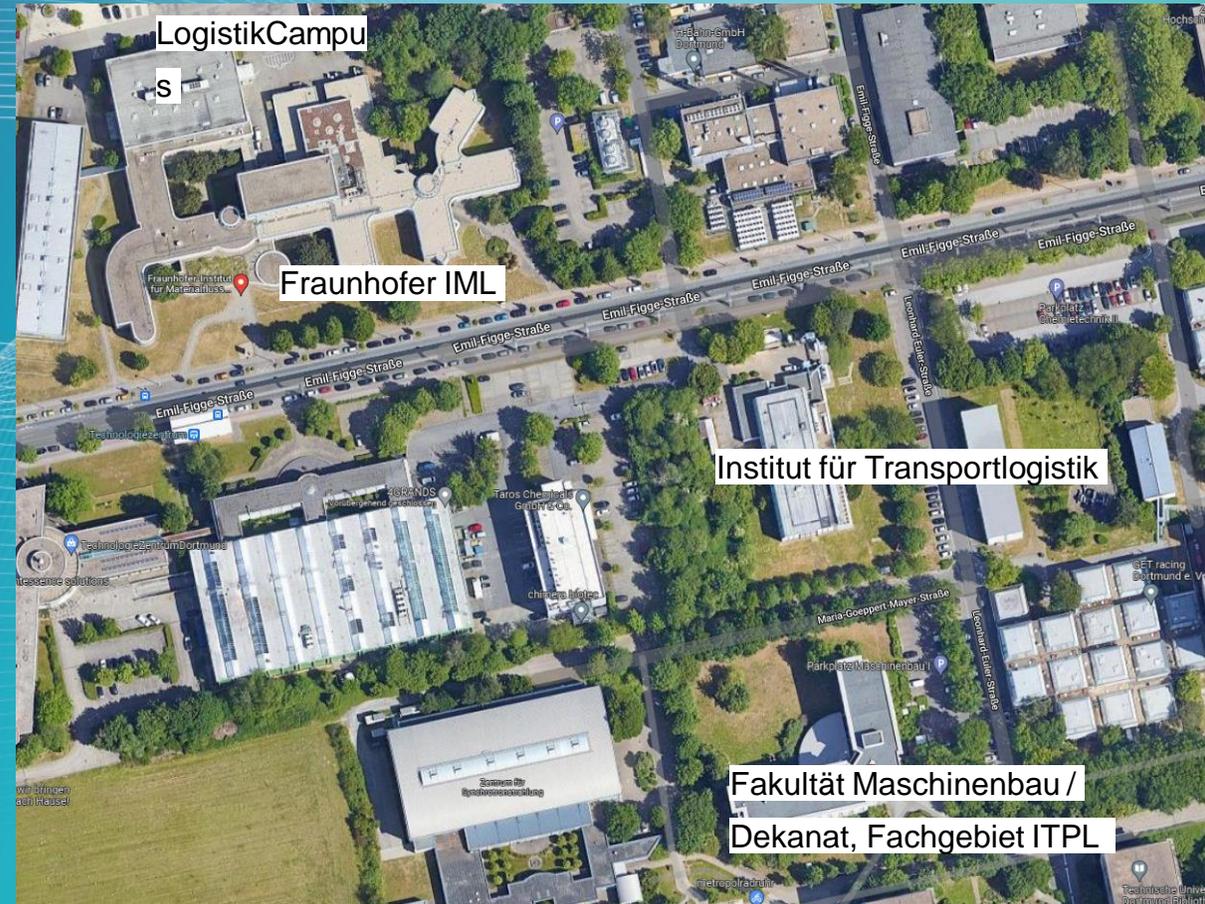


Kolloquium

**„Das dritte Dutzend ist voll – 36 Jahre
Simulationstechnik und was noch kommen
soll“**

Transportlogistik und Simulation

Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen · 29. September 2022



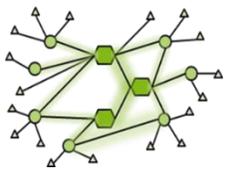
Wie wir, das Institut für Transportlogistik, ... mit wem ... forschen?

Kompetenzfelder am ITL



Mathematische Optimierung

- Netzplanung und Transportplanung
- Personaleinsatz- und Ressourcenplanung
- Touren- & Routenplanung
- Yard Management & Torbelegung



Netze & Standorte



Transporte

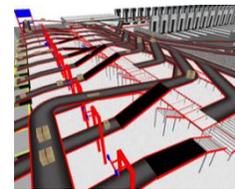


Simulation und Logistics Engineering

- Entwicklung und Bewertung von Betriebsstrategien
- Layout- & Flächenplanung
- Durchsatz- & Grenzleistungsermittlung
- Ressourcenauswahl & -management



Stückgutumschlag



Paketsortieranlagen

VOLKSWAGEN Logistics

DB SCHENKER



Verkehrsmodellierung und Prozessplanung

- Mikro- und makroskopische Güter- und Wirtschaftsverkehrsmodellierung
- Analyse und Entwicklung von Daten zu Güterverkehrsangebot und -nachfrage
- Analyse und Verbesserung von Geschäftsprozessen



Prozessmodellierung



Verkehrsmodellierung



Gegenstand der Transportlogistik

1

**Beförderung von Gütern
außerhalb betrieblicher Standorte**

2

**Planung und Steuerung des
Gütertransportes**

3

Gestaltung von Transportketten (auch
durch Verknüpfung von Verkehrsträgern)

4

**Befriedigung der Kundennachfrage
durch Bereitstellung von Gütern**

5

**Organisation eines wirtschaftlichen
und sicheren Güterverkehrs einschl.
der logistischen Anlagen**

6

**Gestaltung von Infrastruktur und
Prozessen unter Berücksichtigung der
Anforderungen von Umwelt und
Gesellschaft**

Ziele und Aufgaben der Transportlogistik



1. Effizienz
2. Effektivität,
3. Robustheit,
4. Sicherheit,
5. Nachhaltigkeit
6. Wirtschaftlichkeit

Anforderungen, die gute (Transport-)Logistik erfüllt: die „6 R der Logistik“



Richtige Menge



Richtiges Produkt



Richtige Qualität



Richtige Zeit



Richtiger Ort



Zu richtigen Kosten

Problemlösung mit Simulation – was ist der Nutzen?

