



## TAGUNGSBAND

# 21. MAGDEBURGER LOGISTIKTAGE »LOGISTIK NEU DENKEN UND GESTALTEN«

22. – 23. JUNI 2016



IM RAHMEN DER IFF-WISSENSCHAFTSTAGE



21. Magdeburger Logistiktag

# LOGISTIK NEU DENKEN UND GESTALTEN

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zadek,  
Prof. E. h. Dr.-Ing. Gerhard Müller, Hon.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Richter, Dipl.-Ing. Holger Seidel

Eine gemeinsame Initiative von:



FAKULTÄT FÜR  
MASCHINENBAU



Premiumpartner:



Medienpartner:





# VORWORT



*Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h.*

*Dr. h. c. mult. Michael Schenk*

*Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für  
Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF,  
geschäftsführender Leiter des Instituts für  
Logistik und Materialflusstechnik der  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*  
*Foto: Dirk Mahler*

Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Partner und Freunde,

ich freue mich, Sie zu unseren  
»Magdeburger Logistiktagen« 2016  
begrüßen zu dürfen und heiße Sie  
herzlich Willkommen. In diesem Jahr  
widmen wir uns der Zukunft der  
Logistik, denn Entwicklungen wie  
Industrie 4.0, Big Data, 5G und vieles  
mehr werden zu großen strukturellen  
Umbrüchen, aber auch zu vielen  
kleinen Änderungen im Detail führen.  
Daher lautet die Überschrift »Logistik  
neu denken und gestalten«.

Am ersten Tag präsentieren und  
diskutieren Herr Wilhelm Dresselhaus  
(Nokia), Herr Dr.-Ing. Florian Schreiner  
(Fraunhofer FOKUS) und Herr Prof.  
Emmanuel Müller (Hasso-Plattner-  
Institut, Deutsches GeoForschungs-  
Zentrum) aktuelle Entwicklungen zu  
den Themen: »Aufbau digitaler Infra-  
strukturen«, »5G und industrielle  
Internet der Dinge (IIoT) Technologien«,  
»Data Mining« und »Interactive  
Exploration of Heterogeneous Data  
Streams«. Damit geben sie wichtige  
Impulse für die nachfolgenden Work-  
shops, die in diesem Jahr unter den  
Überschriften »Intelligente Logistik«,  
»Schlanker Materialfluss«, »Logistik  
neu denken«, »Simulation in der  
Logistik« und »Digitale Wäscherei«  
stehen.

Der Tagungsband umfasst die Beiträge  
aus den zwei abwechslungsreichen  
Konferenztagen und bietet Ihnen  
interessante Einblicke zu Zukunfts-  
themen und -lösungen für verschiedene  
praxisrelevante Herausforderungen.  
Nutzen Sie den Tagungsband um die  
präsentierten und diskutierten innova-  
tiven Lösungen und Entwicklungen  
der Referenten noch einmal zu  
reflektieren.

Wir würden uns freuen, wenn Sie im  
nächsten Jahr wieder aktiv dabei sind  
und wir Ihre neuen Modelle und  
Methoden im Tagungsband abdrucken  
können.

Ich freue mich auf eine spannende  
Veranstaltung und hoffe auf ein  
Wiedersehen zu den Wissenschafts-  
tagen 2017.

Ihr

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Michael Schenk".

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h.  
Dr. h. c. mult. Michael Schenk*



# GRUSSWORT



Dipl.-Ing. Thomas Webel  
Minister für Landesentwicklung und  
Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt  
Foto: Ministerium für Landesentwicklung  
und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Land Sachsen-Anhalt hat sich zweifellos in den vergangenen Jahren zu einem modernen, leistungsfähigen und attraktiven Logistikstandort entwickelt. Insbesondere unsere erstklassigen Universitäten und Hochschulen in Verbindung mit einer einzigartigen Forschungslandschaft bilden diesbezüglich eine hervorragende Basis, aus der inzwischen ein großes Potenzial an qualifizierten Arbeitskräften und ein erfolgversprechendes Know-how hervorgegangen sind. In diesem Rahmen setzen die Magdeburger Logistiktage kontinuierlich, und dies bereits seit 21 Jahren, einen besonderen Akzent. Das Konzept der Fachtagung basierend auf dem gegenseitigen Austausch von aktuellen Forschungsergebnissen in Verbindung mit Best Practices der Branche hat sich nicht nur sehr gut bewährt, sondern wird auch sehr gut angenommen.

Diese von den Logistiktagen ausgehenden Impulse sind wichtig, denn die Logistikbranche am Standort Sachsen-Anhalt ist derzeit zwar wieder auf Wachstumskurs und es wird auch kräftig investiert, doch steht auch diese Branche zukünftig vor enormen Herausforderungen. Auf das dynamische Wachstum der Güterströme, den gestiegenen Mobilitätsbedarf bei gleichzeitig steigenden Energiepreisen, auf die sich abzeichnende Rohstoff- und Energieverknappung sowie auf die letztlich immer stärker geforderte Umweltverträglichkeit muss mit schnellen neuen Denkansätzen reagiert werden. Schließlich sind Geschwindigkeit, Präzision, Flexibilität und Verfügbarkeit entscheidende Wettbewerbsfaktoren in der Abwicklung logistischer Prozesse. Hier wird und kann der gegenwärtige Trend zur Digitalisierung, die so genannte Industrie 4.0, der Logistikbranche einen weiteren und wichtigen positiven Schub geben.

Aus diesem Grund setzt auch das Land Sachsen-Anhalt bspw. im Rahmen seiner Regionalen Innovationsstrategie verstärkt auf die Entwicklung ganzheitlicher, intelligenter und nachhaltiger Lösungen für die Mobilität und Logistik. Praxiserprobte intelligente Logistikkonzepte und Verkehrssysteme bieten ein großes Potenzial zur Verbesserung der Verkehrssituation auf den Straßen und können hierbei anderen Verkehrsträgern als Vorbild dienen. Im Bereich des Güterverkehrs wird es darauf ankommen, das zu erwartende Verkehrswachstum vor allem durch die Entwicklung und den Einsatz energieeffizienter und innovativer Umschlagstechniken, Transporttechnologien und logistischer Schnittstellen zu sichern sowie nachhaltiger zu gestalten.

Unsere gemeinsame Aufgabe wird also zukünftig vor allem darin bestehen, die Leistungsfähigkeit der Wirtschaftsverkehre fortzuentwickeln, sie umweltfreundlicher zu gestalten, eine sichere und Ressourcen schonende Logistik unter verstärkter Einbeziehung aller Verkehrsträger zu entwickeln sowie hierfür eine moderne, intakte und leistungsfähige Infrastruktur auf den Weg zu bringen. Dies bedarf neben großen Anstrengungen bei der Umsetzung auch vieler neuer Ideen und Konzepte sowohl von den beteiligten Akteuren als auch hoffentlich weiterhin von impulsgebenden Magdeburger Logistiktagen.

Ihr

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Thomas Webel".

Dipl.-Ing. Thomas Webel



# GRUSSWORT



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Strackeljan  
Rektor der Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg

Foto: Stefan Berger

Liebe Tagungsteilnehmerinnen und -teilnehmer,

die vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF sowie der Otto-von-Guericke-Universität veranstalteten Magdeburger Logistiktagung haben sich zu einer gefragten Tagung und einem Markenzeichen des Logistik-Standortes Magdeburg entwickelt. Seit nunmehr 21 Jahren findet die Veranstaltung mit wechselnden Schwerpunktthemen in enger Kooperation zwischen dem IFF und dem Institut für Logistik und Materialflusstechnik statt. In diesem Jahr wurden die Vorträge unter das Motto: »Logistik neu denken und gestalten« gestellt. Es gilt also einen Blick in die Zukunft zu wagen. Digitalisierung, Kommunikation und das Management großer Datens Mengen mit Ansätzen des Big Data werden diese Zukunft der Logistik bestimmen.

Es ist unbestritten, dass diese Themen für den Standort Sachsen-Anhalt und auch für Magdeburg eine hohe Relevanz besitzen. Die Logistik sowie die Materialflusstechnik haben an der Otto-von-Guericke-Universität und am IFF in Lehre und Forschung einen großen Stellenwert. Der Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen Logistik wurde in den vergangenen Jahren konsequent weiterentwickelt und umfasst auch die zukunftsweisenden Vertiefungsrichtungen der nachhaltigen Logistik sowie der Logistikplanung.

Der in 2012 eingeführte passende Masterstudiengang hat sich stabil entwickelt und zieht sowohl Studierende, die bereits ihren Bachelor an der Otto-von-Guericke-Universität erhalten haben als auch Studierende von anderen Universitäten an. Dies ist ein toller Erfolg, der die Attraktivität des Studiengangs nachdrücklich dokumentiert. Die Berufsaussichten sind in dieser Wachstumsbranche hervorragend, allerdings erfordern die zu bewältigenden Herausforderungen auch eine

forschungsbezogene Ausbildung auf hohem universitärem Niveau. Auch den wachsenden internationalen Anforderungen trägt das Institut für Logistik und Materialflusstechnik zusammen mit dem Fraunhofer IFF Rechnung. So haben im Oktober 2015 die ersten Absolventen des, gemeinsam mit der Staatlichen Technischen Universität für Automobil- und Straßenwesen Moskau (MADI), durchgeführten Doppelabschlussprogrammes ihren Masterabschluss in Moskau erhalten. Wir erhoffen uns dadurch einen noch engeren Austausch von Forschungsergebnissen und Auslandserfahrungen für unsere Studierenden, Doktoranden und Postdocs.

Von jeher ist die Logistik ein disziplinübergreifendes Fach, das von Ingenieuren, Wirtschaftswissenschaftlern, Informatikern und Mathematikern erforscht wird. Interdisziplinäre Ansätze haben diese Tagung in den vergangenen Jahren daher besonders geprägt. Das Tagungsthema im Jahr 2016 setzt diesen Trend weiter fort.

Ich wünsche allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern eine erfolgreiche Tagung, ausreichende Gelegenheiten zum fachlichen Austausch und einen schönen Aufenthalt in Magdeburg. Passend zur Dynamik des Forschungsthemas hat sich auch die Landeshauptstadt im vergangenen Jahr ebenso dynamisch weiterentwickelt, wobei Universität und die außeruniversitären Forschungseinrichtungen einen wesentlichen Motor dieser Entwicklung bilden. Und bei der Behandlung eines Zukunftsthemas kommt man an der Universität natürlich nicht vorbei.

Ihr

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jens Strackeljan".

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.  
Jens Strackeljan



# INHALTSVERZEICHNIS

## Vorwort

Seite 3

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk  
Geschäftsführender Leiter des Instituts für Logistik und Materialflusstechnik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

## Grußwort

Seite 5

Dipl.-Ing. Thomas Webel  
Minister für Landesentwicklung und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt

## Grußwort

Seite 7

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Strackeljan  
Rektor der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## IMPULSVORTRAG

### Aufbau digitaler Infrastrukturen als Voraussetzung für die Logistik von morgen

Seite 15

Wilhelm Dresselhaus  
Nokia, Stuttgart  
Jochen Schwarz  
Alcatel-Lucent Holding GmbH  
Dursun Can Özdemir  
Alcatel-Lucent Deutschland AG

## WORKSHOP 1 – SCHLANKER MATERIALFLUSS

### Anwendungsorientierte Optimierung von Routenzugssystemen

Seite 19

Andreas Martini M. Sc., Tobias Mauksch M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Oec. Ulrich Stache  
Universität Siegen

### Teilautomatisierte Kommissionierung mit Fahrerlosen Transportsystemen – Bewertung der Energieeffizienz intralogistischer Konzepte

Seite 29

Dr.-Ing. Hendrik Hopf, Dipl.-Math. oec. Manuela Krones  
Technische Universität Chemnitz  
Tobias Brigm M. Sc.  
Audi AG, Ingolstadt  
Prof. Dr.-Ing. Egon Müller  
Technische Universität Chemnitz

### Routenzüge in der variantenreichen Großserienfertigung – Wandlungsfähigkeit als Schlüssel zur Effizienz

Seite 39

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Andreas Krause, Prof. Dr.-Ing. Egon Müller, Dr.-Ing. Jörg Strauch  
Technische Universität Chemnitz

### Logistische Planung und Steuerung der Materialversorgung für Vorserienfahrzeuge

Seite 49

Dr. rer. pol. Wilmjakob Herlyn  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg



## **WORKSHOP 2 – INTELLIGENTE LOGISTIK**

### **Frachtvermessung am fahrenden Gabelstapler**

Dr. Michael Baumgartner  
CARGOMETER GmbH, Wien, Österreich

Seite 59

### **RFID-Palette für die Retailindustrie**

Dipl.-Ing. Thorsten Lenz  
CABKA Group GmbH, Berlin

Seite 65

### **Fracht-Fingerprint zur Erhöhung der Sicherheit in der Luftfrachtkette**

Dipl.-Wirt.-Ing. Pat.-Ing. Patrick Dittmer  
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH  
Dipl.-Wirt.-Ing. Olaf Poenicke  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg  
Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag  
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH

Seite 69

### **Materialkosten- und Durchlaufzeitoptimierung bei der Überholung von großen Flugzeugtriebwerken in einem weltweit agierenden Unternehmensverbund**

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Marco Silge, Dayna Beck (staatl. gepr. Betriebswirtin)  
N3 Engine Overhaul Services GmbH & Co KG, Arnstadt

Seite 77

### **Intelligente Lastenfahrradlogistik**

Tom Assmann M. Sc.  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Daniel Barnowski M. Sc.  
Pedalpower Schönhstedt & Busack GbR, Berlin  
Dr.-Ing. Fabian Behrendt  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Seite 85

## **WORKSHOP 3 – LOGISTIK NEU DENKEN**

### **Agile Fabrikplanung mittels iterativ-inkrementeller Vorgehensweise**

Stefan Kaspar M. Eng.  
Prof. Dr. Markus Schneider  
Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme

Seite 95

### **Standardisierung gewachsener Materialflusstrukturen – Produktionslogistikgestaltung auf Basis konfigurierbarer Referenzprozessmodelle**

Alexander Schubel M. Eng.  
Prof. Dr. Markus Schneider  
Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme

Seite 105

### **Strategien zur effizienten Planung und Integration innovativer Automatisierungssysteme**

Dipl.-Ing. (FH) Alexander König  
BMW Group, Leipzig  
Ralf Schönherr M. Sc.  
BMW Group, München  
Sebastian Keller M. Sc.  
BMW Group

Seite 115



**Ein generisches IT-Konzept zur Entscheidungsunterstützung an logistischen Knoten durch die Prognose von LKW-Wartezeiten**

Seite 125

Dipl.-Wirt.-Inf. Martin Stamer, Dr. Alessandro Hill, Dr. Jürgen Böse, Prof. Dr.-Ing. Carlos Jahn  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Ronald Krick  
sourcingmentor.com, Hamburg

**Mobility Experience – Mobilität nutzerorientiert Planen!**

Seite 133

Prof. Dr. phil. Heidi Krömker  
Dipl.-Ing. Stephan Hörold  
Technische Universität Ilmenau

## **WORKSHOP 4 – SIMULATION IN DER LOGISTIK**

**Anforderungen von Produktionsplanern an die Simulation – Discrete-Rate-Simulation als Ergänzung zur Ereignisdiskreten Simulation in der Produktionsplanung?**

Seite 141

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christian Schauf  
Volkswagen AG, Wolfsburg

**Simulationsmodelle in den Naturwissenschaften – Übertragbarkeit auf die Logistiksimulation?**

Seite 149

Dipl.-Phys. Bastian Sander M. Sc.  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

**Mikroskopische und mesoskopische Simulationsmodelle im Vergleich am Beispiel der Wäschereilogistik**

Seite 161

David Weigert M. Sc.  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Kombination von Analytischen- und Simulationsmodellen zur Leistungsbeurteilung von Kommissioniersystemen**

Seite 175

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Willibald A. Günthner  
Technische Universität München

**Emulation als Teil eines Materialflusslabors**

Seite 183

Sebastian Langer B. Sc.  
Wladimir Hofmann B. Sc.  
Sebastian Lang B. Sc.  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## **WORKSHOP 5 – DIGITALE WÄSCHEREI**

**Assistenzsysteme für Instandhaltung und Störungsbehebung**

Seite 195

Dipl.-Inf. Alexa Kernchen  
Daniel Jachmann M. Sc.  
Dr.-Ing. Simon Adler  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

**Programmbeirat**

Seite 204

**Autoren**

Seite 206

**Impressum**

Seite 208



# **AUFBAU DIGITALER INFRASTRUKTUREN ALS VORAUSSETZUNG FÜR DIE LOGISTIK VON MORGEN**

---

Wilhelm Dresselhaus  
Nokia, Stuttgart  
Jochen Schwarz  
Alcatel-Lucent Holding GmbH  
Dursun Can Özdemir  
Alcatel-Lucent Deutschland AG

# LEBENSLAUF



Wilhelm Dresselhaus

Nokia,  
Head Customer Business Team Central, Customer Operations –  
Market Unit West Europe,  
Sprecher der Geschäftsführung der Nokia Solutions and Networks  
GmbH & Co. KG

Alcatel-Lucent Deutschland AG,  
Vorsitzender des Vorstands

Alcatel-Lucent Holding GmbH,  
Sprecher der Geschäftsführung

1986 IBM – Forschungs- und Entwicklungszentrum in Böblingen und Hannover.

1994 IBM – verschiedene Führungspositionen, Entwicklung und Systemintegration von  
Informations- und Applikationssystemen für die Medien- und  
Telekommunikationsbranche.

2001 – 2009 Führungsaufgaben als Partner Business Consulting Services für den  
Communication Sektor und im Application Management Business.  
Anschließend Managing Director Integrated Account – Deutsche Telekom.

Seit 2012 Alcatel-Lucent – Vorstandsvorsitzenden der Alcatel-Lucent Deutschland AG und  
Vorsitzender der Geschäftsführung der Alcatel-Lucent Holding GmbH.

02/2012 – 01/2016 Verantwortlicher für das weltweite Geschäft mit dem Großkunden Deutsche  
Telekom. Gleichzeitig Vertrieb in der Region DACH mit Deutschland, Österreich  
und der Schweiz.

Seit 01/2016 Head Customer Business Team Central – europäische Marktregion West.

Seit 02/2016 Sprecher der Geschäftsführung – Nokia Solutions and Networks GmbH & Co.KG.

# AUFBAU DIGITALER INFRASTRUKTUREN ALS VORAUSSETZUNG FÜR DIE LOGISTIK VON MORGEN

Wilhelm Dresselhaus, Jochen Schwarz, Dursun Can Özdemir

## 1 Einführung

»Die digitale Vernetzung von Gesellschaft und Wirtschaft treibt die nächste industrielle Revolution an. Damit diese neue Ära erfolgreich wird, müssen der Mensch und seine Bedürfnisse im Mittelpunkt der technologischen Veränderungen stehen.« [1]

Der Vortrag zeigt welche Entwicklung die Nokia im »Internet of Things« sieht, mit welcher rasanten Geschwindigkeit sich Dinge mit dem Internet verbinden werden und welche Möglichkeiten sich aus dieser Vernetzung für die klassischen Industrien aus dieser Digitalisierung ergeben.

## 2 Veränderung der Anforderungen

Das Tempo der Digitalisierung in Industrie und Gesellschaft wird heute durch die zunehmende Vernetzung von Systemen und damit durch die flächendeckende Verfügbarkeit von Breitbandkonnektivität bestimmt. Milliarden von Gegenständen werden dabei in Zukunft über eine Cloud miteinander kommunizieren.

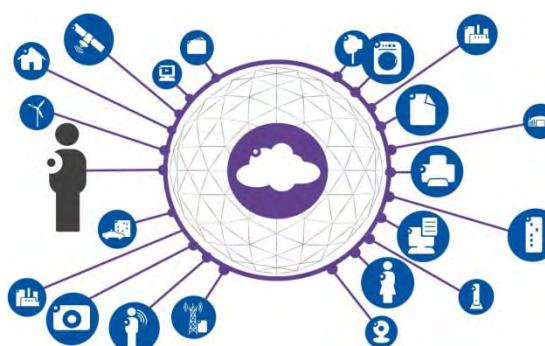


Abbildung 1: Milliarden Gegenstände werden verbunden  
© Nokia / Alcatel-Lucent

Die Nokia prognostiziert, dass in weniger als 5 Jahren mehr als 25 Milliarden Gegenstände sich untereinander sowie mit dem Menschen austauschen werden.

Schon heute bestimmt das Tempo und die Qualität von universal verfügbarer Konnektivität zu großen Teilen die vierte industrielle Revolution. Die Veränderungen der bisherigen Infrastruktur werden neue Geschäftsmodelle wie unter anderem im Bereichen Public Safety, Digital Health, Connected Mobility, Logistic oder Smart Cities

ermöglichen. Folglich ist die Netzinfrastruktur zum industriellen und gesellschaftlichen Wachstumstreiber geworden.

Entscheidend für den Erfolg der digitalen Revolution sind heterogene Anforderungen an die Netze. Jedes einzelne Anwendungsszenario erfordert die Berücksichtigung unterschiedlicher Bedürfnisse wie unter anderem geringe Latenzen oder hohe Uploadraten.

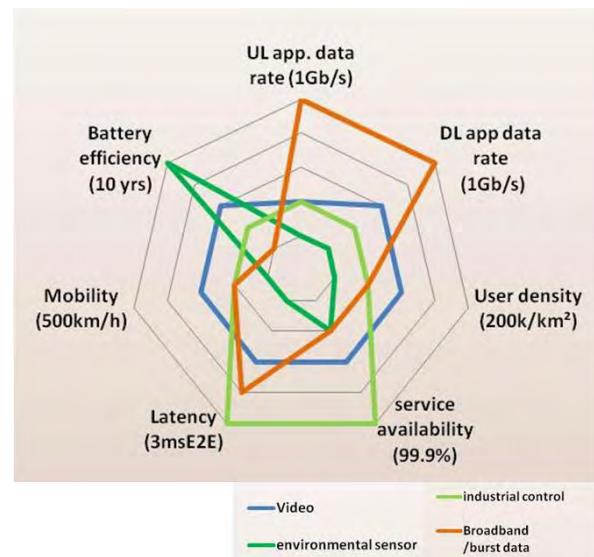


Abbildung 2: Beispiele heterogener Anforderungen an die Netze © Nokia / Alcatel-Lucent

Die Zukunftsfähigkeit Deutschlands erfordert aus diesem Grund die flächendeckende Verfügbarkeit von konvergenten Netzen. Im Mobilfunk werden Netze der 5. Generation (5G), im Festnetz Glasfaseranschlüsse, sowie entsprechend leistungsfähigen Anschlüsse Elemente eines notwendigen Technologiemixes sein.

## 3 Vision für die Logistik

Ausgehend von der Entwicklung der Kommunikationsnetze hin zu einem umfassenden »All IP-Netz« mit all seinen verschiedenen Zugangstechnologien, werden aktuelle und zukünftige »Use Cases«, Anwendungen beispielhaft aufgezeigt. Für einzelne Branchen wie Automotive, Maschinenbau, Gesundheitswesen oder auch Logistik wird dargestellt welchen Mehrwert die universelle Verfügbarkeit von Kommunikations-Verbindungen darstellt und wie Sie Geschäftsmodelle verändert bzw. neue ermöglicht.

Für die Logistik wird insbesondere anhand von zwei Beispielen die Möglichkeit aufgezeigt, jederzeit den Standort der eigenen Fracht sowie die Ankunft am nächsten Logistik-Knoten zu überprüfen.

Die folgende Graphik verdeutlicht das erste Beispiel der Nokia. Dieser zeigt die schon vorhandenen Möglichkeiten der ersten und einzigen LTE-Lösung im Flugzeug auf. Am Beispiel »Air to Ground« wird deutlich, dass es zukünftig auch ein Flughafen sein kann bei dem die Frachtflieger während des Fluges melden welche Fracht sie an Bord haben und wann sie am Flughafen ankommen werden.



Abbildung 3: Möglichkeiten von Air to Ground  
© Nokia / Alcatel-Lucent

Die Nokia hat einen möglichen Use Case bereits umgesetzt und über zwei Monate mit dem neuseeländischen Service Provider Chorus gemeinsam getestet. Hierbei wurden Kundendienstfahrzeuge mit Kommunikationsinfrastruktur ausgestattet und über LTE sowie der hauseigenen IMPACT IoT Plattform mit Applikationen im Backend verbunden.

Der Feldversuch zeigt, dass durch eine intelligente Steuerung erhebliche Vorteile entstehen:

- weniger Fehler in den automatisierten Prozessen,
- 30%- 40% Zeitersparnis, durch eine automatisiertes Inventar und Tracking,
- 33%-66% Reduzierung der Installationszeiten von Fahrzeugen,
- Ersparnis von 71€ pro Software Update.

Nokia arbeitet hier seit einigen Jahren auch intensiv an der Schnittstelle zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Im Nationalen IT-Gipfel engagieren wir uns in der Fokusgruppe »Aufbruch in die Gigabit-Gesellschaft«. Der IT-Gipfel Prozess bringt die ITK Industrie mit den Anwendungsindustrien und den Ministerien zusammen um damit die Digitalisierung von Deutschland und die internationale Wettbewerbsfähigkeit von Deutschland zu fördern. Die Digitalisierung bietet sicher auch große Chancen die

Stärken der Deutschen Logistikindustrie weiter auszubauen und die Wettbewerbsfähigkeit der Zukunft zu entwickeln.

#### 4 Literatur

[1] Dresselhaus, Wilhelm

# **ANWENDUNGSORIENTIERTE OPTIMIERUNG VON ROUTENZUGSYSTEMEN**

---

Andreas Martini M. Sc.  
Tobias Mauksch M. Sc.  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Oec. Ulrich Stache  
Universität Siegen

# LEBENSLAUF



Andreas Martini M. Sc.

Universität Siegen, Fachgebiet »Logistik für Produktionsunternehmen«,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

2012

Abschluss des Studiums des Wirtschaftsingenieurwesens an der Universität Siegen.

Seit 2012

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet »Logistik für Produktionsunternehmen« der Universität Siegen. Themenschwerpunkte: Vergleich innerbetrieblicher Transportkonzepte der Materialversorgung; Gestaltung, Dimensionierung und Analyse von Routenzugsystemen.

Seit 2013

Doktorand am Fachgebiet »Logistik für Produktionsunternehmen« der Universität Siegen.

# LEBENSLAUF



Tobias Mauksch M. Sc.

Universität Siegen, Fachgebiet »Logistik für Produktionsunternehmen«,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

2016

Abschluss des Master-Studiums »International Project Engineering and Management« (M. Sc.) an der Universität Siegen.

Seit 2016

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet »Logistik für Produktionsunternehmen« der Universität Siegen.

# LEBENSLAUF



Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Oec. Ulrich Stache

Universität Siegen, Fachgebiet »Logistik für Produktionsunternehmen«,  
Leiter

- |      |   |
|------|---|
| 1987 | Abschluss des Studiums der Wirtschaftswissenschaften an der Universität Hannover.                   |
| 1994 | Promotion zum Dr.-Ing. an der Universität Dortmund.   |
| 1994 | Leiter Logistik bei der OTTO-Melog GmbH in Köln.  |
| 1996 | Berufung an die Fachhochschule Magdeburg, Professor für Produktionswirtschaft und Logistik.         |
| 1999 | Berufung an die Universität Siegen, Leitung des Fachgebietes »Logistik für Produktionsunternehmen«. |

# ANWENDUNGSORIENTIERTE OPTIMIERUNG VON ROUTENZUGSYSTEMEN

Andreas Martini M. Sc., Tobias Mauksch M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Oec. Ulrich Stache

## 1 Einleitung

Die zunehmende Verbreitung des Konzeptes der »staplerfreien Fabrik« für innerbetriebliche Transporte hat dazu geführt, dass Routenzüge immer häufiger den Gabelstapler als Transportmittel ersetzen [1]. Ein wesentlicher Grund für diesen Wandel ist die Reduzierung der Anzahl und Schwere von Unfällen [2]. Weitere Vorteile von Routenzugsystemen liegen insbesondere in der höheren Ladekapazität [3] und dem daraus resultierenden geringeren Fahrzeug-, Personal- und Energiebedarf [4] [5].

Diese Tendenz zum vermehrten Einsatz von Routenzugsystemen hat die Planung und Optimierung solcher Systeme als Forschungsaufgabe in den Fokus zahlreicher Betrachtungen gerückt [6] [7]. Die hierfür entwickelten Verfahren lassen sich als dem Operations Research oder der Produktionstechnik zugehörig klassifizieren. Die Ansätze im erstgenannten Bereich fokussieren die Methodenentwicklung; das umsetzbare Ergebnis ist hingegen nachrangig. Diese Verfahren modellieren in der Regel abgegrenzte Teilprobleme in Form von komplexen mathematischen Gleichungssystemen und lösen sie mit speziellen Heuristiken und Algorithmen (z. B. [1] [8] [9]). Die Planungsansätze im Bereich Produktionstechnik verfolgen eine anwendungsbezogene Vorgehensweise auf der Basis von Gestaltungsregeln und einfachen Berechnungen (z. B. [10] [11] [12]). Das Ziel all dieser Ansätze ist es, praktikable Verfahrensweisen zur Erzeugung funktionierender Lösungen bereitzustellen. Das Finden des globalen Optimums ist hingegen nicht explizites Ziel der Verfahren. Die vergleichende Betrachtung der Literatur zeigt, dass die Optimierung von geplanten bzw. bestehenden Routenzugsystemen, trotz substantieller Potentiale, aus anwendungsbezogener Sicht bisher kaum Beachtung findet [13].

## 2 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer anwendungsbezogenen, modellgestützten Vorgehensweise zur Optimierung von innerbetrieblichen Routenzugsystemen unter Berücksichtigung individueller Zielsetzungen. Die Anforderungen an die Methode lassen sich durch die Zerlegung des übergeordneten Ziels in Teilziele formulieren. Die Methode soll...

- ...den Anwender befähigen ein reales Routenzugsystem auf der Basis von Ist-Aufnahmen und

-Analysen (z.B. Prozesszeiten oder Transportmengen) in einem Modell abzubilden und hinsichtlich wirtschaftlicher, logistischer und qualitativer Kriterien zu bewerten.

- ...die Analyse des abgebildeten Routenzugsystems dahingehend ermöglichen, dass aufgezeigt wird, wie sich Parameterveränderungen von Eingangsgrößen auf die Zielgrößen auswirken und welche Einflussfaktoren relevant sind.
- ...basierend auf den Analyseergebnissen die Identifizierung und Nutzung von vielversprechenden Optimierungsmaßnahmen unterstützen und deren voraussichtliche Wirkung auf das Verhalten des realen Routenzugsystems beurteilen.

Dabei werden insbesondere Anforderungen an die Allgemeingültigkeit, die Effizienz und die Flexibilität der Methode gestellt.

## 3 Methodenbeschreibung

Die funktionalen Anforderungen an die Methode ermöglichen die Formulierung eines iterativen Lösungsansatzes bestehend aus drei modellbasierten Bausteinen (Abbildung 1).

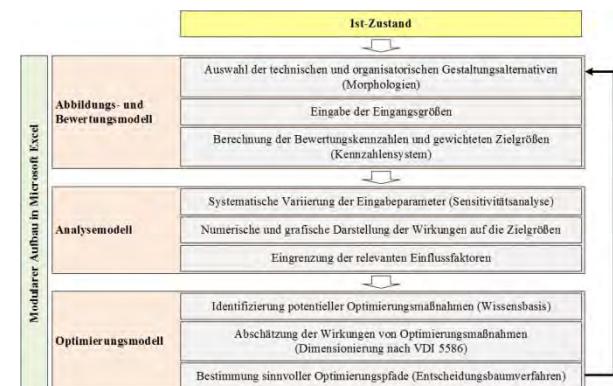


Abbildung 1: Iterativer Lösungsansatz zur Bewertung und Optimierung von Routenzugsystemen (eigene Darstellung)

Das im Rahmen der Methode verwendete Modell zur Abbildung von Routenzugsystemen basiert auf den gängigen technischen und organisatorischen Gestaltungsmöglichkeiten [14]. Die Modellbildung sowie die anschließenden Untersuchungen erfolgen im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel, da es weit verbreitet ist und standardmäßig die notwendigen Funktionen für die Berechnungen und Analysen zur Verfügung stellt (z. B. Makro-Programmierung). Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, die Methode mit einfachen Mitteln modular

umzusetzen, um einerseits die Übersichtlichkeit und andererseits die Erweiterbarkeit der Methode und des Tools zu gewährleisten.

### 3.1 Abbildungs- und Bewertungsmodell

Ausgangspunkt der Modellierung ist die Definition des Ist-Zustandes durch die Auswahl möglicher Randbedingungen und Gestaltungsmerkmale. Dies erfolgt mit Hilfe von in Microsoft Excel implementierten Morphologien, da sie zum einen die Gestaltungsvielfalt von Routenzugsystemen verdeutlichen und zum anderen die Systemkonfiguration übersichtlich darstellen. Daraufhin sind die spezifischen Eingangsdaten in separaten Abfragefeldern einzugeben. Dazu gehört beispielsweise die Eingabe der routenspezifischen Daten (z. B. Streckenlänge) und der individuellen Prozesszeiten (z. B. Beladezeit). Da die Berechnungen jeweils routenbasiert durchgeführt werden, sind diese Eingaben für jede betrachtete Route erforderlich.

Basierend auf den individuellen Eingangsdaten erfolgt die Berechnung relevanter Kennzahlen mittels eines hierarchisch aufgebauten Kennzahlensystems (Abbildung 2). Die Kennzahlen der untersten Hierarchiestufe werden dabei miteinander verknüpft bzw. zueinander in Beziehung gesetzt und definierten Zieldimensionen (z. B. Betriebskosten, Zeit oder Ergonomie) zugeordnet. Dadurch ist zum einen die Aggregation zu Spitzenkennzahlen bezogen auf die übergeordneten Ziele Wirtschaftlichkeit, Logistikeistung und Qualität möglich, zum anderen erlaubt dies die Bewertung des Routenzugsystems unter Berücksichtigung der Präferenzen des Anwenders. Die Darstellung des Bewertungsergebnisses erfolgt in einem Kennzahlen-Cockpit, das die Kennzahlen und Zielerreichungsgrade routenspezifisch und -übergreifend visualisiert.

### 3.2 Analysemodell

Im zweiten Schritt lassen sich durch Sensitivitätsanalysen die leistungslimitierenden Faktoren des Routenzugsystems und die Treiber der Zielgrößen bestimmen. Dabei werden die Eingangsgrößen im Bewertungsmodell systematisch variiert und die jeweiligen Wirkungen auf die Zieldimensionen und deren Bewertungskennzahlen numerisch und grafisch dargestellt [13]. Dies erfolgt »ceteris paribus« (»unter sonst gleichen Bedingungen«), weil dadurch die Änderungen der Zielgrößen auf die Variation lediglich eines Parameters zurückzuführen sind (Ursache-Wirkungs-Zusammenhang) [15]. Die Auswahl der zu testenden Einflussgrößen basiert auf der Überlegung, welche Größen die Leistungsfähigkeit des Routenzugsystems beeinflussen. Letztlich sind das diejenigen Eingangsparameter, die bei der Dimensionierung des Routenzugsystems einen Einfluss auf die Zeit- und Kapazitätsgrößen besitzen.

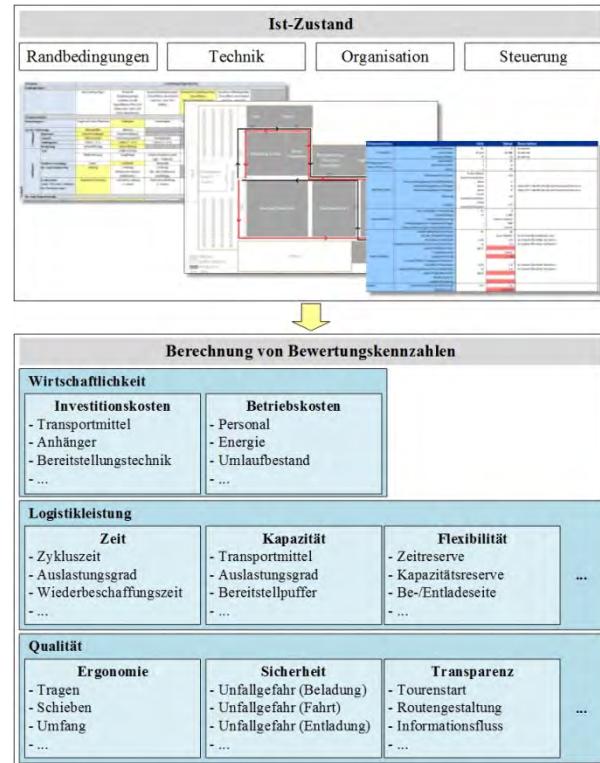


Abbildung 2: Kennzahlensystem mit Zieldimensionen basierend auf den Eingaben des Ist-Zustandes (eigene Darstellung)

Die Eingangsparameter mit zeitlichem Einfluss werden aus der Zykluszeit und deren Zeitanteilen abgeleitet. Diese sind die Beladezeit, die Haltestellenzeit, die Entladezeit und die Fahrtzeit. Die maßgeblichen Parameter sind dabei die Beladezeit pro Ladungsträger (LT), die Haltezeit je Stopp, die Entladezeit pro LT sowie die Streckenlänge und die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit. Die wesentlichen kapazitiven Restriktionen des Routenzugsystems sind gegeben durch die Transportkapazität des Routenzuges sowie die Anzahl der Pufferplätze an den Bereitstellorten. Die Robustheit des Routenzugsystems gegenüber Transportbedarfsschwankungen wird über den Durchsatz pro Route abgebildet.

Für einen spezifischen Anwendungsfall sind die Ausprägungen der zu variierenden Parameter gegeben. Zum Zweck der Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden die minimalen und maximalen Werte dieser Variablen im Rahmen der Sensitivitätsanalyse standardmäßig auf 50 % bzw. 150 % des Ausgangswertes gesetzt. Eine individuelle Anpassung ist möglich. Die ebenfalls frei wählbare Schrittweite beträgt im Standardfall 10 % des Ausgangswertes. Die Durchführung der Sensitivitätsanalyse im Bewertungsmodell erfolgt mit Hilfe von VBA-Makros. Das Ergebnis ist jeweils eine Zielgrößenmatrix pro untersuchter Variable. Um den Anwender bei der Interpretation der Ergebnisse zu unterstützen, erfolgt automatisch die Berechnung der sogenannten Einflussstärke (ES) anhand der Zielgrößenwerte (ZGW). Dabei gibt die Einflussstärke die jeweils auf den Ausgangswert bezogene prozentuale Änderung der Zielgröße bei Änderung der Variable an. Dies dient der Normierung und Vergleichbarkeit unter-

schiedlicher Zielgrößendimensionen. Es wird unterschieden zwischen der negativen Einflussstärke bei Reduzierung des Variablenwertes und der positiven Einflussstärke bei Erhöhung des Variablenwertes. Dadurch ist die Identifizierung von nichtlinearen Zielgrößenverläufen möglich. Die Einflussstärke für eine Variable berechnet sich gemäß der folgenden Formeln.

$$ES_{\text{Variable}, \text{negativ}} = \frac{ZGW_{\text{Variable}, \text{Ist-Zustand}} - ZGW_{\text{Variable}, \text{min}}}{ZGW_{\text{Variable}, \text{Ist-Zustand}}}$$

$$ES_{\text{Variable}, \text{positiv}} = \frac{ZGW_{\text{Variable}, \text{max}} - ZGW_{\text{Variable}, \text{Ist-Zustand}}}{ZGW_{\text{Variable}, \text{Ist-Zustand}}}$$

Anhand dieser eingangs- und zielgrößenabhängigen Gradienten ist es im Standardfall möglich, zu beurteilen, ob der jeweilige Zielgrößenverlauf linear oder nichtlinear ist. Damit dies auch bei individuell definierten Wertebereichen der Variablen möglich ist, werden die Zielgrößenverläufe zudem grafisch dargestellt. Dadurch ist schließlich eine Aussage über den Betriebspunkt des Routenzugsystems sowie die spezifische Wirkungsstärke der untersuchten Einflussfaktoren möglich.

### 3.3 Optimierungsmodell

Im Optimierungsmodell erfolgt zunächst die Identifizierung derjenigen Gestaltungsmaßnahmen, die einen Einfluss auf die relevanten Einflussgrößen haben können. Die Grundlage dafür sind die Gestaltungsalternativen des Abbildungs- und Bewertungsmodells und eine Wissensbasis, die die qualitativen Wirkungen von Maßnahmen auf die Einflussgrößen beinhaltet.

Im nächsten Schritt ist abzuschätzen, ob die potentiellen Optimierungsmaßnahmen im individuellen Fall tatsächlich die gewünschten Wirkungen auf die Zielgrößen haben. Das ist notwendig, weil gestalterische Veränderungen nicht zwangsläufig einen singulären Einfluss auf Eingangs- und Zielgrößen haben, sondern komplexe Wirkungszusammenhänge vorliegen können [13]. Es ist somit nicht nur die Struktur des Routenzugsystems, sondern auch dessen Ressourcenbedarf zu überprüfen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Da die Überprüfung am realen System nicht sinnvoll ist, muss das Routenzugsystem neu gestaltet und dimensioniert werden. Dies geschieht im Rahmen des Abbildungs- und Bewertungsmodells mit Hilfe des anwendungsorientierten Dimensionierungsansatzes der VDI-Richtlinie 5586 [16]. Abschließend erfolgt die Bestimmung sinnvoller Optimierungspfade, indem die geplanten Varianten mit dem Ist-Zustand in Bezug auf die individuellen Zielvorstellungen verglichen werden. Durch Anwendung des Entscheidungsbaumverfahrens werden lediglich diejenigen Varianten in Betracht gezogen, die zu einer Verbesserung führen. Diese Varianten können wiederum als neue Ausgangslösungen verwendet werden (iterative Verbesserung). Die Optimierung ist beendet, wenn keine bessere Lösung mehr gefunden

wird oder definierte Schwellenwerte bezogen auf die Änderung von Zielgrößen nicht erreicht werden.

## 4 Fallbeispiel

Die Modellierung und Optimierung wird anhand eines Routenzugsystems zur Leergutver- und Fertigwarenentsorgung mit Großladungsträgern (GLT) in einem Maschinenbauunternehmen exemplarisch verdeutlicht. Insgesamt werden zwölf verschiedene Bereitstellorte mit je einem Haltepunkt von einem Zentrallager aus mit Leergut versorgt und Fertigwaren von diesen Bereitstellorten in das gleiche Zentrallager transportiert. An den Bereitstellorten findet ein 1:1-Tausch der Gitterboxen statt. Für diese Transportaufgabe werden im Ausgangszustand fünf Routenzüge auf zwei Routen mit je 1.320 m Streckenlänge eingesetzt. Auf der Route 1 verkehren drei Routenzüge, auf der Route 2 verkehren zwei Routenzüge. Alle Routenzüge bestehen aus einem Schlepper mit jeweils vier Anhängern in E-Rahmen-Bauweise. Die Be- und Entladung erfolgt stets auf der linken Seite.