Besseres Systemverständnis

- Ermitteln von Parametersensitivitäten
- Begründbarkeit und Überprüfbarkeit der gewählten Lösung
- Schulung des Betriebspersonals
- Vermeidung von Engpässen
- Dynamische Analyse und Darstellung der Abläufe

Sicherheitsgewinn

- Bestätigung des Planungsvorhabens
- Minimierung des unternehmerischen Risikos (Simulation vor Investition)
- Funktionalität des geplanten Systems und der Steuerung

Abgesicherte strategische Entscheidungen

- Vergleichende Bewertung von Ablaufvarianten
- Vorausschauende Untersuchung von Strategien
- Vorausschauende Reaktion auf Störfälle
- Untersuchung langfristiger Trends

Kostengünstige Lösung

- Einsparung/ Vereinfachung von Systemelementen und Steuerungselementen
- Optimierung von Puffergrößen und Lagerbeständen
- Optimierung von Arbeitsläufen ohne Eingriffe in das Realsystem

Last Mile Delivery

Beispiel – Zustellroboter

Optimierung von Paketzustellsystemen mit Einsatz von Zustellrobotern am ITL - Graduiertenkolleg 1855 (DFG)

- Optimierung des Einsatzes von Paketzustellsystemen auf drei Entscheidungsebenen
- Entwicklung von heuristischen Algorithmen
- Berücksichtigung von Unsicherheit

© Starship Technologies



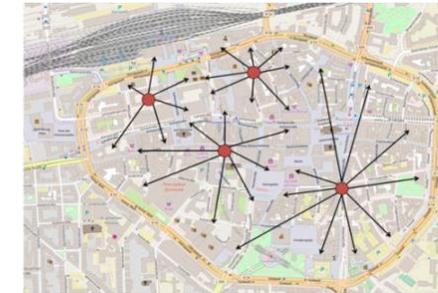
DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft

GRK 1855

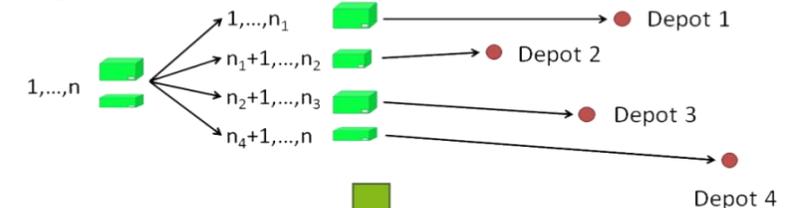


Diskrete Optimierung technischer Systeme unter Unsicherheit

Location



Assignment



Scheduling



Simulation und Optimierung

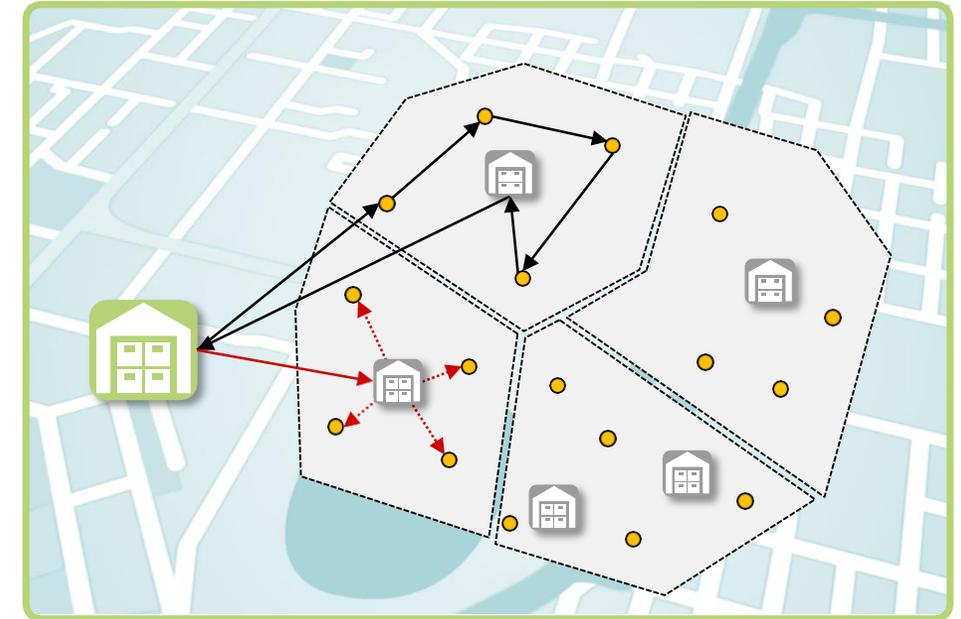
Hierarchische Verknüpfung – Beispiel: Optimierung in der Simulation

Simulation
Optimierung

Simulation und Optimierung eines Paketzustellnetzes

"Modellszenario mit Paketrobotern in Köln"

- Simulationszeitraum von 3 Tagen
- bis zu 3% des Paketvolumen der Stadt soll mit Zustellrobotern zugestellt werden
- Lösung des *Traveling-Salesperson-Problem* für einzelne Zustelltouren der Roboter
- Fehlzustellungen sind möglich und verursachen Re-optimierung