### 4.1 Bewertung

Die Tabelle 1 zeigt das Ergebnis der Bewertung des Ist-Zustandes anhand ausgewählter Kennzahlen für die Routen und das Gesamtsystem. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit sind Investitionskosten im Ausgangszustand nicht relevant, da die genutzte Technik bereits vorhanden ist. Trotzdem werden die Investitionskosten erfasst, um die investitionsabhängigen Betriebskosten (kalkulatorische Zinsen und Abschreibungen sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten) zu berechnen. Bei den Betriebskosten fällt auf, dass insgesamt ein Anteil von 86% auf Personalkosten zurückzuführen ist. Bei der Zieldimension Zeit ist auffällig, dass mit insgesamt 63 % ein Großteil der Zykluszeit auf die Fahrt entfällt. Ursächlich hierfür sind die hohen Streckenlängen der Routen. In Bezug auf die Fahrzeuganzahl und das eingesetzte Personal ist erkennbar, dass die Anzahl der tatsächlich eingesetzten Fahrzeuge und Mitarbeiter in der Gesamtbetrachtung über dem theoretisch notwendigen Bedarf liegt. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die Fahrzeuge und Mitarbeiter den Routen fest zugeordnet sind. Die ergonomische Beurteilung auf der Basis der Leitmerkmalmethode (LMM) ergibt eine Punktzahl im mittleren Bereich, d. h. es sind die individuellen Belastungswahrnehmungen der Beschäftigten zu ermitteln und ggf. Gestaltungsmaßnahmen zu entwickeln [17].

Kennzahl	Einheit	Route 1	Route 2	System
Betriebskosten	[€]	249.701	145.862	395.563
Personalkostenanteil	[%]	87	83	86
Wegstrecke pro Stunde	[km]	8,25	4,62	12,87
Mittlere Zykluszeit	[s]	1.252	1.252	1.252
Anteil Fahrtzeit	[%]	63,3	63,3	63,3
Zeitliche Auslastung	[%]	72	61	68
Anzahl Routenzüge (exakt)	[St.]	2,17	1,22	3,39
Anzahl Routenzüge (gerundet)	[St.]	3	2	5
Kapazitive Auslastung	[%]	100	100	100
Anzahl Fahrer pro Tag (exakt)	[St.]	4,35	2,43	6,78
Anzahl Fahrer pro Tag (gerundet)	[St.]	6	4	10
Beurteilung Ergonomie		mittel	mittel	mittel

Tabelle 1: Auszug der Bewertungskennzahlen für das Fallbeispiel (eigene Darstellung)

## 4.2 Analyse

Die Durchführung der Sensitivitätsanalyse erfolgt anhand des Test-Designs in Tabelle 2. Die Anzahl der Pufferplätze ist für das Fallbeispiel kein leistungslimitierender Faktor, da ausreichend Pufferplätze an den Bereitstellorten zur Verfügung stehen. Dieser Parameter wird daher nicht weiter betrachtet. Der Durchsatzfaktor dient im Folgenden der Beurteilung des Systems hinsichtlich der Robustheit gegenüber Schwankungen der Durchsatzanforderung.

Nr.	Variable	Einheit	Ausprägung			Schrittweite
			Min	Standard	Max	
1	Beladezeit pro LT	[s]	22,5	45	67,5	4,5
2	Haltezeit je Stopp	[s]	10	20	30	2
3	Entladezeit pro LT	[s]	22,5	45	67,5	4,5
4	Streckenlänge	[m]	660	1.320	1.980	132
5	Fahrgeschwindigkeit	[km/h]	3	6	9	0,6
6	Transportkapazität	[GLT]	2	4	6	0,4
7	Durchsatzfaktor	[%]	50	100	150	10

Tabelle 2: Test-Design für die Sensitivitätsanalyse des Fallbeispiels (eigene Darstellung)

Die Tabelle 3 zeigt beispielhaft die Berechnungsergebnisse für die Variierung der Fahrgeschwindigkeit auf der Route 1. Mit 58,3% weist dieser Parameter die betragsmäßig größte Wirkungsstärke bezogen auf die Zielgröße Betriebskosten auf. Die negativen Vorzeichen in der Tabelle kennzeichnen jeweils den asynchronen Zusammenhang zwischen der Einflussgröße und der Zielgröße, d. h. bei Reduzierung der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit um 50% erhöhen sich die Betriebskosten um 58,3%. Demgegenüber führt die Erhöhung der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit um 50% zu einer Reduzierung der Betriebskosten um 21,6%. Es ist somit ersichtlich, dass zwischen der Eingangsgröße Fahrgeschwindigkeit und der Zielgröße Betriebskosten ein nichtlinearer Zusammenhang besteht. Die Abbildung 3 verdeutlicht diesen Zusammenhang durch die grafische Darstellung der Zielgrößenverläufe. Für die beispielhaften Zielgrößen Betriebskosten und Personalkosten liegt jeweils ein regressiver Verlauf vor, d. h. die Wirkung der Fahrgeschwindigkeit auf diese

Zielgrößen ist abhängig vom tatsächlichen Betriebspunkt des Routenzugsystems (hier: 6 km/h).

Kennzahl	Einheit	Fahrgeschwindigkeit			ES <sub>Fahr.neg</sub> [%]	ES <sub>Fahr.pos</sub> [%]
		3	6	9		
Betriebskosten	[€]	395.401	249.701	195.668	-58,3	-21,6
Personalkostenanteil	[%]	89	87	88	-63,3	-21,1
Wegstrecke pro Stunde	[km]	8,25	8,25	8,25	---	---
Mittlere Zykluszeit	[s]	2.044	1.252	988	-63,3	-21,2
Anteil Fahrtzeit	[%]	77,5	63,3	53,4	-22,5	-15,5
Zeitliche Auslastung	[%]	89	72	86	-22,4	18,4
Anzahl Routenzüge (exakt)	[St.]	3,55	2,17	1,72	-63,3	-21,1
Anzahl Routenzüge (gerundet)	[St.]	4	3	2	-33,3	-33,3
Kapazitive Auslastung	[%]	100	100	100	---	---
Anzahl Fahrer pro Tag (exakt)	[St.]	7,1	4,35	3,43	-63,3	-21,2
Anzahl Fahrer pro Tag (gerundet)	[St.]	8	6	4	-33,3	-33,3
Beurteilung Ergonomie		mittel	mittel	mittel	---	---

Tabelle 3: Ergebnisse der Einflussstärkenberechnung für die Route 1 bei Variierung der Fahrgeschwindigkeit (eigene Darstellung)

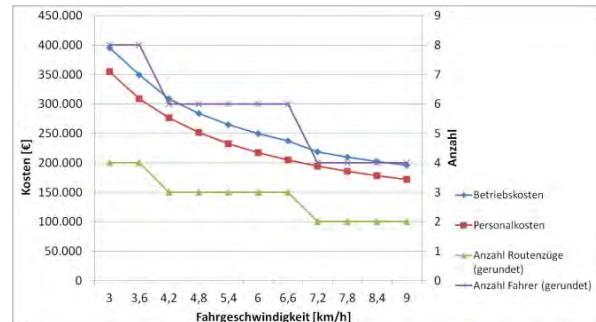


Abbildung 3: Beispielhafte Zielgrößenverläufe bei Variierung der Fahrgeschwindigkeit (eigene Darstellung)

## 4.3 Optimierung

Der Vergleich der Wirkungsstärken unter Berücksichtigung der Wirkungsrichtungen zeigt, dass die Streckenlänge für die Route 1 mit einer Wirkungsstärke von 30,8% und für die Route 2 mit einer Wirkungsstärke von 32% jeweils die bedeutendste Einflussgröße darstellt. Für die Optimierung wird daher im ersten Schritt die Verkürzung der Streckenlängen empfohlen. Mögliche Optimierungsmaßnahmen mit dieser Wirkung sind z. B. die Verwendung von Abkürzungen oder die Splitting von Routen. Da die Verwendung von Abkürzungen bei dem gegebenen Layout nur wenig Optimierungspotential verspricht, ist die Splitting der Routen als Maßnahme zu überprüfen. Im Fallbeispiel werden beide Routen geteilt, so dass zwei Routen mit je 1.110 m Länge und zwei Routen mit je 520 m Länge entstehen, für die der Ressourcenbedarf berechnet und das Ergebnis bewertet wird (Tabelle 4).

Kennzahl	Einheit	Route 1	Route 2	Route 3	Route 4	System
<b>Betriebskosten</b>	[€]	164.140	70.384	53.468	53.468	324.420
<b>Personalkostenanteil</b>	[%]	86	80	80	80	83
<b>Wegstrecke pro Stunde</b>	[km]	4,95	1,93	0,91	0,91	8,70
<b>Mittlere Zykluszeit</b>	[s]	1.120	1.120	772	772	946
<b>Anteil Fahrzeit</b>	[%]	58,9	58,9	40,4	40,4	49,7
<b>Zeitliche Auslastung</b>	[%]	70	54	75	75	67
<b>Anzahl Routenzüge (exakt)</b>	[St.]	1,40	0,54	0,38	0,38	2,70
<b>Anzahl Routenzüge (gerundet)</b>	[St.]	2	1	0,5	0,5	4
<b>Kapazitive Auslastung</b>	[%]	100	100	100	100	100
<b>Anzahl Fahrer pro Tag (exakt)</b>	[St.]	2,80	1,09	0,75	0,75	5,39
<b>Anzahl Fahrer pro Tag (gerundet)</b>	[St.]	4	2	1	1	8
<b>Beurteilung Ergonomie</b>		mittel	mittel	mittel	mittel	mittel

Tabelle 4: Auszug der Bewertungskennzahlen für das neu gestaltete Routenzugsystem (eigene Darstellung)

Aufgrund des geringen Ressourcenbedarfes für die Routen 3 und 4 (jeweils 0,38 benötigte Fahrzeuge), wird die feste Zuordnung der Fahrzeuge und Fahrer zu diesen Routen aufgehoben, d. h. sie werden von einem Fahrer mit einem Fahrzeug im Wechsel bedient. Die zusammenfassende Bewertung des Soll-Zustandes zeigt, dass durch die Spaltung der Routen die Anzahl der benötigten Fahrzeuge und Fahrer pro Schicht von fünf auf vier reduziert werden kann. Dadurch sinken wiederum die Betriebskosten um 18%. Durch die Verkürzung der Routen sind auf diesen jeweils weniger Touren pro Stunde erforderlich, wodurch sich der Fahrweg pro Stunde von 12,87 km auf 8,7 km reduziert. Der Fahrtzeitanteil sinkt von 63,3% auf 49,7%. Trotz der Reduzierung der Anzahl der Fahrzeuge und Mitarbeiter bleibt deren zeitliche Auslastung nahezu unverändert. Damit können Durchsatzschwankungen von bis zu 30% je Route mit den berechneten Ressourcen abgefangen werden. Die Anzahl der Schiebevorgänge je Mitarbeiter und Schicht steigt geringfügig an. Dennoch bleibt der LMM-Punktwert und damit die Beurteilung der ergonomischen Beanspruchung unverändert.

Das Fallbeispiel zeigt einen ersten Schritt eines möglichen Optimierungspfades auf, der aufgrund des Vergleichs der Bewertungskennzahlen der entwickelten Lösungsvariante mit dem Ist-Zustand als vielversprechend beurteilt und daher weiter verfolgt wird. Weitere Optimierungsansätze, beispielsweise bezüglich einer beidseitigen Be- und Entladung oder der Automatisierung von Prozessen, sind entsprechend der beschriebenen Verfahrensweise hinsichtlich ihres Potentials zu untersuchen und ggf. als zulässige Ausgangslösungen für die iterative Optimierung in Betracht zu ziehen.

## 5 Fazit und Ausblick

Mit der vorgestellten Methode können bestehende oder geplante Routenzugsysteme analysiert, individuell beurteilt und zielgerichtet verbessert werden. Damit geht die Methode über die gängigen anwendungsorientierten Planungsverfahren hinaus, die in der Regel nur eine zulässige Lösung generieren. Im Gegensatz zu den struktur-/problemspezifischen algorithmischen Optimierungsverfahren besteht eine universelle Anwendbarkeit des Verfahrens auf alle Arten von Routenzugsystemen (GLT/KLT

(Kleinladungsträger), Ver-/Entsorgung, integrierte / entkoppelte Beladung). Durch den modularen Aufbau sind die Berechnungen nachvollziehbar und die Modelle individuell erweiterbar, so dass zukünftige Forschungsarbeiten darauf aufbauen können. Auch die Übertragbarkeit der Methode auf artverwandte Problemstellungen wie die der Optimierung von Kommissionieranlagen erscheint möglich.

## 6 Literatur

- [1] Emde, S.: Feeding Parts to Mixed-Model Assebly Lines in the Automotive Industry with Tow Trains Dissertation, Jena, 2011.
- [2] DGUV: Statistik Arbeitsunfallgeschehen. München: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2013.
- [3] Baudin, M.: Lean logistics: The nuts and bolts of delivering materials and goods. New York: Productivity Press, 2004.
- [4] Meinhardt, I.; Schmidt, T.: Einsatzplanung für Routenzugsysteme. In: Institutskolloquium, Nr.4, 2012, S. 58-73.
- [5] Müller, E.: Energieeffizienz im Kontext Innovativer Logistiklösungen. TOP 100 Meeting Bremen, 2014.
- [6] Alnahhal, M.; Ridwan, A., Noche, B.: In-plant Milk Run Decision Problems. In: 2014 International Conference on Logistics and Operations Management (GOL). Rabat, Marokko, 2014, S. 85-92.
- [7] Martini, A.; Stache, U.: Forschungsbericht: Planung von Routenzugsystemen. Tagungsband 20. Magdeburger Logistiktage »Sichere und nachhaltige Logistik«. Magdeburg, 2015, S. 88-93.
- [8] Ciemnoczolowski, D.D.: Performance Evaluation and Planning for Cyclic, Route-based Material Distribution Systems in Lean Manufacturing. Dissertation, Michigan, 2007.
- [9] Golz, J.: Materialbereitstellung bei Variantenfließlinien in der Automobilendmontage. Dissertation, Berlin, 2013.
- [10] Brungs, F.: Der Milkrun in der Produktionslogistik. Dissertation, Darmstadt, 2012.
- [11] Günther, W.A.; Durchholz, J.; Klenk, E.; Bopert, J.: Schlanke Logistikprozesse. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.

- [12] Droste, M.: Parameterbasierte Modellierung innerbetrieblicher Milkrun-Systeme zur Planung der Materialbereitstellung in der Montage. Dissertation, Dortmund, 2013.
- [13] Martini, A.: Factors of Influence in Tugger Train Systems. XXI International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 9th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, International IIE Conference 2015 Aveiro, Portugal, 2015.
- [14] VDI 5586 Blatt 1: Routenzugsysteme; Grundlagen, Gestaltung und Praxisbeispiele. Berlin: Beuth, 2016.
- [15] Martini, A.; Stache, U.; Trenker, F.: Einflussfaktoren in Routenzugsystemen. In: wt Werkstatttechnik online 105, Nr. 1/2, 2015, S. 65-71.
- [16] VDI 5586 Blatt 2: Routenzugsysteme; Planung und Dimensionierung. Berlin: Beuth, 2016.
- [17] BauA: Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Online: <http://www.baua.de> (abgerufen am 12. April 2016).

# **TEILAUTOMATISIERTE KOMISSIONIERUNG MIT FAHRERLOSEN TRANSPORTSYSTEMEN – BEWERTUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ INTRALOGISTISCHER KONZEPTE**

---

Dr.-Ing. Hendrik Hopf  
Dipl.-Math. oec. Manuela Krones  
Technische Universität Chemnitz

Tobias Brigl M. Sc.  
Audi AG, Ingolstadt

Prof. Dr.-Ing. Egon Müller  
Technische Universität Chemnitz

# LEBENSLAUF



Dipl.-Math. oec. Manuela Krones

Technische Universität Chemnitz,  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

- 10/2005 – 12/2010 Studium Wirtschaftsmathematik, Technische Universität Chemnitz.
- 08/2008 – 10/2008 Praktikum Robert Bosch GmbH, Standort Sebnitz, Bereich Interne Unternehmensrechnung/Controlling.
- 09/2009 – 03/2010 Praktikum BMW AG, Standort Leipzig, Bereich Qualitätsmanagementsystem.
- 02/2011 – 02/2014 Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Technische Universität Chemnitz, Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb.
- 02/2011 – 02/2014 Spitzentechnologiecluster »Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik« (eniPROD®), Teilprojekt Logistik und Fabrikplanung Schwerpunkt: Analyse, Visualisierung und Bewertung von Energieeffizienz.
- Seit 04/2013 Konzipierung und Umsetzung von Schulungsworkshops zur Energieeffizienten Fabrik (u. a. für Volkswagen, Porsche, Audi).
- 03/2014 – 08/2014 Forschungsaufenthalt, University of Wisconsin-Madison, USA  
Bewertung der Ressourceneffizienz von Schweißprozessen.
- Seit 10/2014 Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Technische Universität Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme.
- 10/2014 Forschungsprojekt »SOPHIE – Synchrone Produktion durch teilautonome Planung und humanzentrierte Entscheidungsunterstützung«, Schwerpunkt: Semantische Datenanalyse.
- 11/2014 – 01/2015 Forschungsprojekt »InnoRix – Reflexivität und Kreativität als Kompetenz. Innovationsfähigkeit im demographischen Wandel«, Schwerpunkt: Statistische Auswertung quantitativer Befragungen.
- Seit 02/2015 Forschungsprojekt »PLUG+LEARN – Wandlungsfähiges, marktplatzorientiertes Kompetenznetzwerk für die Automobil- und Zuliefererindustrie«, Schwerpunkt: Weiterbildungskonzepte und -formate.
- 09/2015 – 02/2016 Industrieprojekt »Bewertung Energieeffizienz in der Logistik«, Audi AG.

# LEBENSLAUF



Tobias Brigi M. Sc.

AUDI AG,  
Logistikkonzeptentwicklung

- |             |  |
|-------------|--|
| 2004 – 2008 | Ausbildung zum Elektroniker für Geräte und Systeme,<br>Continental AG, Standort Ingolstadt.                          |
| 2008        | Angestellter im Entwicklungsbereich »Elektronische Bremssysteme«,<br>Continental AG, Standort Ingolstadt.            |
| 2009 – 2013 | Studium Wirtschaftsingenieurwesen (B. Eng.),<br>Schwerpunkt Produktion & Logistik, Technische Hochschule Ingolstadt. |
| 2013 – 2015 | Studium Systems-Engineering (M. Sc.),<br>Schwerpunkt Fabrikbetrieb und Logistik, Technische Universität Chemnitz.    |
| Seit 2015   | Konzeptplaner, Logistikkonzeptentwicklung innerhalb der Markenlogistik,<br>AUDI AG, Standort Ingolstadt.             |

# TEILAUTOMATISIERTE KOMMISSIONIERUNG MIT FAHRERLOSEN TRANSPORTSYSTEMEN – BEWERTUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ INTRALOGISTISCHER KONZEpte

Dr.-Ing. Hendrik Hopf, Dipl.-Math. oec. Manuela Krones, Tobias Brigl M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Egon Müller

## 1 Einleitung

Die Kommissionierung von Teileumfängen im Bereich der Automobilmontage erfolgt derzeit größtenteils manuell in Supermärkten mittels des Person-zu-Ware-Prinzips. Im Zusammenhang mit steigenden Herausforderungen für die Logistik, z. B. durch ein stark wachsendes Teilespektrum, entsteht ein Bedarf an neuen Logistikkonzepten. Durch die zielgerichtete Automatisierung von Teilprozessen können folgende Potenziale erschlossen werden:

- Steigerung der Produktivität,
- Reduzierung des Flächenbedarfs,
- Steigerung der Prozesssicherheit und
- Steigerung der Wandlungsfähigkeit.

Die Produktivität des Kommissionierprozesses kann durch eine Reduzierung der Laufwege für die Mitarbeiter erreicht werden. Der Anteil der Laufwege nimmt derzeit einen Anteil von ca. 30 % der Arbeitstätigkeit der Mitarbeiter ein. Durch eine Senkung von Kommissionier- und Fahrgassen kann der Flächenbedarf verringert werden. Mittels der räumlichen Konzentration von Kommissionierarbeitsplätzen können umfassendere Assistenzsysteme (z. B. Pick by Light) integriert werden, um die Prozesssicherheit zu steigern. Löst man schließlich die statische Stellplatzstruktur auf, sind Anpassungen an ein verändertes Teilespektrum einfacher möglich, sodass die Wandlungsfähigkeit der Lösung gesteigert wird.

Die AUDI AG untersucht den Einsatz der teilautomatisierten Kommissionierung als »Supermarkt der Zukunft« [1]. Damit das entwickelte logistische Konzept auch Anforderungen aus der Strategie der Nachhaltigen Logistik erfüllt, wurden im Rahmen eines Projektes Auswirkungen auf den Energieeinsatz und auf ökologische Zielgrößen bewertet [2]. Im vorliegenden Beitrag wird zunächst das Konzept der teilautomatisierten Kommissionierung erläutert. Nachfolgend wird eine wissenschaftliche Vorgehensweise zur Bewertung der Energieeffizienz in der Intralogistik dargestellt und auf den Vergleich der zwei Kommissionierkonzepte angewendet. Schließlich werden geeignete Energieeffizienzmaßnahmen für die Planung und den Betrieb derartiger Systeme abgeleitet.

## 2 Energieeffizienz in der Kommissionierung

### 2.1 Konzepte für die Kommissionierung

Die Kommissionierung bildet die Schnittstelle zwischen dem Lagerbereich und der Montage, um logistische Einheiten bedarfs- und sequenzgerecht bereitzustellen. Dabei können zwei grundsätzliche Kommissionierstrategien verfolgt werden [3]: Während bei einer statischen Kommissionierung der Mitarbeiter zu den Waren geht (Person-zu-Ware-Prinzip), erfolgt bei der dynamischen Kommissionierung der automatisierte Materialtransport zu einer ortsfesten Arbeitsstation des Kommissionierers (Ware-zu-Person-Prinzip). Durch eine verbesserte Ergonomie am Arbeitsplatz sowie die Reduzierung der Laufwege kann die Kommissionierleistung gesteigert werden.

Bei der AUDI AG werden im Rahmen eines Pilotprojektes Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) erprobt, welche die Regale unterfahren, anheben und zu einer Pickstation transportieren. Mit dem Konzept »Supermarkt der Zukunft« kann eine Flächenreduzierung von 25 % erreicht werden [1]. Im Gegensatz zum Einsatz von automatischen Kleinteilelagern (AKL), zeichnet sich das FTF-basierte Konzept durch eine höhere Wandlungsfähigkeit aus.