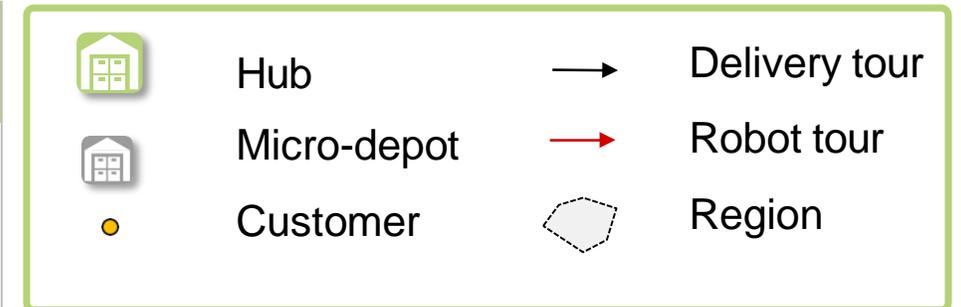


Strategische Entscheidungen

- Anzahl Hubs
- Standort der Hubs
- Anzahl an Depots
- Standorte der Depots

Operative Entscheidungen

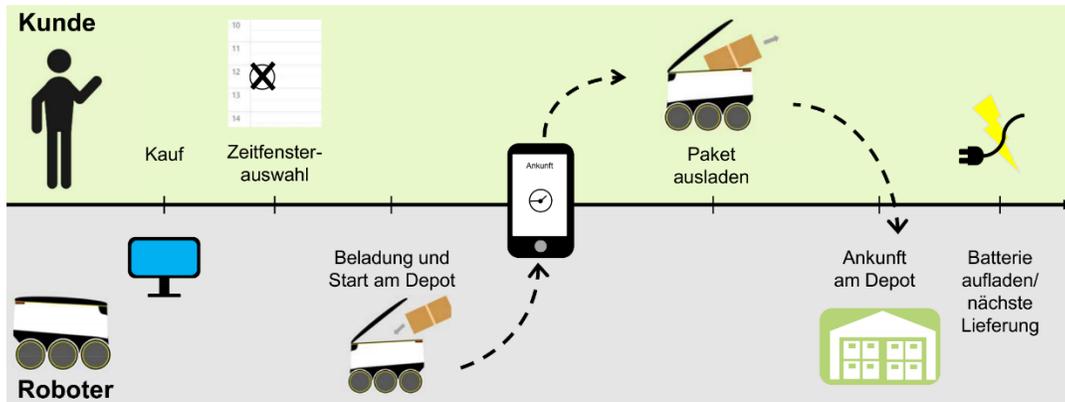
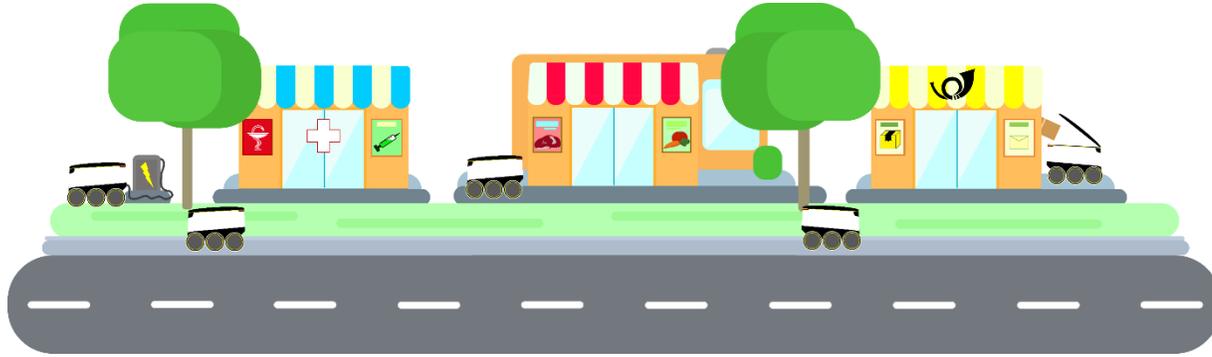
- Touren und Routenplanung
- Roboter-Depot Zuordnung
- Reihenfolge der Robotertouren
- Re-optimierung bei Fehlzustellung