### 2.2 Energieeffizienz intralogistischer Systeme

Grundsätzlich bedeutet Energieeffizienz, einen gewünschten Nutzen mit möglichst wenig Energieeinsatz herzustellen oder aus einem bestimmten Energieeinsatz möglichst viel Nutzen zu generieren [4]. Die Energieeffizienz eines intralogistischen Systems bemisst sich, indem eine definierte logistische Leistung mit einem möglichst geringen Energieeinsatz erfüllt wird. Ein intralogistisches System verursacht während seiner Nutzung einen direkt zuordbaren Energieverbrauch. Die darauf wirkenden Einflussgrößen lassen sich in die folgenden Bereiche klassifizieren [5]:

- Betrieb (z. B. Anteil Leerfahrten),
- Komponenten (z. B. Wirkungsgrade, Eigenmasse, Batterie),
- Förderaufgabe (z. B. Förderstrecke und -geschwindigkeit) und
- Umgebungsbedingungen (z. B. Beschaffenheit des Hallenbodens).

Daneben wird auch ein indirekter Energieverbrauch verursacht, weil das betrachtete System in einem übergeordneten System eine Fläche einnimmt. Der belegten Fläche ist ein Energiebedarf für Beleuchtung, Heizung, Kühlung und Lüftung zuzuordnen. Zudem beeinflussen Verlustenergien (z. B. Wärme) das Systemumfeld. Gerade intralogistische Systeme, z. B. Flurförderfahrzeuge, nehmen oftmals einen großen Teil der Hallenfläche für Wegstrecken ein. Die indirekten Energiebedarfe sind folglich insbesondere bei der Layoutplanung zu berücksichtigen. Weitere Auswirkungen entstehen durch die Energiebereitstellung mittels Batterien: Bei geringerem Energieverbrauch können seltene Batterieladungen die Lebensdauer verlängern oder ggf. den Bedarf an Wechselbatterien oder Ladestationen reduzieren.

Die Analyse und Bewertung der Energieeffizienz erfordert daher eine ganzheitliche Vorgehensweise, die im Folgenden erläutert wird [6].

### 3 Vorgehen zur Analyse und Bewertung der Energieeffizienz intralogistischer Systeme

Das wissenschaftliche Vorgehen zur Analyse und Bewertung der Energieeffizienz intralogistischer Systeme umfasst sieben, teils iterativ zu durchlaufende Schritte (Abbildung 1).

In der Zielfestlegung wird zunächst das Ziel der Analyse, d. h. das zu untersuchende System und die zu bewertenden Zielgrößen, definiert. Anschließend wird der zu untersuchende Bilanzraum für das System und die Zerlegung in Subsysteme und Elemente beschrieben (Systemabgrenzung). Danach werden bereits vorhandene Informationen, u. a. über eingesetzte Energieträger, auszuführende Prozesse oder zu bearbeitende Teile, erfasst (Datenerfassung). Nachfolgend werden die Parameter, die das Systemverhalten funktional und energetisch beeinflussen, ermittelt, um relevante Einflussgrößen abzuleiten (Modellbildung). Bei der anschließenden Modellanalyse erfolgt die Beschreibung des Einflusses auf die Zielgrößen.

Die Einflussgrößen bilden die Grundlage für die Versuchsvorbereitung der praktischen Messungen (Fahrzyklen, Messausstattung zur Energie- und Prozessdatenerfassung). Bei der Versuchsdurchführung ist darauf zu achten, dass die ermittelten Energie- und Prozessinformationen in geeigneter Weise miteinander verknüpft werden, um Rückschlüsse auf die Energieeffizienz ziehen zu können. Die theoretischen und praktischen Analyseresultate werden im Schritt Auswertung der Ergebnisse zusammengeführt.

Die nachfolgende Bestimmung der peripheren Auswirkungen erlaubt die Erweiterung der Betrachtung vom direkt durch das System verursachten Energieverbrauch

auf indirekt verursachte Verbräuche im übergeordneten Fabriksystem (z. B. Energiebedarf für Kühlung oder Heizung von Lagerflächen). Die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse in Form von Handlungsempfehlungen erfolgt im letzten Schritt (Ableitung und Verallgemeinerung der Energieeffizienzhebel).

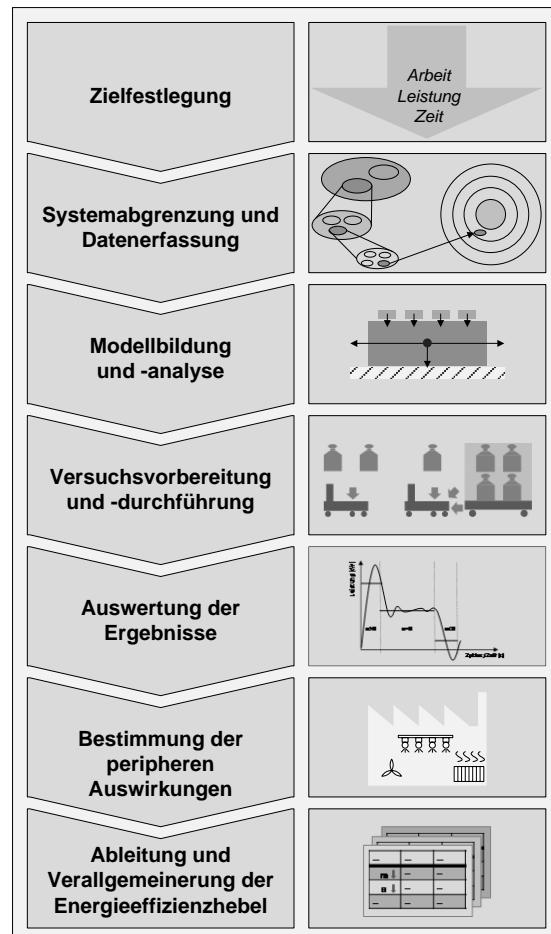


Abbildung 1: Wissenschaftliches Vorgehen zur Analyse und Bewertung des Energieverbrauchs von Logistiksystemen [7]

### 4 Analyse des Energieverbrauchs der Fahrerlosen Transportfahrzeuge

Zur Bewertung der Energieeffizienz wurden Fahrversuche im Pilotbereich der AUDI AG durchgeführt (Abbildung 2). Dazu wurde zunächst ein Fahrzyklus definiert, der die wesentlichen Elementaroperationen des Fahrzeugs (Warten, Leerfahrt, Fahrt beladen, Hub, Drehen) beinhaltet. Dieser wurde in verschiedenen Konfigurationen realisiert (Variierung der Transportmasse bis zu einer maximalen Beladung von 600 kg).

Die Erfassung des Energieverbrauchs erfolgte über den Batteriecontroller EnerSys Hawker Wi-IQ®. Für die Prozessdatenerfassung, also die Dokumentation des logistischen Prozesses, wurden Daten aus dem Flottenmanagementsystem verwendet.



*Abbildung 2: Pilotbereich »Supermarkt der Zukunft«. Foto: ©AUDI AG*

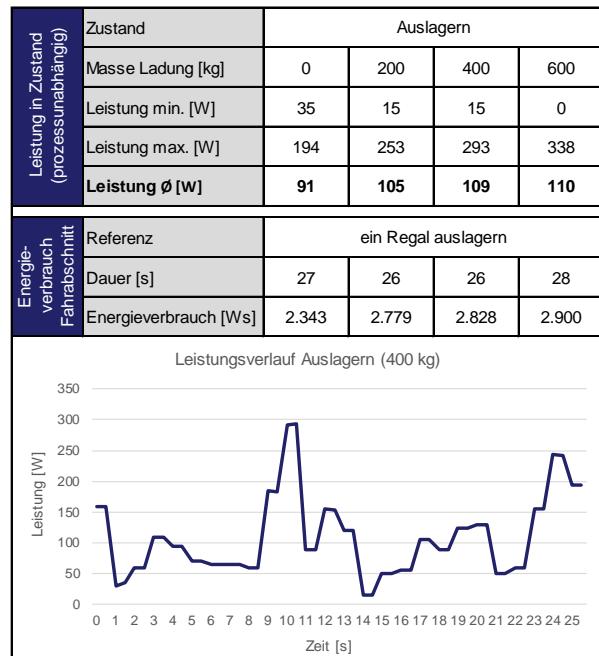
Die Leistungsaufnahme eines Fahrzeugs beträgt im Ruhezustand 20 W, im Wartezustand 60 W und während der Fahrt zwischen 0 und 450 W. Leistungsspitzen treten insbesondere beim Heben sowie beim Beschleunigen auf. Die mittlere Leistung über den gesamten Fahrzyklus beträgt 122 W bei einer mittleren Beladung von 400 kg. Je nach Transportmasse variiert dieser mittlere Wert zwischen 101 W und 128 W. Der Einfluss der Masse zeigt sich insbesondere punktuell während des Hebens, des Beschleunigens und der Gleichfahrt, hat jedoch einen geringen Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch. So führt eine Verdopplung der Transportgutmasse von 200 kg auf 400 kg zu einem 7 % höheren Energiebedarf im Fahrzyklus.

Als relevante Einflussgrößen wurden neben der Transportmasse die zurückzulegenden Transportstrecken, der Anteil der Wartezeiten sowie die Häufigkeit von Beschleunigungsvorgängen (z. B. in der Warteschlange an der Pickstation) identifiziert.

Die Auswertung der Versuchsdaten konnte in Bausteine zur Beschreibung der einzelnen Betriebszustände überführt werden (Abbildung 3). Dadurch kann der Energieverbrauch einer Prozesskette prognostiziert werden, indem die Prozessbausteine (Prozessschritte) entsprechend zusammengesetzt werden. Im oberen Bereich der Abbildung wird die Leistungsaufnahme dargestellt. Die starke Schwankung der Leistung im Baustein »Auslagern« lässt sich durch die Bandbreite der ausgeführten Operationen des Fahrzeugs begründen. Der Prozess beinhaltet die Drehung des Fahrzeugs um 90°, die Fahrt zum Regalplatz, das Anheben des Regals, die Fahrt vom Regalplatz zurück zur Fahrspur sowie die erneute Drehung um 90°, für die das Regal zunächst abgesetzt und anschließend wieder aufgenommen wird. Die maximale Leistung tritt auf, wenn das Regal am Regalplatz durch das Fahrzeug angehoben wird.

Im unteren Bereich wird der Energieverbrauch beschrieben. Die Referenz bezieht sich dabei auf den Umfang des

Betriebszustandes im Fahrzyklus (in diesem Fall die Auslagerung eines Regals). Zudem ist der Leistungsverlauf exemplarisch für die mittlere Beladung von 400 kg visualisiert.



*Abbildung 3: Baustein zur Beschreibung von Leistung und Energieverbrauch des Betriebszustandes »Auslagern« (eigene Darstellung)*

## 5 Vergleich zwischen Person-zu-Ware-Kommissionierung und Ware-zu-Person-Kommissionierung

### 5.1 Szenariobeschreibung und methodische Vorgehensweise

Die Bewertung der Energieeffizienz erfolgte für den Serienbetrieb zur Versorgung einer gesamten Fahrzeugmontage anhand der Zielgrößen Energieeinsatz, Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Hierzu wurden allgemeine bzw. unternehmensspezifische Emissions- und Kostenfaktoren sowie die aufgenommenen Daten aus dem Pilotbereich verwendet.

Das Szenario betrachtet ein Logistikgebäude, das aus einem automatisierten Bereich mit dem Fahrerlosen Transportsystem (FTS) und einem manuellen Bereich mit den Pick- und Bestückungsstationen besteht. Im FTS-Bereich befinden sich Kommissioniergestelle mit den bereitzustellenden Groß- und Kleinladungsträgern.

Für die Bewertung werden die eingesetzten Systeme ganzheitlich berücksichtigt: Entsprechend des Produktflusses werden die FTF und die Pickstationen betrachtet. Für deren Betrieb werden weitere periphere Systeme benötigt. Dazu gehören Schaltschränke zur Energieverteilung und für die Sicherheitstechnik, die Ladestation für die FTF sowie die Informations- und Kommunikationsein-

richtungen (IuK). Der dadurch versursachte direkte Energiebedarf wird anhand der Anzahl der Systeme, deren Leistungsaufnahme und der Betriebszeit ermittelt. Weiterhin wird der indirekte Energiebedarf für Beleuchtung und Heizung über eine Flächenkennzahl ( $\text{W}/\text{m}^2$  bzw.  $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) in Verbindung mit der zu beleuchtenden bzw. zu beheizenden Fläche einbezogen.

Für die Abgrenzung der Leistungsaufnahme und für die Berechnung der jährlichen Energiebedarfe wurden drei einheitliche Zustände und ein Schichtregime festgelegt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Als Zustände werden Betrieb (Arbeits-/Einsatzzeit), Standby (Pausenzeit) und Nichtbetrieb (sonstige Zeit ohne Betrieb; z. B. produktionsfreie Tage) definiert.

Anschließend wurden Schichtmodelle zur Abschätzung der geplanten Systemnutzung abgeleitet. Das erste Schichtmodell gilt für den Bereich allgemein und orientiert sich an den Arbeits- bzw. Produktionszeiten. Das zweite Schichtmodell ist für die Pickstation und die Raumbeleuchtung – es wird davon ausgegangen, dass beide Systeme im Nichtbetrieb komplett abgeschaltet werden.

Das dritte Schichtmodell ist für diejenigen Systeme, die im Dauerbetrieb genutzt werden (IuK, Schaltschränke, Sicherheitstechnik) und für die Ladestation und die Raumheizung, deren Nutzung vereinfachend als durchgängiger, gemittelter Dauerbetrieb angenommen wird.

Die Analyse und Auswertung jedes Szenarios erfolgte jeweils mithilfe einer Leistungs- und Mengenbewertung (Abbildung 4). Hierzu wurden die Systeme mithilfe der Modellierungsmethodik FMSM abgebildet [8].

## 5.2 Vergleich der Kommissionierkonzepte

Die Auswertung erfolgte für jedes Szenario zunächst mittels der Kennzahlen zu Energieeinsatz, Energiekosten und  $\text{CO}_2$ -Emissionen sowie in Form eines Pareto-Diagramms zur Darstellung des Anteils der jeweiligen Systeme am Energieverbrauch. Es zeigt sich, dass die Raumheizung und die Raumbeleuchtung einen maßgeblichen Einfluss auf den Energiebedarf des Gesamtsystems haben. So verursacht der Energieverbrauch durch Heizung und Beleuchtung je nach Szenario zwischen 64% und 92% der Energiekosten.

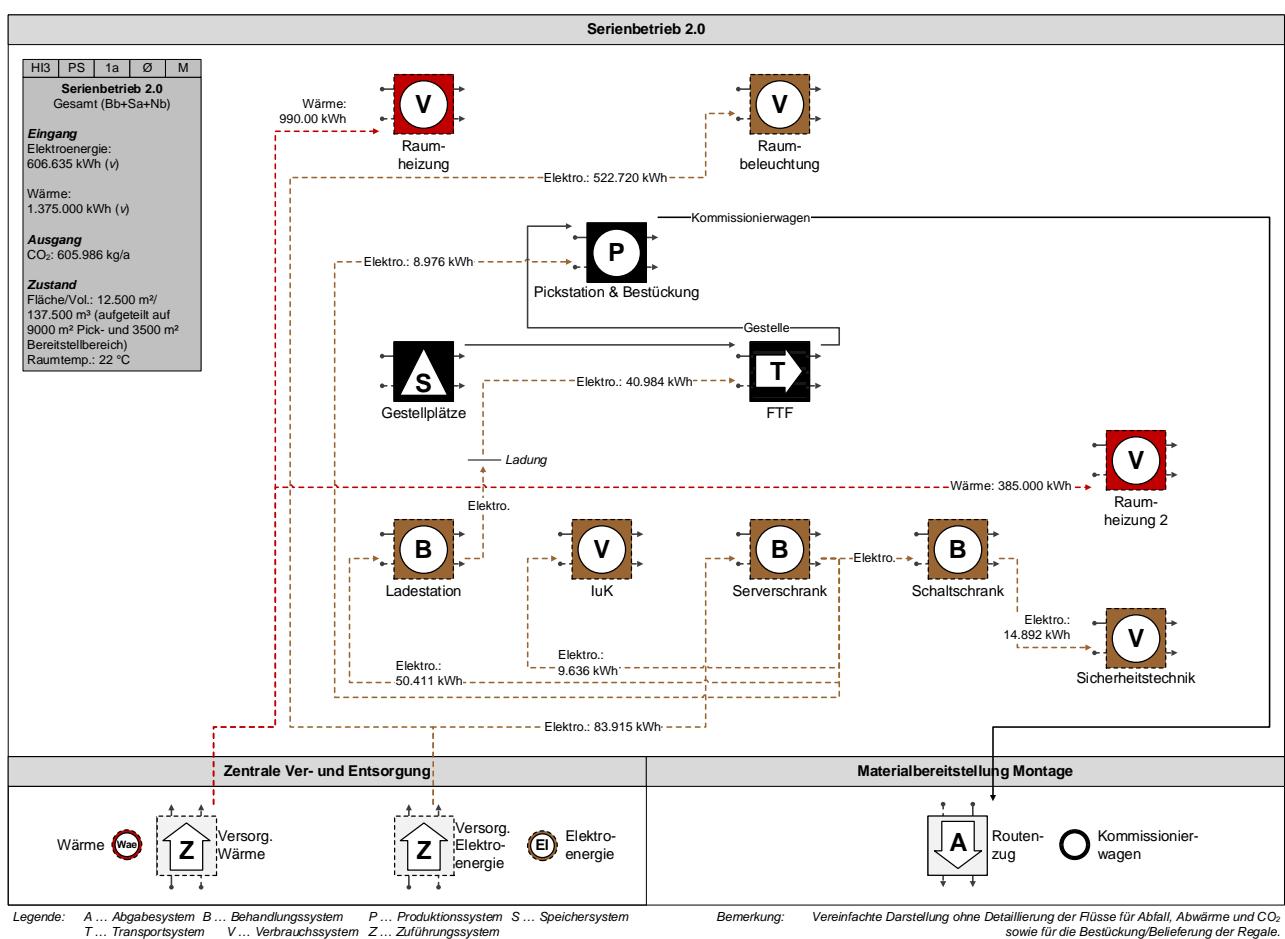


Abbildung 4: Struktur des Serienbetriebs im »Supermarkt der Zukunft« (Mengenbetrachtung) mit der Methodik FMSM [8] (eigene Darstellung)

Die Kommissionierkonzepte unterscheiden sich insbesondere durch einen geringeren Flächenbedarf beim »Supermarkt der Zukunft«. Dem gegenüber steht das Fahrerlose Transportsystem als zusätzlicher Energieverbraucher, der im manuellen Konzept nicht benötigt wird. Die Vorteilhaftigkeit hängt demnach davon ab, ob die Einsparungen im Flächenbedarf den zusätzlichen Bedarf des FTS kompensieren.

Beim Vergleich für das Szenario Serienbetrieb sinken der Elektroenergiebedarf um 40 % und der Wärmeenergiebedarf um 27 %. Die Energiekosten reduzieren sich um 35 % und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 37 % (Annahme von Emissionsfaktoren nach deutschem Mix [9]). Die Reduzierung des Energiebedarfs entsteht, da weniger Energie für die Raumheizung und Raumbeleuchtung durch Flächen einsparung und Zonierung benötigt wird.

## **6 Energieeffizienzmaßnahmen für die teilautomatisierte Kommissionierung**

Aus den Ergebnissen der Analyse wurden Energieeffizienzmaßnahmen abgeleitet, die bei Planung und Betrieb von Kommissioniersystemen berücksichtigt werden sollten (Tabelle 1).

Der Flächenbedarf hat den höchsten Einfluss auf den Energiebedarf der logistischen Lösung. Daher sind bei der Layoutplanung Weg- und Bereitstellflächen möglichst gering zu halten.

Bezogen auf den Energiebedarf für die Beleuchtung ergibt sich im Vergleich der Szenarien der Unterschied, dass der nicht begehbarer FTS-Bereich mit einer minimalen Beleuchtung betrieben werden kann.

Daher bietet es sich an, die Beleuchtung in eine allgemeine Hallenbeleuchtung und eine spezifische Arbeitsplatzbeleuchtung an den Pickstationen aufzuteilen. Die Arbeitsplatzbeleuchtung kann weiterhin in Pausenzeiten abgeschaltet werden. Schließlich ist der Einsatz energieeffizienter Beleuchtungssysteme vorzusehen. Das betrifft den Einsatz moderner Lichtleisten, Hallenstrahler, Wannenleuchten und Spiegelrasterleuchten mit Spiegelreflektoren und elektronischen Vorschaltgeräten. Durch ein entsprechendes Lichtmanagement kann Licht bedarfsgerecht und intelligent geschaltet bzw. gedimmt werden.

Bezogen auf den Heizenergiebedarf liegen die Potenziale insbesondere in der Gebäude-/Raumdimensionierung, Zonierung und der verwendeten Technologie für die Wärmeerzeugung, -verteilung und -abgabe in den Raum. Neben der zu beheizenden Fläche hat auch die Raumhöhe einen Einfluss auf die benötigte Heizenergie. In den automatisierten Bereichen kann gegebenenfalls – in Abhängigkeit der Gebäudegestaltung – eine Absenkung der Raumtemperatur vorgenommen werden. In diesem Fall ist eine dezentrale Beheizung der Pickstationen zu prüfen.

Schließlich ist sowohl in der Planung als auch im Betrieb soweit möglich auf eine hohe Auslastung der Kommissioniergestelle zu achten (z. B. Anzahl Kleinladungsträger pro Gestell). Zwar erhöht sich mit steigender Transportmasse der mittlere Leistungsbedarf der Fahrzeuge, jedoch verringern sich die Anzahl der Transporte und insbesondere die benötigte Fläche für die Gestelle.