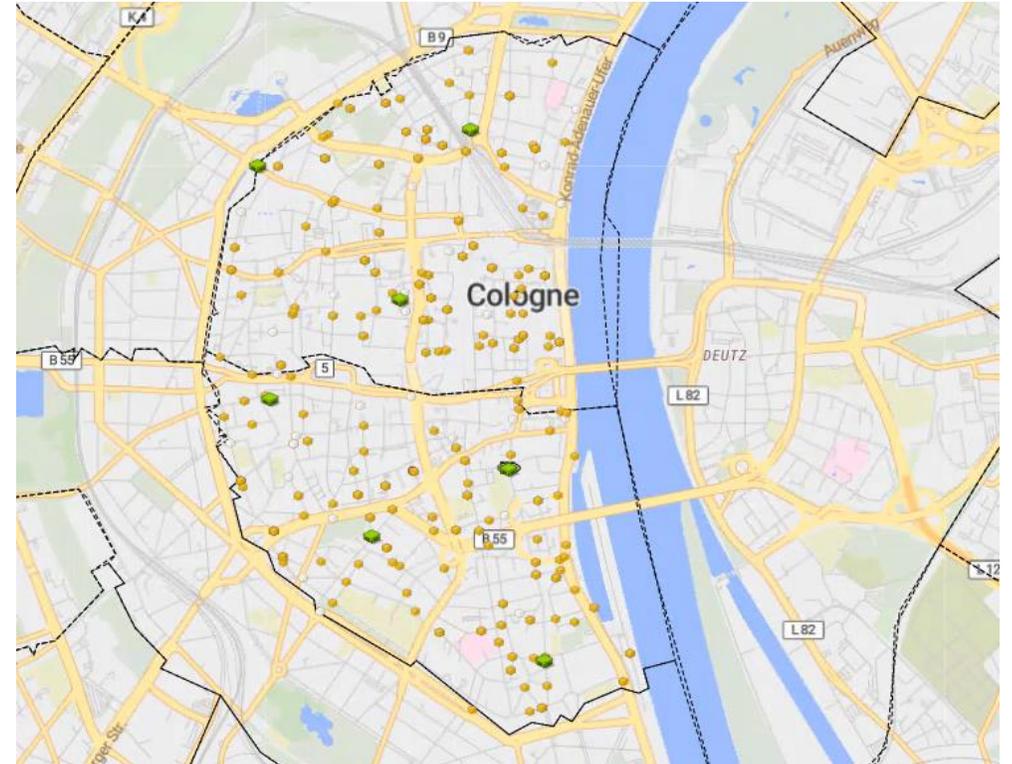
Last Mile Delivery

Beispiel – Zustellroboter

- Anwendungsfelder



Innenstadtbelieferung mit Zustellrobotern



Simulation und Optimierung

Beispiel: Optimierung in der Simulation – Daten und Methodik

Simulation

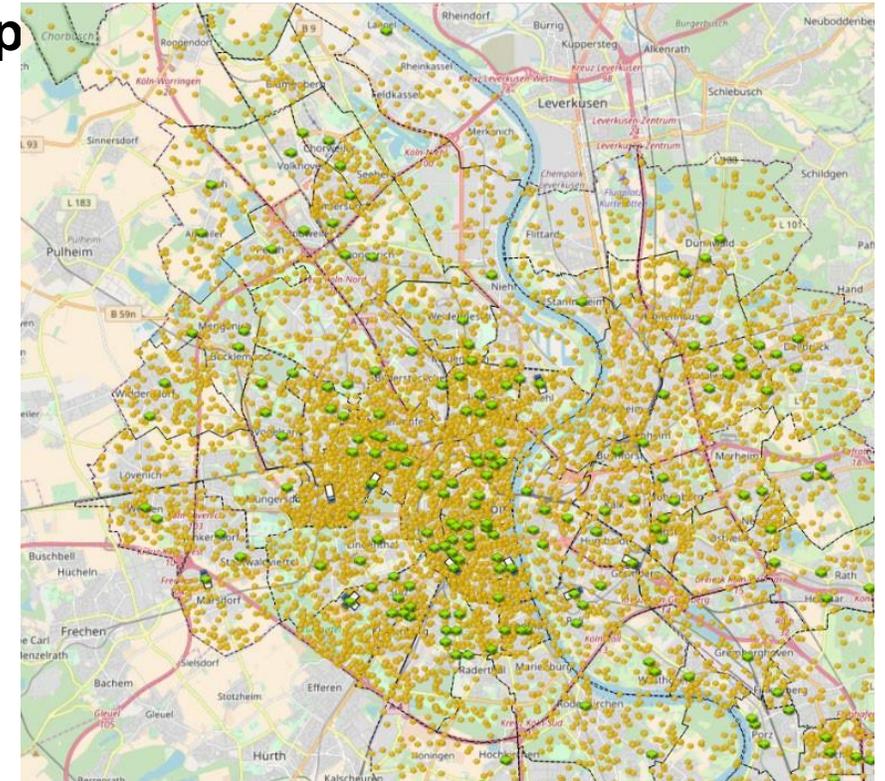
Optimierung

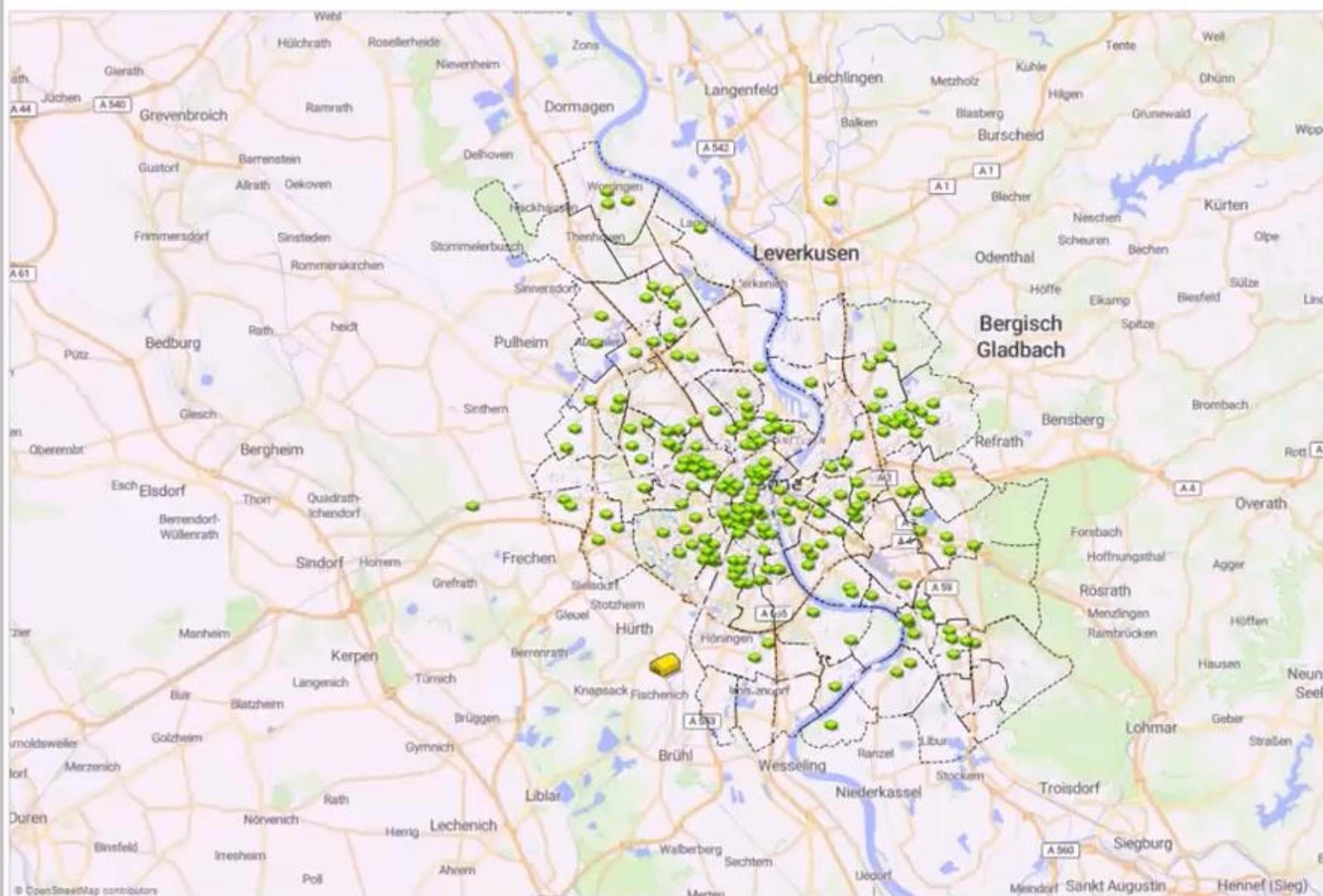
Abbildung des Systems in GIS-Umgebung (Open Street Map)

- genaue Berechnung von Routen in der Simulation
- unterschiedliches Routing für Fahrzeuge (Straßen) und Roboter (Fußgängerwege)
- Generierung von variierenden Standorten auf Basis von Adressen oder Koordinaten

Agentenbasierte Simulation

- Agententypen für Fahrzeuge, Hubs, Mikrodepots u. Kunden
- Entscheidungsfindung basierend auf der Kommunikation der Agenten
- Optimierungsalgorithmus berücksichtigt im Simulationslauf die dynamischen Änderungen für die Re-Optimierung von Routen
- Ergebnis der Optimierung definiert nächste Auslieferung und beeinflusst jeweils den fortgesetzt simulierten Ablauf





KENNZAHLEN

Anzahl aktive Sendungen:	799
Anzahl aktive Fahrzeuge:	0
Anzahl aktive Roboter:	0
Summe Fahrtzeit Fahrzeuge:	0.0 [h]
Summe Tourzeiten Fahrzeuge:	0.0 [h]
Sendungen zugestellt:	0 [Stg]
... davon beim Kunden:	0 [Stg]
... davon am Depot:	0 [Stg]
Erneute Zustellung Folgetag:	0 [Stg]
Abgeschlossene Touren:	0
Tourlänge gesamt:	0.0 [km]
Summe Fahrtzeit Roboter:	0.0 [h]
Summe Tourzeiten Roboter:	0.0 [h]
Roboterlieferungen gesamt:	0 [Stg]
... davon zugestellt beim Kunden:	0 [Stg]
... davon Fehlzustellungen:	0 [Stg]
Zurückgelegte Distanz aller Roboter:	0.0 [km]