	Fahrerloses Transportsystem	Gesamtsystem
Planung	Layoutplanung zur Reduzierung von Wegstrecken Anordnung der Gestelle zur Transportwegminimierung Reduzierung der Gestellmasse Batterietechnologie Ladetechnologie	Layoutplanung zur Reduzierung von Weg- und Bereitstellflächen Anpassung der Beleuchtungsstärke an die Sehaufgabe Aufteilung von Hallenbeleuchtung und Arbeitsplatzbeleuchtung Einsatz energieeffizienter Beleuchtungssysteme Verringerung der Raumhöhe zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs Dezentrale Beheizung der Pickstationen Einsatz effizienter Heizungssysteme Gestaltung energiesparender Gebäude
Betrieb	Reduzierung von Anfahrvorgängen Bedarfsgerechte Abschaltung in Wartezeiten Intelligenter Standby-Betrieb in produktionsfreien Zeiten Auslastung der Kommissioniergestelle	Bedarfsorientierte Schaltung der Beleuchtung in den einzelnen Bereichen

*Tabelle 1: Energieeffizienzmaßnahmen im Logistikkonzept »Supermarkt der Zukunft«*

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

Mit der dargestellten wissenschaftlichen Vorgehensweise konnte die Energieeffizienz des Logistikkonzepts »Supermarkt der Zukunft« der AUDI AG ganzheitlich analysiert und bewertet werden.

Bezüglich des Energieverbrauchs der FTF ist darauf zu achten, dass in der Planung Transportstrecken verringert und im Betrieb Anfahrvorgänge reduziert sowie die Fahrzeuge in Wartezeiten abgeschaltet werden. Bei den Kommissioniergestellen sollte die Auslastung möglichst hoch gewählt werden.

Bei der Auswertung der Ergebnisse wird deutlich, dass die Raumbeleuchtung und die Raumheizung die größten Energieverbräuche, Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Daher haben sowohl die Layoutplanung (Reduzierung und Zonierung von Fläche und Raum) als auch die Planung der Technischen Gebäudeausrüstung (effiziente Beleuchtung und Heizung) große Einflussmöglichkeiten auf den Energiebedarf des Logistiksystems.

Durch das neue Logistikkonzept können im Serienbetrieb erhebliche Einsparungen von bis zu 40 % beim Energieverbrauch erzielt werden. Die Einsparungen resultieren insbesondere aus dem geringeren Flächenbedarf, der – je nach Anwendungsfall – den zusätzlichen Energiebedarf des Fahrerlosen Transportsystems kompensieren kann. Daraus wird auch deutlich, dass eine ganzheitliche Be- trachtung eines solchen Logistiksystems notwendig ist.

Mit dem »Supermarkt der Zukunft« wird die AUDI AG als erster Automobilhersteller ein FTF-basiertes Ware-zur-Person-Konzept betreiben. Gerade in dieser Situation – wo Erfahrungswerte fehlen – liefert die Untersuchung wichtige Erkenntnisse, die der Weiterentwicklung des neuartigen Logistikkonzeptes dienen.

Die identifizierten Energieverbrauchs-Stellhebel des FTF-Systems fließen in die Layoutplanung und Systemdimensionierung des neuen Kommissioniersystems ein, um neben der Optimierung von Produktivität und Flächeneffizienz auch die Senkung der Energiekosten realisieren zu können. Insbesondere vor dem Hintergrund steigender Energiekosten stellt das einen nicht zu vernachlässigenen Faktor im Bereich der Betriebskosten dar.

Neben der Berücksichtigung bei planerischen Aspekten, werden die Erkenntnisse auch in die Weiterentwicklung der Anlagentechnik einfließen, um beispielsweise – analog zu modernen Karosseriebauanlagen – den Energieverbrauch im Standby-Betrieb oder während Produktionspausen zu optimieren.

## **8 Literatur**

- [1] Bradl, N.: Rote Flitzer für Audi. In: Logistik Heute 38 (2016) 1/2, S. 38-39.
- [2] Krones, M.; Hopf, H.; Brügel, T.; Müller, E.: Energieeffizienz in der Automobilindustrie - Bewertung eines Logistikkonzeptes für die teilautomatisierte Kommissionierung. In: ProductIVty 21 (2016) 1, S. 19-22.
- [3] Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie – Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2010.
- [4] Müller, E.; Engelmann, J.; Löffler, T.; Strauch, J.: Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2009.
- [5] Günther, W. A.; Habenicht, S.: Erweiterte Logistiksystemplanung unter Einbeziehung des Energieverbrauchs. Forschungsbericht, München 2013.
- [6] Müller, E.; Krones, M.; Strauch, J.; Fischer, S.; Veit, M.: Energieeffizienz von Stetigförderern - Analyse und Bewertung von Maßnahmen in Planung und Betrieb. In: Schenk, M.; Zadek, H.; Müller, G.; Richter, K.; Seidel, H. (Hrsg.): Tagungsband 18. Magdeburger Logistiktage, Magdeburg, 19.-20.06.2013, S. 153-160.
- [7] Müller, E.; Krones, M.; Hopf, H.: Analyse und Bewertung des Energieverbrauchs von Intralogistiksystemen. In: Neugebauer, R.; Götze, U.; Drossel, W.-G. (Hrsg.): Energieorientierte Bilanzierung und Bewertung in der Produktionstechnik - Methoden und Anwendungsbeispiele. Verlag Wissenschaftliche Scripten, Chemnitz 2012, S. 175-189.
- [8] Hopf, H.: Methodik zur Fabriksystemmodellierung im Kontext von Energie- und Ressourceneffizienz. Springer Fachmedien Verlag, Wiesbaden 2016.
- [9] Umweltbundesamt: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2014, Dessau-Roßlau 2015.



# **ROUTENZÜGE IN DER VARIANTENREICHEN GROßSERIENFERTIGUNG – WANDLUNGSFÄHIGKEIT ALS SCHLÜSSEL ZUR EFFIZIENZ**

---

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Andreas Krause  
Prof. Dr.-Ing. Egon Müller  
Dr.-Ing. Jörg Strauch  
Technische Universität Chemnitz

# LEBENSLAUF



Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Andreas Krause

Technische Universität Chemnitz,  
externer Promovend

- |             |  |
|-------------|--|
| 2000 – 2004 | Westsächsische Hochschule Zwickau, Studium der Fachrichtung<br>Wirtschaftsingenieurwesen.  |
| Seit 2005   | Logistik und Beschaffung der Volkswagen Sachsen GmbH<br><br>Planer im Bereich Produktionssystem, Intralogistik, kontinuierlicher<br>Verbesserungsprozess<br><br>Themenschwerpunkte: Entwicklung und Implementierung von<br>Logistikkonzepten, Analyse und Gestaltung von Arbeitsprozessen,<br>Zeitwirtschaftsanalysen, Digitale Fabrik Logistik. |
| Seit 2008   | Mitglied des wissenschaftlichen Beirats am Institut für Betriebswirtschaft der<br>Westsächsischen Hochschule Zwickau.  |

# ROUTENZÜGE IN DER VARIANTENREICHEN GROSSERIENFERTIGUNG – WANDLUNGSFÄHIGKEIT ALS SCHLÜSSEL ZUR EFFIZIENZ

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Andreas Krause, Prof. Dr.-Ing. Egon Müller, Dr.-Ing. Jörg Strauch

## 1 Einleitung

Der Einsatz von Routenzugsystemen zur Materialversorgung in variantenreichen Großserienfertigungen kann rasch an Wirtschaftlichkeitsgrenzen stoßen. Die zunehmende Produkt-, Technologie- und Prozesskomplexität in der Automobilindustrie führt zu komplizierten und dynamischen Anforderungen an die Materialversorgung. Diese muss in der Lage sein sich permanent und unverzüglich auf Veränderungen einzustellen. Aktuelle Entwicklungen in der Informationstechnologie eröffnen darüber hinaus die Möglichkeit Prozesse smarter und intelligenter zu analysieren, zu organisieren und zu optimieren. Eine anforderungsgerechte Gestaltung der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Routenzugsystemen kann die Effizienz eines Routenzugeinsatzes erhöhen.

## 2 Blick in die betriebliche Praxis der Materialversorgung im Automobilbau

Die Trends zu kundenindividuellen Fahrzeugen, technischen und technologischen Innovationen, der globale Wettbewerb, der demografische Wandel und die zunehmende Ressourcenverknappung einschließlich der Energiewende stellen die Materialversorgung in der Automobilindustrie vor hohe Herausforderungen.

Die Produktion kundenindividuell ausgestatteter Fahrzeuge in Großserienfertigungen führt zu einem breiten Spektrum und schwankenden Bedarfen anzuliefernder Einzelteile und Baugruppen. Mit Lean- und modularen Baukastenstrategien der Hersteller sowie bauraumfokussierten Fertigungsabläufen sind verdichtete Materialbereitstellungen, hochfrequente Nachschublieferungen und die Nutzung verschiedener teilespezifischer Anlieferkonzepte wie JIT, JIS, Milkrun usw. verbunden.

Volatile Märkte, Innovationsdruck und damit einhergehende stark verkürzte Entwicklungs- und Modellwechselzyklen erfordern von der Materialversorgung eine hohe Reaktionsfähigkeit und Veränderungsgeschwindigkeit. Insbesondere bei der Produktion von mehreren Fahrzeugderivaten auf einer Fertigungslinie ist der Zustand eines nahezu dauerhaften Modellwechsels zu beobachten. Die Unternehmen sind gezwungen ihre Materialversorgungssysteme in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess anzupassen und weiterzuentwickeln (permanente Planung). Häufig handelt es sich um Umplanungen (Ersatz-, Erweiterungs- oder Verbesserungsplanungen) eines

bestehenden Systems (Brownfield). In diesen Fällen existiert meist eine Reihe von Restriktionen in Form bereits investierter Routenzugtechnik und vorhandener Infra- bzw. Organisationsstrukturen. Diese führen zu einer deutlich höheren Komplexität hinsichtlich der Planung und Umsetzung optimaler Prozesse, als im Fall einer grundlegenden Neuplanung eines Versorgungssystems (Greenfield), beispielsweise beim Bau einer neuen Fertigungsstätte, möglich wäre [1] [2] [3] [4].

Technische und technologische Innovationen eröffnen den Herstellern neue Lösungsansätze hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung der Produkte. Es ist eine zunehmende Vielfalt der Antriebstechnologien und Materialvielfalt zu beobachten. Neben Otto- und Diesel-Motoren kommen Gas, Brennstoffzelle, Hybrid und Elektroantriebe zum Einsatz. Bei den Materialien spielen Leichtbau und Recyclingfähigkeit eine Rolle, die zu einer maßgeblichen Verwendung von u.a. Aluminium und karbonfaser verstärkten Kunststoffen führen. [5] Für die Anlieferung und Bereitstellung der Einzelteile sind beispielsweise aufgrund hoher Gewichte bzw. Abmessungen der Energiespeicher und entsprechender Sicherheitsanforderungen im Umgang mit unter Druck stehenden Gastanks sowie der Temperierung von Aluminiumteilen spezifische Anlieferprozesse und Transporttechniken notwendig. Unter dem Stichwort Green Logistics wird der weltweiten Verknappung natürlicher Ressourcen, zunehmender CO<sub>2</sub> Emission und dem Klimawandel begegnet. Für Ressourceneffizienz in der Intralogistik leisten beispielsweise Brennstoffzellenantriebe einen Beitrag. Neben der Einsparung von Energie, können fertigungsnahen Flächen für Batterieladestationen vermieden und die Ladedauer reduziert werden [5] [6] [7] [8] [9] [10].

Der demografische Wandel erfordert die Anpassung der Arbeitsorganisation und der Arbeitsmittel an die Bedürfnisse von Mitarbeitern verschiedenen Alters, verschiedener Körpermaße und verschiedener Sprachräume in Verbindung mit einer durchdachten Ergonomie und Arbeitssicherheit. Die Schlüssel für den Umgang mit demografischen Einflüssen liegen in der Vermeidung physisch besonders fordernder Arbeitsplätze, dem Einsatz von Fahrrerassistenzsystemen sowie möglichst intuitiver Bedienkonzepte für Flurförderzeuge [5] [6] [7] [8].

Für die Materialversorgung gilt es, Kompliziertheit und Dynamik flexibel zu beherrschen und gleichzeitig Effizienz zu erreichen [7] [11] [12] [13].

Die Absicherung eines hohen Flexibilitätsniveaus bedeutet für die Logistik einen entsprechend Aufwand an zusätzlich vorzuhaltenden Materialbeständen, Flächen-, Transporttechnik- und Mitarbeiterkapazitäten. Dieser Sicherheitsvorhalt erhöht die Logistikkosten und führt zu Mehraufwendungen, die den Vorteil der hohen Transportkapazität und der Bündelungseffekte eines Routenzugsystems abschmelzen [14] [15].

Effizienzpotenziale lassen sich mit Hilfe einer Reduzierung des vorzuhaltenden Flexibilitätsniveaus auf den konkreten Flexibilitätsbedarf der Anspruchsgruppen (z.B. Produktion) erschließen. Für darüber hinausgehende Veränderung ist das Routenzugsystem wandlungsfähig zu gestalten, so dass im Bedarfsfall effektiv und effizient eine dynamische Anpassung des Flexibilitätsniveaus erreicht wird.

Dieser Anspruch führt zu einem steigenden Koordinationsumfang und zu einer zunehmenden Koordinationsintensität der logistischen Prozesse. Unter dem Stichwort Industrie 4.0 kann die Koordination mit Hilfe neuer Technologien wie Cyber-Physische Systeme, Cloud Computing und kostengünstiger Sensorik unterstützt werden. Zum einen können operative Prozesse digital abgebildet und dadurch effizienter gemanagt werden. Darüber hinaus zielen datenbasierter Betriebsmodelle darauf ab aus den Möglichkeiten der Datengewinnung, -speicherung und -verarbeitung einen Nutzen zu ziehen indem das Verhalten bestimmter Einflussgrößen besser verstanden, prognostiziert und gehandhabt werden kann (Predictive Data Analytics) [13]. Das Ziel ist es, die richtigen Informationen zu gewinnen und damit die Logistikprozesse smarter und intelligenter zu organisieren und zu steuern.

### 3 Begriff Routenzugsystem

Für ein grundlegendes Systemverständnis von Routenzugsystemen sei an dieser Stelle auf die VDI-Richtlinie 5586 verwiesen. Demnach handelt es sich bei einem Routenzugsystem um ein innerbetriebliches Transportsystem, in welchem Transporteinheiten gebündelt bewegt werden. Es besteht aus einem oder mehreren Schlepper(n) mit Anhängern sowie einem Konzept zur sich wiederholenden Ver- und Entsorgung von Quellen und Senken an mehreren räumlich getrennten Haltepunkten entlang einer oder mehrerer definierter Routen (vgl. Abbildung 1).

Routenzugsysteme bilden die Komponenten eines soziotechnischen Systems ab. Die Mitarbeiter und die Routenzugtechnik sind mit dem Ziel organisiert und strukturiert

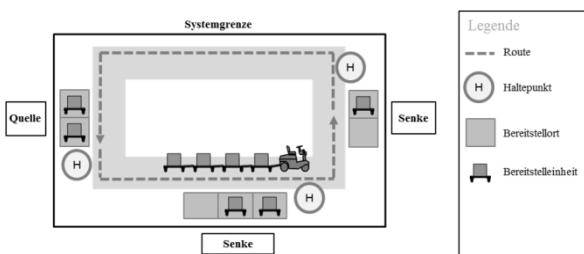


Abbildung 1: Schematische Darstellung Routenzugsystem [16], (eigene Darstellung)

der Fertigung das Material bedarfsgerecht zuzuführen. [17] Der soziotechnische Ansatz fokussiert insbesondere die wechselseitige Abhängigkeit und Prägung zwischen dem sozialen System und den technischen Komponenten. Technik wird genutzt, aber die Technik prägt auch das soziale System. [18] (vgl. Abbildung 2)

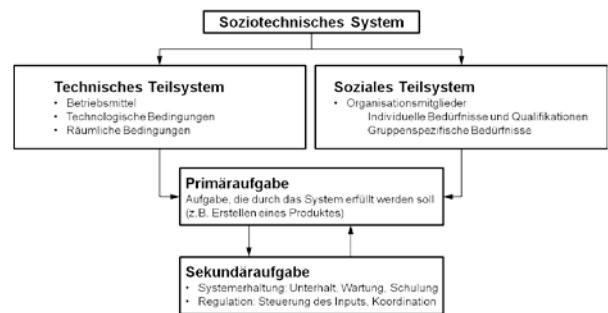


Abbildung 2: Routenzugsystem als soziotechnisches System (eigene Darstellung in Anlehnung an [19])

Die Ausdifferenzierung des soziotechnischen Systemansatzes lässt die wesentlichen Gestaltungsfelder Mensch, Technik und Organisation (MTO-Ansatz) erkennen (vgl. Abbildung 3). Das Gestaltungsfeld Mensch zielt auf den Menschen als zentralen Bestandteil eines Routenzugsystems und dessen Einfluss auf das Arbeitsverhalten des Routenzugsystems. Inhaltliche Schwerpunkte sind die Qualifikation und die Handlungskompetenz für die jeweilige Arbeitsrolle im Routenzugsystem. Das Gestaltungsfeld Technik umfasst alle physisch-technischen Elemente eines Routenzugsystems. Dazu zählen beispielsweise die Betriebsmittel wie Schlepper und Anhänger sowie das Transportgut bzw. die Transporthilfsmittel. Das Gestaltungsfeld Organisation fasst alle Elemente aus dem strukturellen und organisatorischen Bereich zusammen. Bestandteile sind die Aufbau- und Ablauforganisation eines Routenzugsystems [20] [21].

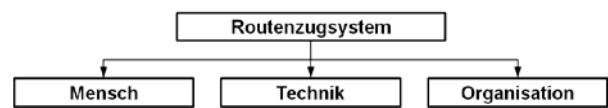
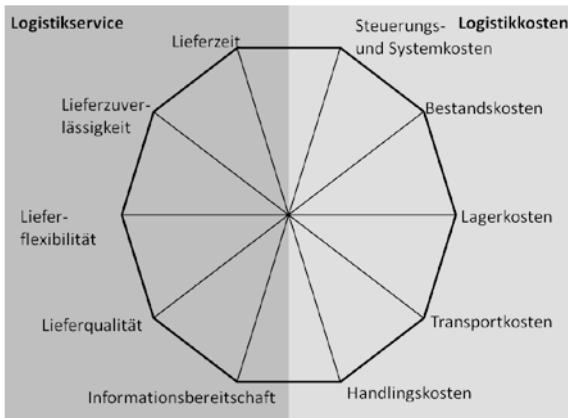


Abbildung 3: Gestaltungsfelder eines Routenzugsystems (eigene Darstellung)

### 4 Begriffe Flexibilität und Wandlungsfähigkeit

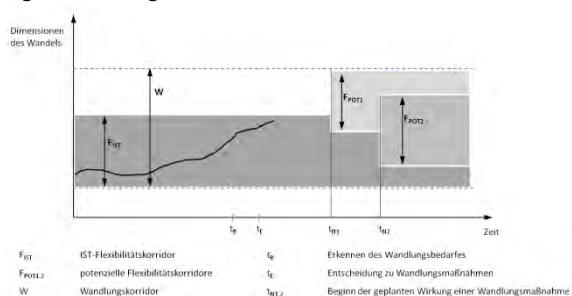
In der Literatur ist eine umfangreiche Anzahl von Definitionen zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit vorhanden. Grundsätzlich beschreibt die Flexibilität eines Systems das Potenzial auf geänderte Rahmenbedingungen reagieren zu können und den notwendigen funktionalen, dimensionalen und strukturellen Anforderungen innerhalb eines vorgehaltenen Handlungsspielraumes (Flexibilitätskorridor) zu entsprechen. Dabei handelt es sich um schnelle, qualitätserhaltende und kostenarme Anpassungen in den Dimensionen des Wandels [15] [21] [22] [23] [24] [25].



*Abbildung 4: Dimensionen des Wandels von Routenzugsystemen (eigene Darstellung)*

Die typischen Dimensionen des Wandels von Routenzugsystemen zeigt die Abbildung 4. Sie gehen aus der Logistikleistung hervor.

Im Fall der Notwendigkeit einer Anpassung des Systems über den Flexibilitätskorridor hinaus, ist eine Wandlung des Systems erforderlich. Ein System wird als wandlungsfähig bezeichnetet, wenn es aus sich selbst heraus über gezielt einsetzbare Prozess-, Struktur- und Verhaltensvariabilität verfügt. [26] Wandlungsfähigkeit bezieht sich sowohl auf das technische als auch das soziale Subsystem und erfordert menschliche Kreativität und Intelligenz um den Wandel aktiv zu gestalten. Damit die Grenzen der Flexibilitätskorridore ohne erheblichen finanziellen Aufwand, ohne große zeitliche Verzögerung und unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen der Systemelemente verlassen werden können, müssen passgenaue Wandlungskonzepte vorliegen. Für ein rechtzeitiges Reagieren auf Veränderungstreiber und das Entwickeln von Wandlungskonzepten ist eine permanente Planungsbereitschaft erforderlich. [26] Die Nutzung dieses Potenzials erfolgt jedoch erst im Bedarfsfall, so dass auch erst dann gegebenenfalls anfallende Veränderungskosten zu tragen sind (vgl. Abbildung 5).

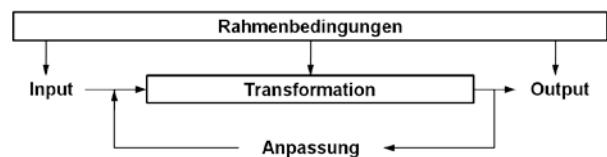


*Abbildung 5: Wandlungsfähigkeit in Routenzugsystemen (eigene Darstellung in Anlehnung an [21])*

Das Hauptziel der Logistik ist die Optimierung der Logistikleistung und damit das Erreichen des Gesamtoptimums zwischen dem Logistikservice und der Logistikkosten. Zur Sicherstellung, dass das gesamte System zu je-

dem Zeitpunkt am wirtschaftlich optimalen Betriebspunkt arbeitet, sollten die Flexibilitätskorridore nur so klein wie möglich definiert werden und damit nur die sehr wahrscheinlich eintretenden Änderungen der Rahmenbedingungen abdecken. Im Vergleich zum dauerhaften Vorhalt eines hohen Flexibilitätsniveaus, welches alle denk- und undenkbaren zukünftigen Rahmenbedingungen abdeckt, ist eine entsprechende Kosteneinsparung zu erwarten.