Last Mile Delivery

Beispiel – Zustellroboter

Parameter

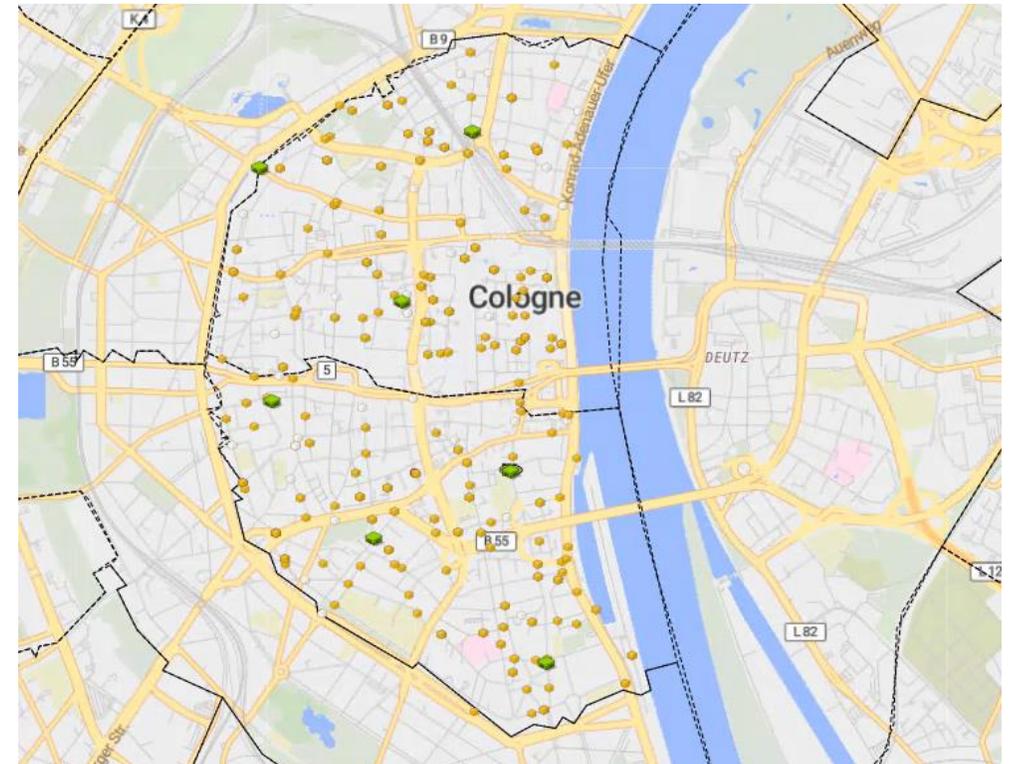
- Betrachteter Untersuchungsraum: Historisches Zentrum Köln
- Paketzustellung basiert auf realen Daten eines Logistikdienstleisters (rund 200.000 Zustellungen).
- Paketroboter fahren in Schrittgeschwindigkeit (maximale Reichweite 6 km).
- Für verschiedene Szenarien wurden jeweils 15 komplette Tage simuliert.

Ergebnisse

- Ein Großteil der Zustellungen kann über 4 Mikrodepots erfolgen.
- Die Zustellroboter müssen täglich bis zu 827 km zurücklegen.
- Kunden können ein 30-Minuten-Zeitfenster für die Zustellung bestimmen und die Zeitfenster werden zu 95% eingehalten (Verspätung im Mittel 15 min)
- In einem Szenario: „Fahrverbot für Fahrzeuge im Stadtzentrum“ würden 1/3 mehr Zustellroboter benötigt werden als im Szenario ohne Einschränkung

Praxis: Derzeit in DE nur mit Sondergenehmigung bei lfd.
 Monitoring praktisch umsetzbar

Innenstadtbelieferung mit Zustellrobotern



A COMPREHENSIVE CASE STUDY IN LAST-MILE DELIVERY CONCEPTS FOR PARCEL ROBOTS

Moritz Poeting
Stefan Schaudt
Uwe Clausen

Institute of Transport Logistics
TU Dortmund University
Leonhard-Euler-Str. 2
Dortmund, 44227, GERMANY

[<= see for more details](#)

ABSTRACT

This study was designed to evaluate innovative last-mile delivery concepts involving autonomous parcel robots with simulation and optimization. In the proposed concept the last-mile of parcel delivery is split into a two-tiered system, where parcels are first transported to a transfer point by conventional trucks and then delivered with autonomous parcel robots on customer demand. The purpose of this publication is to compare different time slot selection options for customers, namely due window and on-demand selection, in the context of current city logistics measures such as access regulations and driving bans for city centers. An agent-based simulation model is used, including a GIS environment and optimization algorithms for allocation and scheduling of delivery robots. The concept is tested in a comprehensive case study located in the city center of Cologne (Germany) based on real data from parcel delivery company Hermes.

1 INTRODUCTION

With urbanization as an ongoing global trend increasing economic and transport activities are observable in cities world-wide. More than half of the population in Germany lives in cities. The four biggest ones alone – Berlin, Munich, Hamburg, and Cologne – account for 10 % whereby there is only one person living in almost half of the households (Statistisches Bundesamt 2018). Consequences of urbanization are an increasing shortage of space, competition regarding utilization, and bottlenecks in the capacity of the road network. A still growing e-commerce keeps driving up the number of parcels to be delivered, especially in the B2C segment. Thus, the logistics industry is seeking new ways to increase efficiency and investigates new technologies for last-mile delivery. In addition, cities in all over Western Europe want to become more environmentally friendly and limit the exposure of population created by traffic. Therefore, cities either plan to establish or already established low emission zones (ADAC 2019a), (ADAC 2019b). To overcome both, the increase in parcel volumes and the access restrictions, the parcel industry is seeking for new innovative concepts such as drones, autonomous vehicles, sharing economy, deliveries to the trunk of a car, and parcel robots (Gester, F. and R. Bogdanski. 2017). Field tests for parcel delivery robots have been carried out by manufacturer Starship Technologies in cooperation with parcel delivery company Hermes in Hamburg. Customers were able to choose an arrival time slot of 15 minutes. In total, the robots completed 600 tours and traveled 3,500 kilometers (Bertram 2017). However, there are also other companies exploring this and other automated delivery solutions including Amazon, Deutsche Post DHL, Domino's Pizza, or Swiss Post. Apparently the application field of delivery robots on the last-mile represents a promising field of research, not only for logistics but also for mathematical optimization and simulation.

Andere Anwendungen der Simulation in der Transportlogistik

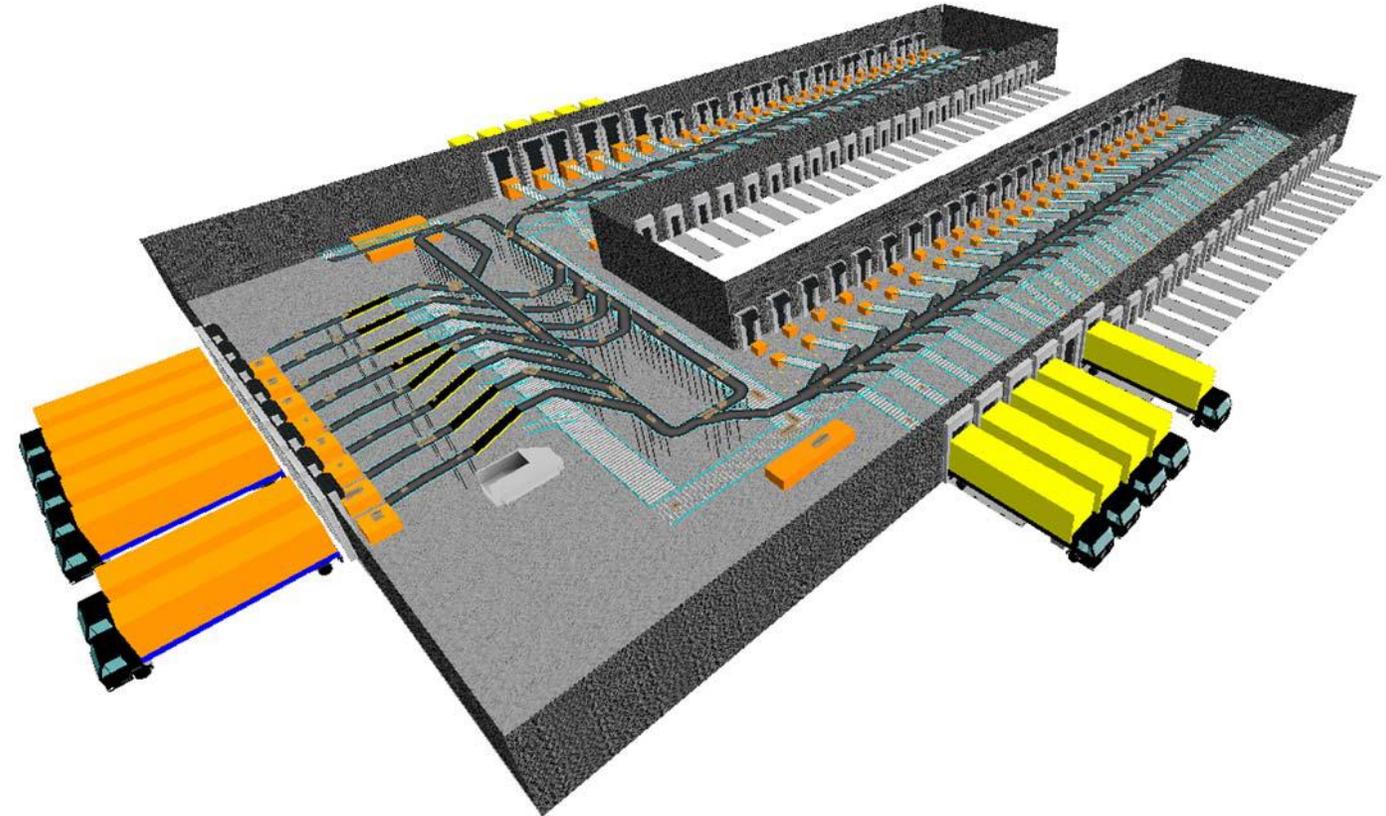
Paketumschlaganlagen

- Ermittlung von Grenzleistungen
- Ableitung geeigneter Strategien der Betriebssteuerung
- Yard Management

Verfahren zur
Betriebsplanung und -steuerung
von Paketumschlaganlagen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Dr.-Ing.
von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund
genehmigte Dissertation

Dipl.-Logist. Daniel Diekmann
aus
Melle



Andere Anwendungen der Simulation in der Transportlogistik

Yard Management - Ein Blick in den Leitstand

Paketumschlaganlage

10 Jahre später in der Praxis



Post & Paket Deutschland | Planungsaufgaben im DHL Paketnetzwerk | 05. Juli 2022

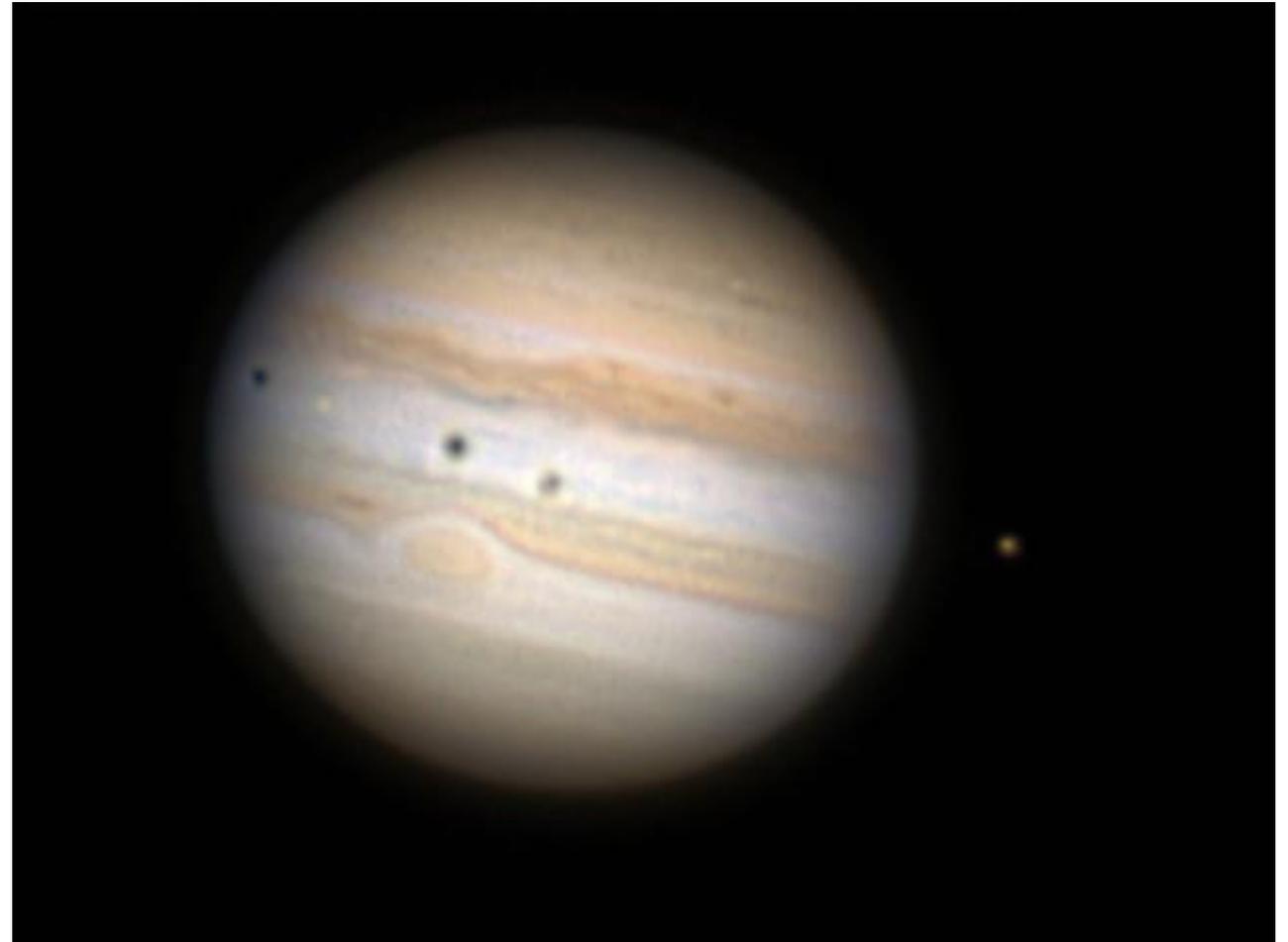
Ganz großes Kino ...