Das Ändern der Rahmenbedingungen eines Routenzugsystems erfolgt durch das Wirken von Veränderungstreibern aus dem Umsystem. (vgl. Abbildung 6)



*Abbildung 6: Rahmenbedingungen eines Systems (eigene Darstellung in Anlehnung an [26])*

Die Veränderungstreiber werden entsprechend ihres direkten Einflusses auf die Dimensionen des Wandels in Leistungs- und Elementtreiber unterteilt. Die Leistungs- treiber wirken direkt auf Logistikservice und -kosten. Die Elementtreiber haben keinen direkten Einfluss auf die Dimensionen des Wandels. Sie wirken über die Gestaltungselemente eines Systems [21].

Veränderungstreiber für Routenzugsysteme erwachsen beispielsweise aus allgemeinen Trends im Automobilbau zu technisch und technologischen Fortschritt, dem demografischen Wandel, Vorgaben und Richtlinien seitens des Gesetzgebers und Berufsverbänden, Arbeitssicherheit usw. Aber auch innerhalb des Unternehmens selbst können Veränderungstreiber entstehen. Beispielsweise durch eine geänderte Unternehmensstrategie, Produkt- und Produktionsprogrammänderungen. Die Veränderungstreiber sind häufig geprägt durch sich überlagernde und gegenseitig beeinflussende Faktoren, die sich in ihrem Zusammenwirken noch verstärken können und ein turbulentes Umfeld zur Folge haben [27] [25].

Das Planungssystem steuert den Wandel von Routenzugsystemen durch Reaktion oder auch Nichtreaktion auf Veränderungstreiber (reaktives Veränderungsmanagement). Häufig stellen die Strukturen von bestehenden Routenzugsystemen Restriktionen hinsichtlich der Handlungsmöglichkeiten der Planer dar. (z.B. bereits vorhandene Routenzugtechnik in Brownfield-Umgebungen). Allerdings sind diese Beschränkungen nicht als deterministisch anzusehen, da die Rahmenbedingungen durch die Akteure selbst verändert werden können [28].

Mit Hilfe eines proaktiven Veränderungsmanagements und den Aufbau von veränderungsförderlichen Strukturen kann das Planungssystem den Wandel von Routenzugsystemen unterstützen. Dazu zählt insbesondere die Installation von Wandlungsfähigern, die einen positiven Ein-

fluss auf die Potenziale des Wandels eines Systems haben. In der Literatur werden primär die Wandlungsbefähiger Modularität, Skalierbarkeit, Mobilität, Universalität und Kompatibilität benannt. Diese umfassen technokratische, strukturelle, kulturelle, personelle und informationelle Infrastrukturen [22] [23] [21] [25] [28].

## 5 Methodik zur Gestaltung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit in Routenzugsystemen

Für die Einordnung der Betrachtungsräume der Methodik wird das Unternehmen als Gesamtsystem gesehen. (vgl. Abbildung 7)

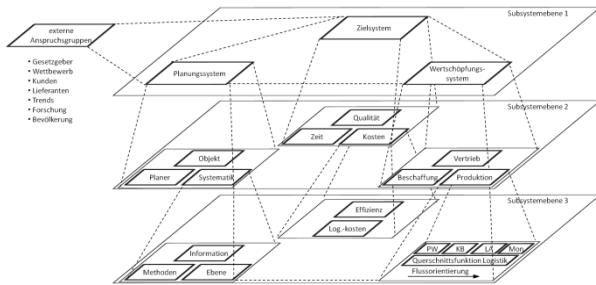


Abbildung 7: Betrachtungsräume der Methodik (eigene Darstellung)

Auf der Subsystemebene 1 bildet das Gesamtsystem eine Struktur von gegenseitigen Abhängigkeiten. Das Zielsystem beeinflusst durch Zielvorgabe den Aufbau und Ablauf des Planungs- und des Wertschöpfungssystems. Das Planungssystem gestaltet das Wertschöpfungssystem entsprechend der Zielvorgaben. Die Systeme auf der Subsystemebene 1 werden von einem System externer Anspruchsgruppen beeinflusst. Auf den Subsystemebenen 2 und 3 dargestellte Aspekte dienen für detailliertere Betrachtungen. Die Methodik zur Gestaltung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit unterstellt den Ansatz, dass die systematische Gestaltung und Nutzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zur Erreichung einer höheren Effizienz des Routenzugsystems beitragen kann. Sie orientiert sich an den Planungsaktivitäten nach Schmigalla und der VDI-Richtlinie 5200 Fabrikplanung Planungsvorgehen [2] [1] (vgl. Abbildung 8).

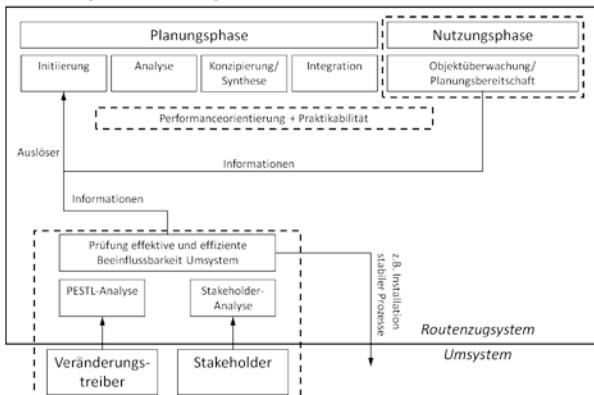


Abbildung 8: Methodik zur systematischen Nutzung der Wandlungsfähigkeit (eigene Darstellung)

Die Planungsphase wird um die Nutzungsphase des Routenzugsystems mit dem Ziel der Erreichung einer permanenten Planungsbereitschaft ergänzt. Die im praktischen Betrieb gewonnenen Daten und daraus generierte Informationen sollen Systemtransparenz schaffen und die Prognostizierbarkeit von Einflussgrößen unterstützen. Für die Praktikabilität der Anwendung der Methodik im praktischen Planeralltag soll auf möglichst einfache Planungshilfsmittel zurückgegriffen werden können mit denen performanceorientiert, kosten- und zeiteffizient Wandlungskonzepte entwickelt werden können. Mit Hilfe einer gezielten Beeinflussung des Umfeldes soll versucht werden das abgeforderte Flexibilitätsniveau abzusenken und dadurch das vorzuhaltende Flexibilitätsniveau des Routenzugsystems zu reduzieren.

Die Planungsphase umfasst die Aktivitäten Initiierung, Analyse, Konzipierung/Synthese und Integration. Die Initiierung ist geprägt von einer groben Lagebeurteilung und Problemerkennung. Auslöser können beispielsweise Prozessindikatoren aus der Nutzungsphase, Informationen aus dem Umsystem, oder grundsätzlich aus dem Zielsystem des Unternehmens abgeleitete mittel- und langfristige Planungsziele sein.

An die Initiierung schließt sich die Planungsaktivität Analyse an. Dazu ist das zu betrachtende Routenzugsystem näher zu bestimmen. Abbildung 9 zeigt wesentliche Bestimmungsfaktoren.

In der umfeldorientierten Bestimmung werden die funktionalen Leistungserwartungen an das Routenzugsystem aufgenommen. Den Schwerpunkt bildet eine konkrete Zielformulierung an den Transformationsprozess der Objekte im Raum. Die wirkungsorientierte Bestimmung zielt auf eine Beschreibung des Routenzugsystems als »Teil-Ganzes«-Beziehung. Je nach Bedarf der Detaillierung können verschiedene Aspekte auf Makro-, Meso- und Mikroebene dargestellt werden.

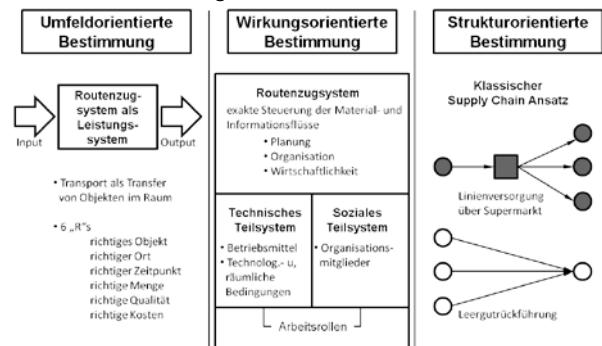


Abbildung 9: Bestimmungsfaktoren eines Routenzugsystems (eigene Darstellung)

Aspekte können beispielsweise das technische und das soziale Teilsystem sowie deren verknüpfende Arbeitsrollen sein. Die strukturorientierte Bestimmung fokussiert die Elemente sowie Relationen und damit die Konfiguration des Routenzugsystems. Es gilt Fragen hinsichtlich der zu bedienenden Quellen und Senken sowie zu Relationen zu

beantworten, über die bestimmte Organisationseinheiten und technische Einheiten eingebunden sind.

Nach der Bestimmung des Routenzugsystems sind die auftretenden Veränderungstreiber zu ermitteln, aufzunehmen und ggf. Gegenläufigkeiten herauszuarbeiten. Im Rahmen einer Expertenrunde können dazu eine PESTL- und eine Stakeholderanalyse durchgeführt werden. (vgl. Abbildung 10) Mit Hilfe der PESTEL-Analyse lassen sich innerhalb fünf verschiedener Dimensionen heterogene Veränderungstreiber identifizieren. Der Stakeholder-Ansatz bildet die Grundlage für einen Überblick über die wesentlichen Interessengruppen des Umsystems, die Einfluss auf das Routenzugsystems nehmen.

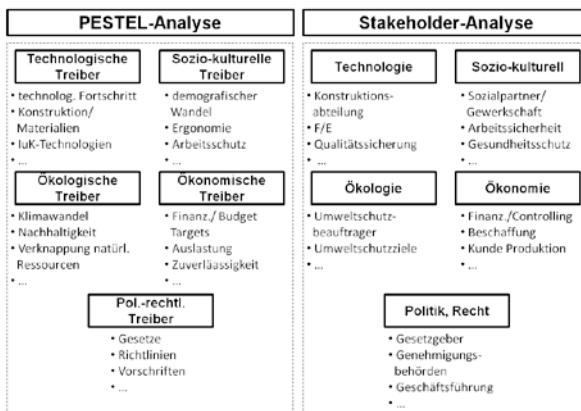


Abbildung 10: Veränderungstreiber von Routenzugsystemen (eigene Darstellung)

Die ermittelten Veränderungstreiber und deren Auswirkungen auf das Routenzugsystem sollten detailliert analysiert werden. Dazu ist eine Beschreibung jedes Treibers hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit, Ausmaß, Ursache und dessen weiterer Entwicklung wichtig. Anschließend sind Treiber mit den Bestimmungsfaktoren des Routenzugsystems zu konfrontieren und die betroffenen Gestaltungsfelder des Routenzugsystems herauszuarbeiten. Zur effizienten Vorgehensweise empfiehlt es sich eine Priorisierung von Handlungsschwerpunkten vorzunehmen. Dazu können Hilfsmittel wie beispielsweise Stärken-Schwächen- und Nutzwertanalysen Verwendung finden. Für jeden priorisierten Handlungsschwerpunkt sind eine konkrete Aufgabenstellung zu formulieren und die dafür zu analysierenden Parameter, den Umfang, die Quellen, Gestaltungselemente und Hilfsmittel zu definieren. Gleichzeitig sollten bestehende Flexibilitätskorridore aufgenommen und vorhandene Wandlungskonzepte berücksichtigt werden. Die Datenaufnahme kann für jeden Handlungsschwerpunkt mit Hilfe des Mensch-Technik-Organisations-Ansatzes (MTO) erfolgen (vgl. Abbildung 11).

Nach der Analyse folgt die Planungsaktivität Konzipierung/Synthetisierung. Ausgehend von der Wirkung eines Veränderungstreibers, ist zunächst zu untersuchen, ob dieser die abgeforderte Flexibilität erhöht und damit die Logistikleistung des Routenzugsystems reduziert.

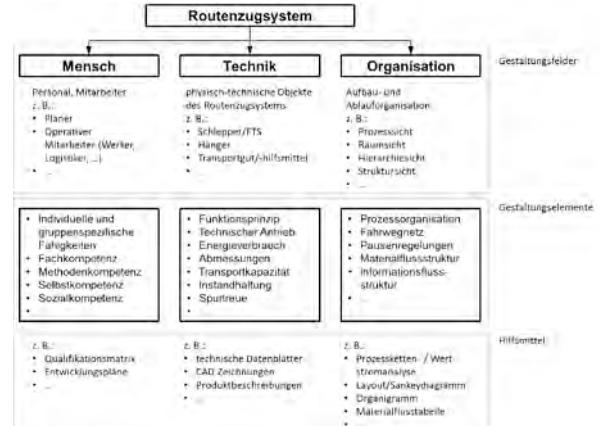


Abbildung 11: Mensch-Technik-Organisations-Ansatz (MTO) für eine detaillierte Datenaufnahme des Betrachtungsbereiches (eigene Darstellung)

In diesem Fall ist eine sinnvolle Beeinflussbarkeit des Veränderungstreibers zu prüfen. Ist die Beeinflussung möglich sowie zeitlich und finanziell machbar, dann sollte eine Anpassung des Treibers im Sinn einer Kompromissfindung angestrebt werden. Für die von einem Veränderungstreiber betroffenen Dimensionen des Wandels ist ein neuer optimaler Flexibilitätskorridor zu ermitteln. Dazu sind die Kosten für die vorzuhaltende Flexibilität und die Kosten für ein mögliches Wandlungskonzept miteinander abzugleichen (vgl. Abbildung 12). Die Flexibilitätskosten umfassen beispielsweise Kapitalbindungskosten für vorzuhaltende Materialbestände, Personalkapazitäten und verschiedene Routenzugtechniken. Die Wandlungskosten umfassen den Aufwand für die Umsetzung eines denkbaren Wandlungsszenarios bezogen auf die damit abgedeckten Transporteinheiten.

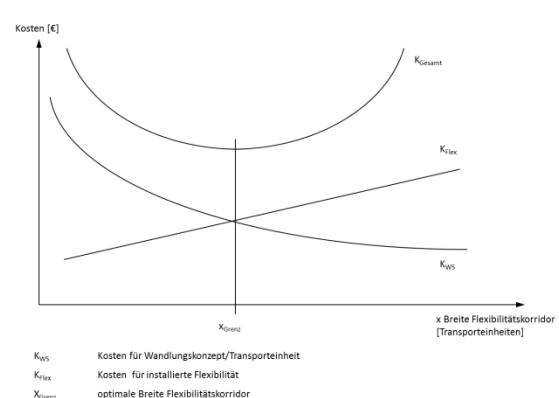


Abbildung 12: Ermittlung des optimalen Flexibilitätskorridors (eigene Darstellung)

Anschließend ist der ermittelte optimale Flexibilitätskorridor für den Veränderungstreiber dem im Routenzugsystem vorhandenen gegenüberzustellen. Im Ergebnis ist zu entscheiden, wie auf den Veränderungstreiber reagiert werden kann (vgl. Abbildung 13).

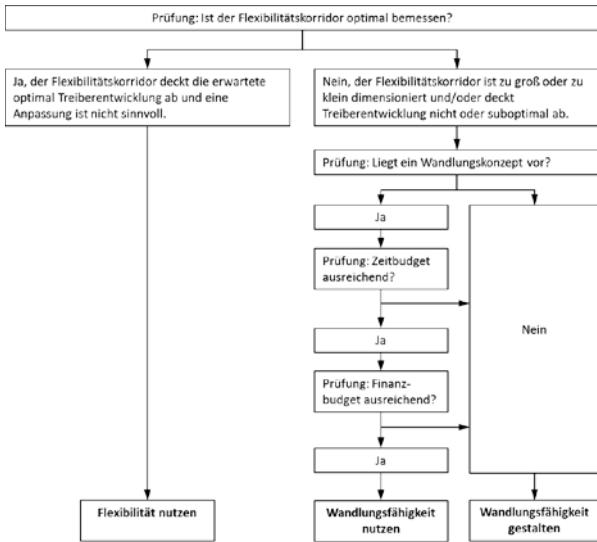


Abbildung 13: Auswahldiagramm Flexibilität nutzen, Wandlungsfähigkeit nutzen, Wandlungsfähigkeit gestalten (eigene Darstellung)

Im Fall, dass im Ergebnis die Nutzung von Wandlungsfähigkeit möglich ist, kann an dieser Stelle zur Planungsaktivität Integration übergegangen werden.

Sollte die Gestaltung von Wandlungsfähigkeit erforderlich sein, dann ist ein entsprechendes Wandlungskonzept zu erarbeiten. Dazu stehen verschiedene Handlungsansätze zur Verfügung. (vgl. Abbildung 14)

	Technokrat. Infrastruktur	Strukturelle Infrastruktur	Kulturelle Infrastruktur	Personelle Infrastruktur	Information. Infrastruktur
<b>Modularität</b> Standardisierte Elemente	Technik und Prozessbausteine	Methode-Planungsprozesse, Maßnahmenplan	unternehmensspezifisches Denken, Werte	Qualifikationszustand	IT-Systeme, Anwendungen, gesammelte
<b>Skalierbarkeit</b> Erweiter- und Reduzierbarkeit	Wert- und Leistungskomplexe	Handlungs-Unternehmensperspektive (Freiheit/Größe)	lernende Organisation, Reales Status	Mobile Arbeitsplatzmodelle	fest- oder flexibel Ausbau von Informationsstrukturen
<b>Mobilität</b> räumlich unvergeschraubte Bewegungsfreiheit	Geschwindigkeit, Rampenfähigkeit	integrierte Planungsstruktur	Visionen, Strategie	Mutmauschen von Fachdisziplinen, Task-Forces	Verbundene Strukturen von Informationen
<b>Universalität</b> Gestaltung nach Anforderungen	Transportfähigkeit einer hohen Rollbarkeit/Flexibilität	Zentrale Wissensplattformen, Best-Practice-Punkte	Interdisziplinäre Teams, Konsenzen	Wissensbildung, berentschaff. Lernkompetenz	IT-Systeme, Face-to-Face
<b>Kompatibilität</b> Verbindungs-fähigkeit	Kopplung Schnell- per Anhänger, Batteriekonzepte	Mitarbeiterkulturen, Prozesse / Infrastrukturen	Vertikale-/Funktionsorientierung	Kommunikations-/ Kooperationsfähigkeit	standardisierte Schnittstellen

Abbildung 12: Handlungsansätze zur Erarbeitung eines Wandlungskonzeptes (eigene Darstellung)

Zur Erarbeitung ist eine Funktions- und Prozessbestimmung, eine Dimensionierung und eine Strukturierung des neuen Wandlungskonzeptes vorzunehmen. Die Funktions- und Prozessbestimmung hat das Ziel die zukünftigen Funktionen- und Prozesse festzulegen und genau zu beschreiben. Im Rahmen der Dimensionierung gilt es zu klären welche Elemente die gewünschten Funktionen erfüllen und wie viele der Elemente benötigt werden. Eine anschließende Strukturierung ermöglicht eine räumliche und zeitliche Einordnung des Wandlungskonzeptes. Für die Umsetzung des Wandlungskonzeptes sind ein Zeitpuffer und ein entsprechendes finanzielles Budget einzuplanen. Die Planungsaktivität Integration hat das Ziel ein vorliegendes Wandlungskonzept umzusetzen. Dazu ist rechtzeitig zum Zeitpunkt  $t_E$  eine Entscheidung zur Umsetzung des Wandlungskonzeptes zu treffen. (vgl. Abbildung 5) Anschließend sind mit Hilfe des vorgehaltenen

finanziellen Budgets die Beschaffung und Inbetriebnahme physisch-technischer Objekte, eventuelle Umbauaktivitäten, notwendige Qualifizierungen usw. vorzunehmen. Entsprechend des vorgehaltenen Zeitpuffers ergibt sich für den Zeitpunkt  $t_N$  ein potenzieller neuer Flexibilitätskorridor. Die Integration markiert den Übergang der Planungsphase in die Nutzungsphase.  
Unter den realen Bedingungen der industriellen Produktion liegt in der Effizienz der Anpassungsprozesse ein entscheidender Faktor der Wettbewerbsfähigkeit. Voraussetzung für eine kontinuierliche Planung ist die Verfügbarkeit aller für die Planungsprozesse benötigten Daten (Digitalisierung der Fabrik) sowie von Systemen, welche die partizipative und kontinuierliche Planung unterstützen. [26] Es ist daher ein geeignetes Controllingsystem zu installieren, welches ein frühzeitiges Erkennen und Verdichten von Daten aus der Nutzung des Routenzugsystems und aus dem Umsystem ermöglicht. Zum einen können Indikatoren als quantifizierbare Größen dazu dienen sich abzeichnende Entwicklungen aus dem Serienprozess (z.B. Wartezeiten/Schicht) wahrzunehmen. Zum anderen können durch die Erfassung von Diskontinuitäten Trendbrüche im sozialen, politischen und technologischen Unternehmensumfeld wahrgenommen werden. Diskontinuitäten können in Form von schwachen Signalen erfasst werden. Mit Hilfe eines Scanning-Prozesses erfolgt ein Abtasten und Rastern der Umgebung, das nicht auf einen bestimmten Beobachtungsbereich fixiert ist. (z.B. betriebliches Vorschlagwesen, Trendmeldeformular, lessons learned).

## 6 Ausblick

Eine bewusste Nutzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit kann die Effizienz von Routenzugsystemen erhöhen. Ein entscheidender Aspekt ist dabei die Früherkennung von Veränderungstreibern und das Entwickeln von passgenauen Wandlungskonzepten. Ziel ist es, nur das Maß an Flexibilität zu investieren, das gemäß der Treiberentwicklung benötigt wird. Für darüber hinaus gehende Treiberentwicklungen gilt es die Wandlungsfähigkeit zu gestalten.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] VDI 5200, »Fabrikplanung Planungsvorgehen«, 2011.
- [2] H. Schmidgalla, Fabrikplanung, München: Carl Hanser Verlag, 1995.
- [3] G. Firlbeck, R. Isensee und T. Becker, »Überraschend deutliche Ergebnisse beim Planen der Montagebandversorgung mit Zügen«, in *VDI Berichte Nr. 2207*, 2013, pp. 87-97.

- [4] A. Martini, A. Rohe, U. Stache und F. Trenkner, »Einflussfaktoren in Routenzugsystemen – Verfahren zur Berechnung der Einflussstärke von Dimensionierungsparametern«, *wt Werkstattstechnik online*, Nr. 1/2, pp. 65-71, 2015.
- [5] T. Bauernhansl, »Vortrag Komplexitätsmanagement in der Automobilindustrie – Globale Wertschöpfung zwischen Elektrifizierung und Leichtbau«, Stuttgart, 13.11.2012.
- [6] STILL, »Megatrends Intralogistik 2020,« 2015. [Online]. Available: <http://www.still.de/15039.0.0.html>. [Zugriff am 12 April 2015].
- [7] Bundesvereinigung Logistik (BVL), »Die Logistiktrends von morgen unter der Lupe«, 2015. [Online]. Available: [www.bvl.de/blog/wird-das-rad-2015-neu-erfunden-die-logistik-trends-von-morgen-unter-der-lupe/](http://www.bvl.de/blog/wird-das-rad-2015-neu-erfunden-die-logistik-trends-von-morgen-unter-der-lupe/). [Zugriff am 12 April 2015].
- [8] H.-G. Frey, »Aktuelle Trends in der Intralogistik - Jungheinrich AG« in *VDI Berichte Nr. 2232*, 2014, pp. 5-12.
- [9] S. Lamprecht, »Vorstellung Logistikcampus«, in *Konzernarbeitskreis Logistiktechnik - Volkswagen Logistics GmbH & Co. OHG*, Wolfsburg, 2014.
- [10] M. Schweizer, »Herausforderungen und Trends in der Intralogistik«, [www.logistics.de](http://www.logistics.de), 2014.
- [11] M. ten Hompel und B. Otto, »Technik für die wandlungsfähige Logistik - Industrie 4.0«, in *VDI Berichte Nr. 2232*, 2014, pp. 117-125.
- [12] O. Wyman, »Future Automotive Industry Structure 2025 - Die Entwicklung der Wertschöpfungsstrukturen in der Automobilindustrie - Forum Automobillogistik 23.01.2013«, 2013.
- [13] G. Wehberg, »Logistik 4.0 - Die sechs Säulen der Logistik in der Zukunft«, in *Logistik der Zukunft - Logistics for the future*, I. Göpfert, Hrsg., Marburg, Springer Gabler, 2016, pp. 319-344.
- [14] A. Krause und J. Strauch, »Aspekte der Planung und des Betriebs von Routenzügen in der automobilen Endmontage«, in *Tagungsband Vernetzt Planen und Produzieren - VPP 2013*, Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, 2013, pp. 167-175.
- [15] R. Klinkner und M. Kinzel, »Arbeitskreis Flean Production: flexibel und lean – Abschlussbericht Manufacturing Excellence Dialogue«, Universitätsverlag der TU Berlin, Berlin, 2014.
- [16] VDI 5586, »Routenzugsysteme«, 2016.
- [17] G. Ropohl, Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik, 3. überarbeitete Auflage Hrsg., Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009.
- [18] T. Herrmann, »Learning and Teaching in Socio-Technical Environments«, in *Informatics and the Digital Society*, Boston, Kluwer, 2003, pp. 59-72.
- [19] E. Ulich, Arbeitspsychologie, 7. Auflage Hrsg., Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft, Steuer, Recht GmbH, 2011.
- [20] W. Günthner, »Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport«, fml – Lehrstuhl für Fördertechnik und Materialfluss Logistik, München, 2012.
- [21] P. Nyhuis, J. Deuse und J. Rehwald, Wandlungsfähige Produktion – Heute für morgen gestalten, Hannover: PZH-Verlag, 2013.
- [22] R. Hernandez, Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung- Dissertation, Düsseldorf: Fortschritt-Berichte VDI, 2002.
- [23] T. Hildebrand, Theoretische Grundlagen der bausteinbasierten, technischen Gestaltung wandlungsfähiger Fabrikstrukturen nach dem PLUG+PRODUCE Prinzip - Dissertation, Bd. 45, Chemnitz: Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, 2005.
- [24] E. Abele, T. Liebeck und A. Worn, »Measuring Flexibility in Investment Decisions for Manufacturing Systems«, *Annals of the CIRP*, pp. S. 433-436, 2006.
- [25] M. Schenk, S. Wirth und E. Müller, Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, Magdeburg, Chemnitz: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- [26] E. Westkämper, Wandlungsfähige Produktionsunternehmen, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [27] R. Cisek, C. Habicht und P. Neise, »Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme«, *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, pp. S. 441-445, 2002.
- [28] F. Ehrenmann, Kosten- und zeiteffizienter Wandel von Produktionssystemen - Dissertation, Stuttgart: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.



# **LOGISTISCHE PLANUNG UND STEUERUNG DER MATERIAL- VERSORGUNG FÜR VORSERIENFAHRZEUGE**

---

Dr. rer. pol. Wilmjakob Herlyn  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

# LEBENSLAUF



Dr. rer. pol. Wilmjakob Johannes Herlyn

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,  
Lehrbeauftragter am ILM

05/1977	Dipl. rer. pol. Universität Göttingen.
1980 – 1982	Wissenschaftlicher Mitarbeiter der GfK Nürnberg.
1982 – 2014	Angestellter/Manager in der Produktion//Logistik der Volkswagen AG.
1990	Dr. rer. pol. Universität Braunschweig.
1992	Operations Management – Cedep (Fontainebleau).
1999 – 2006	Lehrbeauftragter an der Universität Braunschweig, Institut für Produktionswirtschaft (Prof. Dr. Spengler).
Seit 2005	Lehrbeauftragter an der Ostfalia Hochschule, Wolfenbüttel, Karl-Scharfenberg-Fakultät.
2010 – 2014	Lehrbeauftragter am Heinz-Nixdorf-Institut der Universität Paderborn, (Prof. Dr. Dangelmeier).
Seit 2012	Lehrbeauftragter an der Universität Magdeburg, Institut für Logistik und Materialflusstechnik (Prof. Dr. Zadek).

# LOGISTISCHE PLANUNG UND STEUERUNG DER MATERIALVERSORGUNG FÜR VORSERIENFAHRZEUGE

Dr. rer. pol. Wilmjakob Herlyn

## 1 Einleitung

Die Variantenvielfalt und technische Komplexität im Fahrzeugbau nimmt durch neue Karosserieformen und den Einbau von elektronischen Steuerungen für Komfort- und Assistenzsysteme stetig zu. Um einen sicheren Produktionsstart der neuen oder veränderten Fahrzeugvarianten zu erreichen, werden die Fertigung und Montageabläufe vor dem Serieneinsatz mit Hilfe von Vorserienfahrzeugen überprüft. Der Bau von Vorserienfahrzeugen spielt im Rahmen des Anlaufmanagements eine wichtige Rolle. Die ständig steigende Anzahl neuer Modelle und Ausstattungsvarianten und die laufende technisch Weiterentwicklung führen dazu, dass im Jahr über tausend technische Änderungen in einem Fahrzeugwerk logistisch bewältigt werden müssen (vgl. [19], S. 5). Dies hat zur Folge, dass bei den OEM's jedes Jahr einige tausend Vorserienfahrzeuge gefertigt werden. Die Planung und Steuerung der Materialversorgung dieser Vorserienfahrzeuge stellt eine logistische Herausforderung dar, weil die Vorserienfahrzeuge auf denselben Anlagen und Montageländern gefertigt, wie die Serienfahrzeuge. Dabei muss die Logistik sicherstellen, dass die neuen Teile und Baugruppen – i. F. nur noch »Neuteile« genannt – an den richtigen Stellen für die jeweiligen Vorserienfahrzeuge zur Verfügung stehen. Dabei darf es nicht zu Verwechslungen der Teile und damit zu Fehleinbauten kommen. Die Aufgabe der Logistikplanung ist zum einen den genauen Bedarf der jeweils neuen Teile und Baugruppen zu ermitteln und zum anderen, die alle Teile und Baugruppen rechtzeitig an genau die richtige Stelle in der Fertigung und Montage zu steuern. Dabei kann sich entweder der Einbauort bereits bekannter Teile und Baugruppen ändern oder es werden neue Teile benötigt und bekannte Teile entfallen dafür.

Für die Planung und Steuerung der Materialversorgung von Vorserienfahrzeugen sind daher spezielle und/oder angepasste Planungsverfahren und Methoden erforderlich, insbesondere für die Steuerung und Bereitstellung der »Neuteile«. Voraussetzung ist eine spezielle Berechnung des Teilebedarfs (Materialbedarfsrechnung), da jedes Vorserienfahrzeug einen anderen Bauzustand aufweist, der von dem Serienfahrzeugen abweicht. Zudem weichen die Disposition und der Materialfluss der Neuteile (manchmal auch Vorserienteile genannt) für Vorserienfahrzeuge von dem der Teile und Baugruppen für Serienfahrzeuge ab.

## 2 Einordnung der Vorserienfahrzeuge in den Anlauf- und Produktentwicklungsprozess (PEP)

Die Produktentwicklung im Automobilbau wird über Entwicklungsprojekte gesteuert, die bestimmte Phasen durchlaufen müssen, in denen bestimmte technische »Reifegrade« (RGx) erreicht werden müssen (vgl. [18], S.15ff.). Der Bau von Vorserienfahrzeugen dient dazu die Serienreife zu erreichen, die dem Reifegrad 6 entspricht. Der Bau von Vorserienfahrzeugen erfolgt im Produktionsbereich und beginnt erst, nachdem in der Entwicklungsabteilung das Produkt durch Prototypen- und Versuchs-Fahrzeuge getestet und freigegeben worden ist. Je nach Entwicklungsumfang müssen Vorserienfahrzeuge in mehreren Stufen gefertigt werden, um die Serienreife zu erreichen. Die ersten Vorserienfahrzeuge werden häufig noch in speziellen Vorserienzentren oder Pilothallen gebaut (vgl. [20], [23]). Die nächsten Vorserienfahrzeuge werden versuchsweise bereits auf den bestehenden/angepassten Montagelinien gefertigt. Danach werden Absicherungsfahrzeuge gebaut und schließlich wird ein »Nullserienfahrzeug« gebaut, das mit Serienwerkzeugen gefertigt wird und exakt dem Bauzustand zum Serienstart (SoP) entsprechen muss (s. Abb.1).

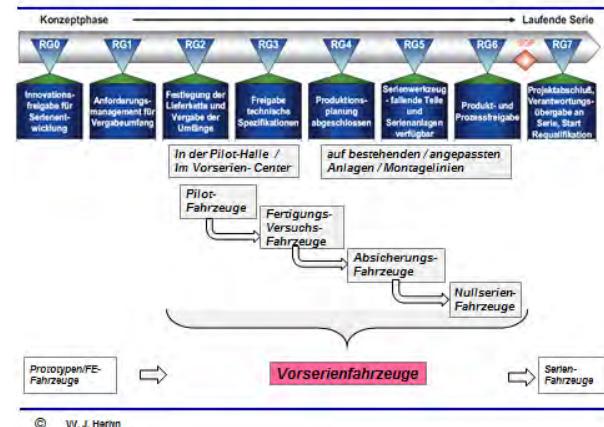


Abbildung 1: Vorserienfahrzeuge und Reifegrade (nach VDA, eigene Darstellung)

Die Definition und Einplanung der Vorserienfahrzeuge und die entsprechende Materialversorgung ist eine permanente Aufgabe der Vorserienlogistik, die sich inzwischen bei den großen OEM'S etabliert hat (vgl. [17], S. 16), [6] S. 145 ff., [14]). Durch die ständigen Fahrzeuganläufe sind auch die Vorserienprozesse mittlerweile standardisiert.

### 3 Definition und Einplanung von Vorserienfahrzeugen

Der Prozess beginnt mit der genauen Definition und terminlichen Einplanung der Vorserienfahrzeuge. Aufgrund der Variantenvielfalt werden auch die Vorserienfahrzeuge mit Hilfe von logisch geordneten Merkmalen (Optionen) definiert. Diese Merkmale beschreiben das Fahrzeug in Form von technischen, funktionalen, optischen und anderen Eigenschaften, die der Kunde auswählen und damit das Produkt konfigurieren kann. Ein Fahrzeug setzt sich aus einer genauen Anzahl von Basis-Optionen zusammen, die das Fahrzeugmodell (Basisprodukt) beschreiben, und einer genauen Anzahl von Zusatz-Optionen, die die Ausstattungsvarianten des Modells beschreiben (s. [5], S. 76 ff.). Bei Vorserienfahrzeugen ist das Unternehmen der Kunde und muss das Vorserienfahrzeug selber definieren und bestellen. Die Problematik besteht darin, dass die aktuell gültige Produktdefinition sich auf den aktuellen Zeitpunkt (Serienfahrzeuge) bezieht, und daher nicht ohne weiteres brauchbar ist. Vielmehr muss die Bestellung in die Zukunft verlegt werden, um eine gültiges Fahrzeug zu definieren. Dazu wird zuerst das gewünschte Verkaufsmodell ausgewählt, danach muss das Modelljahr, das Land und die Ausstattungslinie bestimmt werden, wodurch die Serien-Ausstattungen zugeordnet werden. Schließlich muss die Serien-Ausstattung überprüft und ggf. durch Zusatz-Ausstattungen ersetzt werden, die für das jeweilige Vorserienfahrzeug erforderlich sind. (s. Abb. 2).

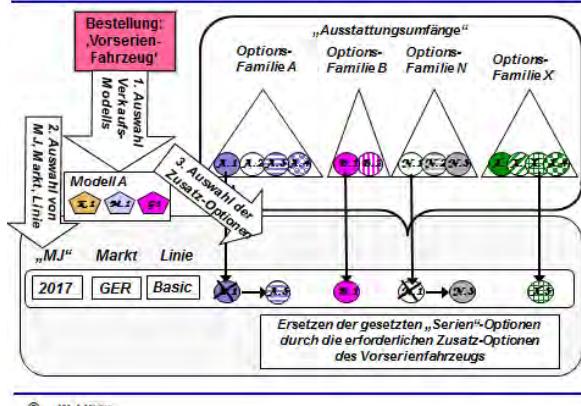


Abbildung 2 : Bestellung und Definition eines Vorserienfahrzeugs (eigene Darstellung)

Diese in die Zukunft versetzte Produktdefinition ist notwendig, weil jedes Fahrzeug-Modell und jede Ausstattung einen bestimmten »Gültigkeitszeitraum« hat, d. h. jede Option darf erst ab und nur bis zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgewählt werden (s. Abb. 3). Deshalb ist eine zulässige Definition der Vorserienfahrzeuge die zwingende Voraussetzung für die Planung und Steuerung der Vorserienfahrzeuge. Die Definition des Vorserienfahrzeugs muss einen ganz bestimmten Bauzustand des Fahrzeugs abbilden. Je früher das Vorserienfahrzeug gebaut

wird, desto weiter in die Zukunft muss die Produktgültigkeit »vorverlegt« werden. Dies kann z.B. auch das folgende Modelljahr sein, da viele Entwicklungs- und Änderungsprojekte mit dem Modelljahreswechsel einsetzen (vgl. [11]).

Basis-Optionen	Options-Familie	Options-nummer	Options-Beschreibung	Einsatz	Entfall
X.1	Antrieb	A.1	Vorderachs-Antrieb	10/14	
		A.2	Allrad - Antrieb	10/15	
	Navi-System	N.1	Ohne Navi-System	10/14	MJ-2017
		N.2	Standard Navi-System	10/14	
		N.3	High-Tec Navi-System	10/14	
	Karrossen-lackierung	F.1	Sea-Blue	10/14	
		F.2	Grüner Farbton	10/14	MJ-2016
		F.3	Silberner Farbton	10/14	
		F.4	Sky-Blue	MJ-2016	
	Sound-System	S.0	Keine Soundanlage	10/14	
		S.1	Hifi Soundanlage	10/14	
		S.2	Bose Soundsystem	10/14	MJ-2016

© W. J. Hanjin

Abbildung 3: Terminliche Gültigkeiten von Optionen (eigene Darstellung)

Nach der Produktdefinition werden die Vorserienfahrzeuge intern bestellt und in das laufende Produktionsprogramm eingeplant. Bei der Einplanung ist der Umfang der Entwicklungsprojekte, also der technischen Neuerungen und Änderungen zu berücksichtigen. Je umfangreicher die Neuerungen/Änderungen, desto früher müssen die Vorserienfahrzeuge eingeplant werden, weil die Produktionsumstellung aufwändiger ist und ggfs. noch Anpassungen vorzunehmen sind.

Da sich Vorserienfahrzeuge nicht durch die Produktdefinition von Serienfahrzeugen unterscheiden, erhält die Produktionsnummer des Vorserienfahrzeugs ein Kennzeichen »V« für Vorserie, und das Serienfahrzeug ein »S«. Dies ist für die Produktions- und Montagesteuerung erforderlich (s. w. u.). Zudem wird dem Vorserienfahrzeug ein Datum für den »Bauzustand« zugeordnet, weil sich technisch die Fahrzeuge unterscheiden. Außerdem benötigt man für das Vorserienfahrzeug ggf. weitere Termine für die Karosseriefertigung, Motorfertigung etc. (s. Abb. 4), die bei Serienfahrzeugen durch retrograde Terminierung ermittelt werden.

Produktionsnummer : „S“ 23-1-008	Modell A	X.1 M.1 Y.1	J.3 ... N.1 ...	23.05.16
Produktionsnummer : „V“ 23-1-007	Modell A	X.1 M.1 Y.1	J.3 ... N.1 ...	23.05.16

Abbildung 4: Terminierung von Vorserienfahrzeugen (beispielhaft, eigene Darstellung)

Diese Angaben sind erforderlich, weil die Durchlaufzeiten zwischen den verschiedenen Produktionsbereichen bei Vorserienfahrzeugen i.d.R. größer sind, als bei den Serienfahrzeugen. Dies liegt vor allem daran, weil die jeweiligen

Aggregate vor der weiteren Verarbeitung und Weitergabe noch überprüft werden müssen.

#### 4 Die Einsatzterminierung von Entwicklungs- und Änderungs-Projekten

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen den Entwicklungs- und den Änderungs-Projekten, die einen unterschiedlichen Einfluss auf den Vorserienprozess haben. Zu den Entwicklungsprojekten zählen die Produkt-Neuentwicklung von Karossen, Motoren und Getriebe, die »Produkt-Erweiterung« durch neue oder zusätzliche Ausstattungen sowie die »Produkt-Pflege«, bei der überarbeitet technische Lösungen zum Einsatz kommen. Zu den Änderungs-Projekten zählen kleine technische Verbesserungen am Fahrzeug, die die eigentliche Konstruktion nicht anstehen. Im »Lebenszyklus« eines Fahrzeugs folgen diese unterschiedlichen Projekte in einer bestimmten Folge aufeinander (vgl. [11]). Im Laufe der Zeit kommen neue Aggregate und neue Ausstattungen hinzu, die das Modellangebot erweitern. Regelmäßig zum Modelljahreswechsel erfolgt eine Produkt- bzw. Modellpflege, bei der umfangreichere technische Änderungen zusammengefasst werden und zum Einsatz kommen, dadurch kann der Änderungsdienst vereinfacht und die Anzahl der Serieneinsätze und Anlaufaktivitäten reduziert werden. Innerhalb eines Modelljahrs werden die Fahrzeuge laufend durch kleinere technische Änderungen verbessert und optimiert.

Alle Entwicklungs- und Änderungsprojekte erhalten eine eindeutige Projektnummer, über die der technischen Umfang abgegrenzt und beschrieben werden kann. Die Projektzahl dient zugleich zur terminlichen Steuerung. Mit ihrer Hilfe können die technischen Bauzustände in der Produktdokumentation, z.B. einer Stückliste abgebildet werden. Da ein Projekt bzw. Änderung nicht immer gleichzeitig einsetzt, muss der Einsatztermin nach verschiedenen produktbezogenen Kriterien differenziert werden, z.B. nach: Basis-Optionen, Zusatz-Optionen, Fahrzeugwerke, Modelljahr usw.

Projekt-Nummer	Einsatz-Datum	Produktdefinition		Produktions-Werke	Modell-Jahr
		Basis-Optionen	Zusatz-Option		
EP1	02.02.15	X1 / X2	****	****	****
EP2	02.02.16	X1 / X2	****	****	****
EP3	10.10.16 01.12.16	X1 X2	**** ****	**** ****	**** ****
~~~					
ÄP1	21.07.16 07.08.16	X1 X2	**** ****	****	****
ÄP2	01.03.17	X1 / X2	****	****	****
~~~					

© V.W.J. Henryn

Abbildung 5: Projekt-Terminierungs-Tabelle (beispielhaft, eigene Darstellung)

Jedem Entwicklungs- und Änderungsprojekt werden die SoP-termine produktbezogen zugeordnet.

Beispiel: So wird dem Projekt »EP1« für das Fahrzeug »K1« der »02.02.2016« und »ÄP2« für K.1 der »21.07.2016« und für K.2 der 07.08.2016 der SoP-Termin zugeordnet.

Bei der Stücklistenauflösung werden dann die Projekte durch das Tagesdatum aus der PTR ersetzt. Der Einsatztermin einer Stücklistenposition entspricht dabei dem eingetragenen Tagesdatum, während der Entfalltermin einen Arbeitstag vor dem jeweils eingetragenen Tagesdatum liegt, ansonsten würde es zu einer terminlichen Überschneidung und damit zu einer nicht eindeutigen Zuordnung der Teile führen.

Da die Entwicklungs- oder Änderungsprojekte immer auf den SoP bezogen terminiert werden, muss die Ermittlung des Bauzustandes eines Vorserienfahrzeugs anders erfolgen, da diese Projekte bei in einem Vorserienfahrzeug quasi schon früher einsetzen. Bei Vorserienfahrzeugen ist eine veränderte Stücklisten-Auflösung erforderlich, die es ermöglicht, zukünftige Baustände auf ein Vorserienfahrzeug zu transformieren (s. unten).

Einfache technische Änderungen (vgl. [4], [8]) setzen häufig innerhalb eines Modelljahres ein. Diese resultieren nicht aus Entwicklungsvorhaben der FE, sondern kommen durch Verbesserungsvorschläge zustande. Hier müssen keine Pilotfahrzeuge gebaut werden, sondern der Bau eines Nullserienfahrzeuges ist ausreichend. Sofern es sich nicht um baumustergenehmigungspflichtige Teile handelt, reicht sogar eine Einbauprobe mit den neuen oder veränderten Teilen aus. Dadurch kann man sich die Fertigung eines besonderen Vorserienfahrzeugs ersparen (s. weiter unten). Denn Vorserienfahrzeuge erhalten i.d.R. keine allgemeine Betriebserlaubnis und müssen nach der Fertigung »verschrottet« werden (vgl. [22]). Daher versuchen viele OEM'S die Vorserienfahrzeuge durch Umbau noch zu nutzen (vgl. [21], S. 6/7). In diesem Fall reicht es aus, dem Vorserienfahrzeug nur die einzelnen Entwicklungs- und Änderungsprojekte zuzuordnen, was über eine Vorserienfahrzeug-Referenz (s. Abb. 6) ermöglicht wird. Zusätzlich können hier noch weitere Teile, die abweichend verbaut werden sollen, eingetragen werden.

Produktions-Nummer des Fahrzeugs	Modell Jahr	Entwicklungs-Änderungs- projekte	Fertigungs-Montage- Datum	Abweichende Verbauung	
				Entfall-Teil	Ersatz-Teil
V - 23-1-006		ÄP2 PP2		T-20	T-21
V - 26-1-007	MJ-2017			----	----

Abbildung 6: Vorserienfahrzeug-Änderungs-Referenz (eigene Darstellung)

## 5 Ermitteln des Vorserienbedarfs und exakte Bestimmung der Vorserienteile/Neuteile

### 5.1 Die Abbildung von Bauzuständen in dynamischen Komplex-Stücklisten

Aufgrund der Komplexität und den permanenten technischen Änderungen von Fahrzeugen werden die unterschiedlichen Bauzustände nicht statisch in jeweils neuen einzelnen Stücklisten, sondern in nur einer dynamischen Stückliste abgebildet. Das bedeutet, dass jede technische Änderung in einer Stückliste durch Einsatz- und Entfall-Termine abgegrenzt wird. Dies kann durch die direkte Eingabe eines Tagesdatums erfolgen. Aufgrund der häufigen Terminverschiebungen ist diese Methode in der Praxis aber nicht sinnvoll. Eine einfachere Möglichkeit der Terminabgrenzung ist die Eingabe der Projektnummern. Diese können mit Hilfe der Projekt-Termin-Referent (PTR) interpretiert und in den der Einsatz und Entfall jeder Stücklistenposition umgesetzt werden. Mit Hilfe der PTR kann nun der Bauzustand eines Fahrzeugs für jedes Kalenderdatum bestimmt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Termine immer auf den SoP eines oder mehrerer Fahrzeugvarianten beziehen. Man spricht daher von einer dynamischen Komplex-Stückliste, weil sich alle Stücklistenpositionen in einem Zeitintervall gültig sind, das sich jederzeit, also dynamisch verändern kann und sich immer nur auf eine bestimmte Menge von Fahrzeugvarianten bezieht (s. [4], S. 91 ff.).

### 5.2 Ermitteln des Materialbedarfs für Vorserienfahrzeuge

Die Materialbedarfsrechnung für Vorserienfahrzeuge erfordert eine andere Methode als für Serienfahrzeuge, da der Bauzustand eines Vorserienfahrzeugs von dem serienmäßigen Bauzustand am Fertigungsdatum abweicht. Um den exakten Materialbedarf für Vorserienfahrzeuge zu ermitteln, muss der Bauzustand des Vorserienfahrzeugs quasi vorgezogen werden, um alle zukünftigen neuen Entwicklungsprojekte zu berücksichtigen. Dies erreicht man, indem man dem Vorserienfahrzeug einen Bauzustandstermin (hier: 02.01.2017) zuordnet, der vom Fertigungsdatum (hier: 23.05.2017) abweicht. Die Komplex-Stückliste wird dann mit diesem Bauzustandstermin aufgelöst und man erhält so für das Vorserienfahrzeug alle zu diesem Zeitpunkt 'gültigen' Teile, natürlich unter gleichzeitiger Berücksichtigung der jeweiligen Produktdefinition des Vorserienfahrzeugs Beispiel: In der Abb. 5 erhält das Serienfahrzeug »S-23-1-008« die Teile T-11, T-14 und T-19, während das Vorserienfahrzeug »V-223-1-007« die Teile T12, T-13 und T-17 erhält (s. Abb. 7).

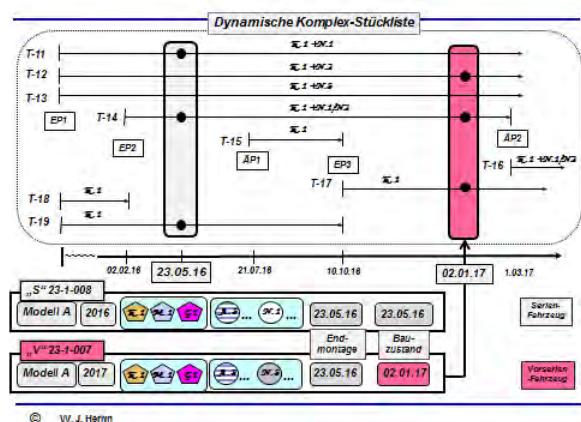


Abbildung 7: Unterschiedliche Bauzustände von Serien- und Vorserienfahrzeugen mit demselben Endmontagedatum (eigene Darstellung)

Wie man in Abb. 7 sieht, wird der Bauzustand zwischen dem 21.07 und dem 10.10.2016 nicht von dem Vorserienfahrzeug V-23-1-007 erfasst und kann dadurch nicht getestet werden! Hier handelt es sich scheinbar um eine kleine technische Änderung, die nur zwischenzeitlich zum Einsatz kommt.

Nach der vollständigen Stücklistenauflösung kann durch Abgleich mit den bekannten Serienteile ermittelt werden, welche Teile Vorserienteile und welches tatsächlich 'Neuteile' sind. Denn es könnte sein, dass ein Teil bereits für eine andere Fahrzeugvariante benötigt wird, so dass es schon als Serienteil disponiert wird und im Lager liegt. Erst wenn ein Teil bei keinem anderen Fahrzeug oder einer anderen Fahrzeugvariante verbaut wird, kann man von einem echten »Neuteil« sprechen. Alle echten Neuteile unterliegen einer Bemusterung, weshalb die Beschaffung länger dauert.

## 6 Versorgung der Montagelinien mit Neuteilen und Vorserienteilen

Aufgrund des singulären Materialbedarfs für Vorserienfahrzeuge sind gängige Anlieferungsmethoden wie z.B. KANBAN, oft nicht praktikabel, denn die Neuteile müssen i.d.R. fahrzeuggenau angeliefert werden. Die Steuerung der Montage erfolgt nach der Fahrzeugsequenz. Beim Passieren des Zählpunktes »EE« (vgl. [5], S. 210ff.) werden alle Fertigungsbereiche der Endmontagelinie, die Vormontagen, die Jis/Jit-Lieferanten, die Kommissionierungsbereiche usw. informiert und entsprechend beauftragt (s. Abb. 8).

Beispiel: Im Kommissionierungsbereich werden die Serienteile und Vorserienteile entsprechend der Fahrzeureihenfolge in die richtige Sequenz und dem Montageband sequenzgenau zugeführt (s. Abb. 9).

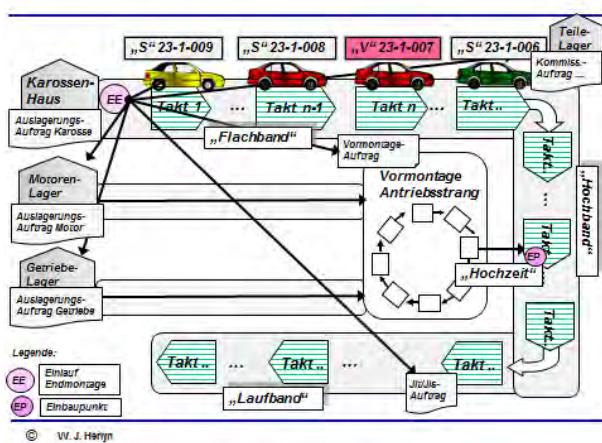


Abbildung 8: Mischfertigung von Serien- und Vorserienfahrzeugen auf einer Montagelinie (eigene Darstellung)

Das gleiche Prinzip wird auch bei den Jit/Jis-Lieferungen eingesetzt. Eine weitere Möglichkeit ist die Anlieferung der Neuteile und Vorserienteile mit Warenkörben. In einem Warenkorb werden alle an einem bestimmten Bandabschnitt benötigten Neuteile/Vorserienteile zusammengestellt und an die End- oder Vormontage angeliefert. Der Warenkorb wird dann entweder an dem jeweiligen Takt verbraucht oder er läuft eine Zeit lang mit dem Vorserienfahrzeug mit, bis alle Teile verbaut worden sind.

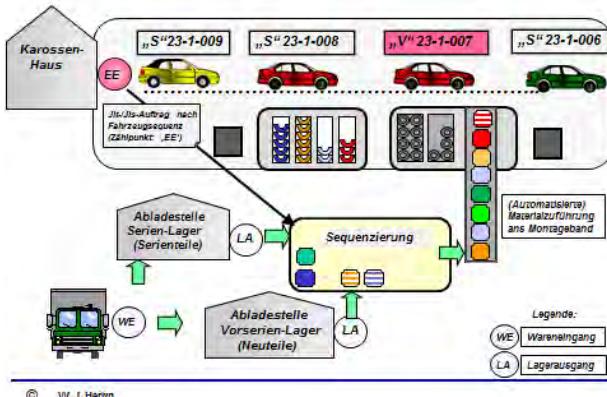


Abbildung 9: Kommissionieren/Sequenzieren von Teilen (eigene Darstellung)

Eine besonders effektive Methode ist die Anlieferung der Neuteile mit speziellen Warenkörben. In einem Warenkorb für ein Vorserienfahrzeug werden alle Vorserien- und Neuteile zusammengestellt, die an einer bestimmten Stelle im Fertigungsablauf benötigt werden (s. Abb. 10). Der Warenkorb verbleibt an einem bestimmten Takt oder er läuft solange mit dem Vorserien-Fahrzeug mit, bis alle Teile verbaut worden sind.

Die Neuteile müssen frühzeitig disponiert werden, weil die Belieferungs- und Durchlaufzeiten i.d.R. länger sind als bei den Serienteilen. Dies liegt u.a. daran, dass die Neuteile noch bemustert werden müssen, um den erforderlichen Reifegrad zu erreichen. Da der Bedarf für

Neuteile oft sehr klein ist, weichen die Losgröße und Verpackung oftmals von der (späteren) Serienverpackung und Anlieferlosgröße ab. Hinzu kommt, dass die Abladestelle für Vorserien-/Neuteile von der (späteren) Serien-Abladestelle abweicht. Denn die besondere Abladestelle für Neuteile ist sinnvoll, um eine Qualitätsüberprüfung der Baumuster usw. leichter zu ermöglichen und um die Materialanlieferung (nach erfolgreicher Prüfung) an die Produktionsanlage / Montageband exakt zu steuern.

Durch Sequenzierung können dann alle Neuteile termin- und ortsgerecht sowie fahrzeuggenau kommissioniert werden oder sie können mit Hilfe von Warenkörben für die unterschiedlichen Fertigungsbereich/Takte (am Flachband, Hochband, Laufband, Vormontage usw.) für die Vorserienfahrzeuge zusammengestellt werden. Durch den separaten Materialfluss kann ein ungewollter Materialfluss und eine Verwechslung von Teilen besser vorgebeugt werden. Der Warenkorb wird mit der Produktionsnummer des Vorserienfahrzeugs versehen, und kann zudem noch durch eine 'rote' Vorserien-Karte gekennzeichnet werden. So kann eine Verwechslung der Teile - trotz der gemischten Fertigung von Serien- und Vorserienfahrzeuge auf derselben Montagelinie - vermieden werden.

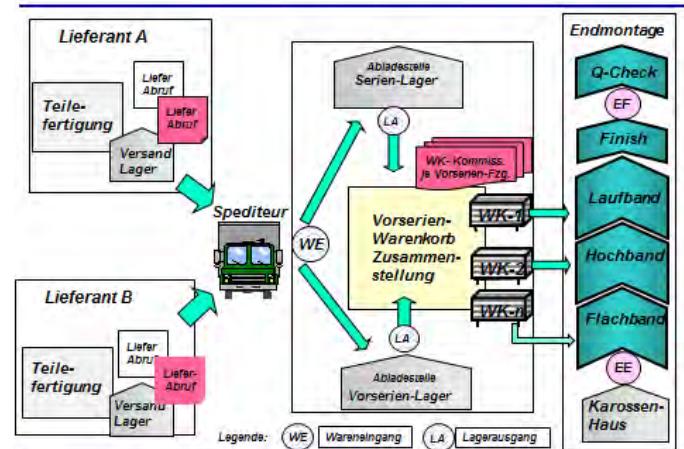


Abbildung 10: Disposition, Anlieferung und Bereitstellung der Neuteile per Warenkorb (eigene Darstellung)

## 7 Kurze Zusammenfassung

Die steigende Anzahl von Fahrzeugmodellen und Ausstattungen und die permanenten technischen Änderungen führen dazu, dass der Bau von Vorserienfahrzeugen zu einer permanenten Aufgabe geworden ist. Um Kosten einzusparen und den Anlaufprozess zu beschleunigen, werden die meisten Vorserienfahrzeuge auf den bestehenden Montagelinien gefertigt. Das hat zur Folge, dass einer Montagelinie zwei gleiche Fahrzeuge mit unterschiedlichen Bauzuständen gefertigt werden müssen.

Beim Einbau der Teile darf es nicht zu einer Verwechselung der unterschiedlichen Teile für die Serien- und Vorserienfahrzeuge kommen. Dies erfordert von der Logistik spezifische Methoden, die von der Serienabwicklung abweichen.

Zunächst müssen die Vorserienfahrzeuge in besonderer Weise definiert und in das laufende Produktionsprogramm, eingeplant werden. Dann müssen die unterschiedlichen Bauzustände der Serien- und Vorserienfahrzeuge abgebildet werden. Dies geschieht mit Hilfe der Entwicklungs- oder Änderungsprojekte, die in einer Projekt-Terminierungs-Tabelle einen SoP-Termin erhalten. Jedem Vorserienfahrzeug wird ein Bauzustands-Termin zugeordnet, mit dessen Hilfe die dynamische Komplex-Stückliste aufgelöst wird, wodurch der genaue Materialbedarf ermittelt werden kann. Dadurch können für jedes einzelne Vorserienfahrzeug auch die Vorserienteile und Neuteile exakt ermittelt und disponiert werden. Dieses Verfahren ermöglicht zudem eine fahrzeuggenaue Steuerung des Materialflusses und eine gezielte Anlieferung des Materials mittels Kommissionierung, Sequenzierung, Warenkörbe usw. in die Fertigung. Durch die beschriebenen Methoden ist es möglich, die Vorserienfahrzeuge zusammen mit den Serienfahrzeugen auf den bestehenden Montagebändern zu bauen, den Materialbedarf an Vorserien- und Neuteilen exakt zu bestimmen und damit den Produktionsanlauf schneller und zugleich sicher zu gestalten.

## 8 Literatur

- [1] Baumgarten H., Risse J.: »Logistikbasiertes Management des Produktentstehungsprozess«, Institut für Technologie und Management, TU Berlin, o. Jg.
- [2] Bischoff R.: »Anlaufmanagement – Schnittstelle zwischen Projekt und Serie«, Konstanzer Managementschriften, 2007.
- [3] Behn M., Trojahn A.: »Änderungsmanagement bei einem Systemlieferanten – Der Globale Technische Änderungsdienst der Behr GmbH&Co.KG«, in: [12], S. 229-240.
- [4] Zadek, H., Augustin M. (Hrsg.): »Kooperatives Änderungsmanagement«, BVL – Schriftenreihe Wirtschaft und Logistik, DVV Media Group GmbH, Hamburg 2015.
- [5] Herlyn W.: »PPS im Automobilbau – Produktionsprogrammplanung und -steuerung von Fahrzeugen und Aggregaten«, Hanser Verlag, München, 2012.
- [6] Klug, F.: »Logistikmanagement in der Automobilindustrie«, Springer-Verlag, Berlin, 2010.
- [7] Kropik M.: »Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung«, Springer-Verlag, Dordrecht Heidelberg London Berlin, 2009.
- [8] Lehmann, S.: »Kooperatives Änderungsmanagement«, Vortrag auf dem Forum Automobillogistik 2015, Leipzig, Veranstalter: BVL und VDA, 2015.
- [9] Lindemann U., Reichwald R.: »Integriertes Änderungsmanagement«, Springer Verlag, Berlin 1998.
- [10] Rösch F. et al.: »Grundlagen des Änderungsmanagements im Anlauf«, in: [12], S. 215-220.
- [11] Herlyn W.: »Die terminliche Steuerung des Serieneinsatzes von Produkten und technischen Änderungen im Automobilbau aus logistischer Sicht«, in: Tagungsband »Magdeburger Logistiktage«, Magdeburg, 2015.
- [12] Schuh G., Stölzle W., Straube F. (Hrsg.): »Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen«, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008.
- [13] Schmitt, Robert: »Anlaufmanagement – Begriffe und Definitionen«, Apprimus Verlag, Aachen (2015), abrufbar unter: <http://dnb.ddb.de>.
- [14] Koperski, Dirk: »Vorserien-Logistik ist keine Hexerei«, in: Automobil-Entwicklung, Januar 2000, S. 95 ff.
- [15] Beetz R., Grimm A., Eickmeyer T.: »Die Strategie der integrierten Wertschöpfungskette zur Anlaufsteuerung bei der Vorserienlogistik der AUDI AG«, in [12], S.31- 42.
- [16] Krull D., Mattfeld D.-C.: »Terminmanagement in Fahrzeugentwicklungsprojekten der Automobilindustrie«, Veröffentlicht in: Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, Tagungsband der MKWI 2012, Braunschweig.
- [17] »Ramp-Up Excellence - Ein skalierbares Anlaufmanagementprozessmodell für Elektronik Zulieferer«, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 15072 N der AG industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V.; BVL, BIBA – Bremen, 2010.

- [18] VDA: »Produktentstehung – Reifegradabsicherung für Neuteile«, Reihe Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, Frankfurt, 2000.
- [19] »Oscar« – Mitarbeiterzeitung VW Osnabrück, Ausgabe 4, 2013, Hrsg. Volkswagen Osnabrück, S. 17.
- [20] »Oscar« – Mitarbeiterzeitung VW Osnabrück, Ausgabe 4, 2014, Hrsg. Volkswagen Osnabrück, S. 3 <http://www.volksvagen-os.de/de/oscar.html>
- [21] »Bertrandtmagazin«, Nr. 11, 2011, S. 9.
- [22] Geiger, T.: »Vorserienfahrzeuge«, in Autogazetta, s. [http://www.autogazette.de/tipps/kurzel-  
lebensdauer-fuer-vorserienautos-75852.html](http://www.autogazette.de/tipps/kurzel-lebensdauer-fuer-vorserienautos-75852.html).
- [23] »Themen – Einzigartige Qualitätsarbeit in der Porsche-Produktion«, Pressemitteilung, VW AG, 4.5.2016.



# **FRACHTVERMESSUNG AM FAHRENDEN GABELSTAPLER**

---

Dr. Michael Baumgartner  
CARGOMETER GmbH, Wien, Österreich

# LEBENSLAUF



Dr. Michael Baumgartner

CARGOMETER GmbH,  
Geschäftsführer

2002 – 2005	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Wissenschaftlicher Mitarbeiter.
2005 – 2007	Universität Hamburg und Max-Planck-Institut für Meteorologie, Dissertation.
2007 – 2013	Load on – Transportanalytik, Unternehmensberater.
2013 – 2014	CARGOMETER GesBR, Geschäftsleitung.
2014 – heute	CARGOMETER GmbH, Geschäftsführer.

# FRACTVERMESSUNG AM FAHRENDEM GABELSTAPLER

Dr. Michael Baumgartner

## 1 Abstract

In der Stückgutlogistik werden zur Zeit mehr als 15% aller transportierten Paletten in zu niedrige Tarifgruppen eingruppiert. Das Grundproblem: Stückgutspediteure vermessen das Volumen ihrer Frachtgüter nur selten, weil bestehende Messsysteme einen künstlichen Flaschenhals in den Umladeterminals verursachen. Wenn es um die Verrechnung ihrer wertvollsten Ressource – den Frachtraum – geht, vertraut die ganze Branche auf Schätzwerte.

CARGOMETER entwickelt Messsysteme zur 3D-Frachtvermessung ohne störende Eingriffe in bestehende Logistikprozesse. Hauptinnovation von CARGOMETER ist die »on-the-fly« Vermessung am vorbeifahrenden Gabelstapler, sowie der Ort der Messung: die Verladetore der Umladeterminals – hier muss jede