... in der Nacht zum 20.8.2009

gab es ganz großes Jupiter-Kino:

Durchgang des Großen Roten Flecks
zusammen mit den Transits von Europa und
Ganymed und mit der Annäherung von Io!

Aus Sicht der Astronomie eine
spektakuläre Konstellation !



... und nur Stunden später auch in der Logistik-Wissenschaft ganz großes Kino am 20. August 2009 😊

Universitätsprofessur (W2) „IT in Produktion und Logistik“ - Einladung zum Vortrag

Sehr geehrter Herr Dr. Rabe,
die Berufungskommission für die Universitätsprofessur (W2) „IT in Produktion und Logistik“ hat nach detaillierter Durchsicht Ihrer Bewerbungsunterlagen beschlossen, Sie zu Vorträgen und einem anschließenden Gespräch mit der Berufungskommission einzuladen.

Der Termin wurde für **Donnerstag, den 20. August 2009, 14.00 Uhr** festgelegt.

Die Veranstaltung wird im

Maschinenbaugebäude I, Leonhard-Euler-Straße 5, 44227 Dortmund, HS 1
stattfinden.

Wir bitten Sie zwei Vorträge zu halten: Der erste Vortrag ist ein 20-minütiger Lehrvortrag mit dem Thema „Die rechnerinterne Darstellung von Informationen“. Der zweite Vortrag soll ein 30-minütiger Fachvortrag sein mit anschließender 10-minütiger Diskussion. Den Vortragstitel (mit Bezug zur o. g. Professur) können Sie selbst vorschlagen und uns bitte mitteilen. Danach soll ein 45-minütiges Gespräch mit der Berufungskommission stattfinden.

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie uns diesen Termin **bis zum 03.07.2009** bestätigen.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr.-Ing. U. Clausen

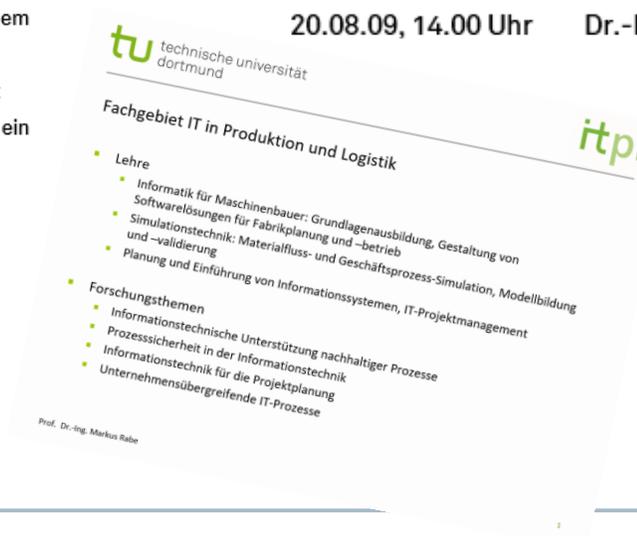
(Inhaber des Lehrstuhls für Verkehrssysteme und –logistik)

- Vorsitzender der Berufungskommission -

Kolloquium „IT in Produktion und Logistik“

Ort: Hörsaal 1, Maschinenbaugebäude I
Campus Nord, Leonhard-Euler-Str. 5, 44227 Dortmund

Termin	Referent	Titel
20.08.09, 14.00 Uhr	Dr.-Ing. Markus Rabe	IT zur Unterstützung von produzierenden Unternehmen in Liefernetzwerken



Aus Sicht der Fakultät Maschinenbau, aber auch ganz persönlich, eine große Freude ... auch im folgenden bei vielen gemeinsamen Aktivitäten

Rabe, M.; Clausen, U. (Hrsg.): *Simulation in Production and Logistics 2015*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag



Poeting, M., Schaudt, S., Clausen, U. (2019) A Comprehensive Case Study in Last-Mile Delivery Concepts for Parcel Robots. In: N. Mustafee, K.-H.G. Bae, S. Lazarova-Molnar, M. Rabe, C. Szabo, P. Haas, and Y.-J. Son, (eds.) Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference, Piscataway, IEEE.

Rabe, M.; Clausen, U.; Klueter, A.; Pötting, M. (2016): An Approach for Modeling Supply Chain Simulation. In: T. M. K. Roeder, P. I. Frazier, R. Szechtman, E. Z. (Hg.): Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference: IEEE Pres.

Rabe, Markus; Clausen, Uwe; Klueter, Astrid; Pötting, Moritz (2016): An approach for modeling collaborative route planning in supply chain simulation. In: Theresa M. Roeder, Peter I. Frazier, Robert Szechtman und Enlu Zhou (Hg.): Simulating complex service systems. WSC'16 - Winter Simulation Conference : Crystal Gateway Marriott, Arlington, VA, December 11-14, 2016. 2016 Winter Simulation Conference (WSC). Washington, DC, USA, 12/11/2016 - 12/14/2016. Winter Simulation Conference; American Statistical Association; Gesellschaft für Informatik; Association for Computing Machinery; Winter Simulation Conference Arlington, Va; WSC. Piscataway, NJ: IEEE, S. 2228-2238.

Pötting, Moritz; Prell, B.; Uhlig, T.; Rabe M.; Wenzel, S. (2019): Considering Energy-related Factors in the Simulation of Logistics Systems. In: N. Mustafee (Hg.): 2019 Winter Simulation Conference (WSC). 2019 Winter Simulation Conference (WSC). National Harbor, MD, USA, 12/8/2019 - 12/11/2019. [Piscataway, NJ]: IEEE.

Rabe, Markus; Clausen, Uwe (Hg.) (2015): Simulation in production and logistics 2015. 16. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Dortmund, 23. - 25. September 2015 ; Tagungsband. Gesellschaft für Informatik; ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik; ASIM Conference on Simulation in Produktion and Logistics; ASIM SPL. Stuttgart: Fraunhofer Verl. (ASIM-Mitteilung, 157). Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-360419.html>.



SIMULATION IN PRODUKTION UND LOGISTIK

16. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik
 23. – 25. September 2015 an der Technischen Universität Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen
Institutsleiter ITL

Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe
Fachgebietsleiter ITPL

Tagungsthemen:

- Logistik
- Neue Methoden und Techniken der Simulation
- Verifikation und Validierung
- Methoden zur Unterstützung der Simulation
- Simulation und Visualisierung
- Simulation und Optimierung
- Interoperabilität und verteilte Simulation
- Simulation in Planung und Steuerung
- Simulationsanwendungen in der Industrie
- Digitale Fabrik
- Supply Chain Simulation
- Logistiksysteme und -strategien
- Transportnetzwerke
- Distribution und Intralogistik

Plenary Vortrag: Prof. W. David Kelton (University of Cincinnati)
 Tutorial: Prof. David Goldsman (Georgia Institute of Technology): "Statistical Insights for Simulationists"
 Festvortrag: Prof. Metin Tolan (TU Dortmund)

www.asim-fachtagung-spl.de

ASIM'SPL 2015 - Vorbereitung

Markus Rabe / Uwe Clausen

Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen
 Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe

TP Simulation und Optimierung in der Logistik

und zahlreiche „gemeinsam abgenommene“ Promotions

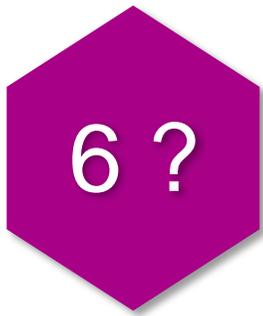


Die magische



Glückwunsch zu 2 * 6 Jahren als Professor an der TU Dortmund !





Aber ist das inzwischen nicht genau



SIMULATION IN PRODUKTION UND LOGISTIK

16. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik
23. – 25. September 2015 an der Technischen Universität Dortmund



Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen
Institutsleiter ITL



Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe
Fachgebietsleiter ITPL

Tagungsthemen:

- Logistik
- Neue Methoden und Techniken der Simulation
- Verifikation und Validierung
- Methoden zur Unterstützung der Simulation
- Simulation und Visualisierung
- Simulation und Optimierung
- Interoperabilität und verteilte Simulation
- Simulation in Planung und Steuerung
- Simulationsanwendungen in der Industrie
- Digitale Fabrik
- Supply Chain Simulation
- Logistiksysteme und -strategien
- Transportnetzwerke
- Distribution und Intralogistik

www.asim-fachtagung-spl.de

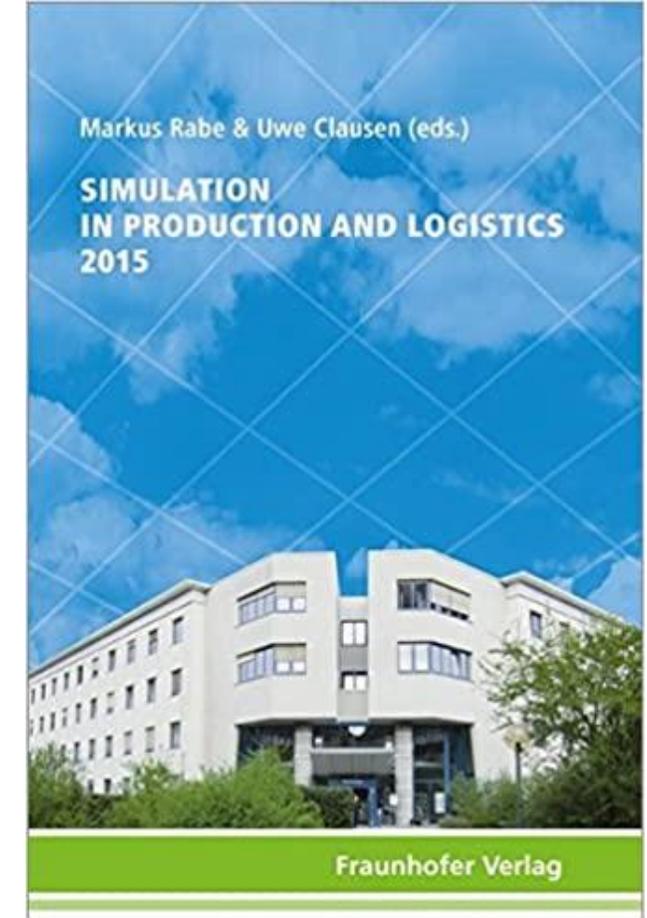
- Plenarvortrag
Prof. W. David Kelton (University of Cincinnati)
- Tutorial
Prof. David Goldsman (Georgia Institute of Technology): "Statistical Insights for Simulationists"
- Festvortrag
Prof. Metin Tolan (TU Dortmund)

iti Institut für
Transportlogistik

itpl IT in Produktion
und Logistik



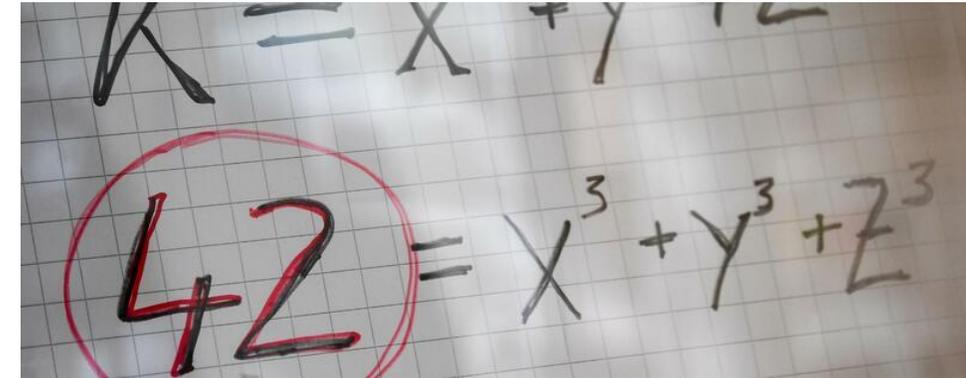
Jahre her



Was ist denn eigentlich 6*7 ?



Ob nun 36 oder 42 oder sogar 7,5 Mio. Jahre ...



Lieber Markus,

**Herzlichen Glückwunsch zu Deinem erfolgreichen Wirken und
beste Wünsche für Deine Zukunft !**

Dein Uwe & das Team am ITL und IML

DANKE für Ihre Aufmerksamkeit

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Institutsleiter,

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML,

Institutsleiter, Institut für Transportlogistik, TU Dortmund,

Vorsitzender Fraunhofer-Allianz Verkehr

Tel. +49 (0) 2 31 9743-400

Fax +49 (0) 2 31 9743-402

E-Mail uwe.clausen@iml.fraunhofer.de

 @profclausen

 Prof. Dr. Uwe Clausen

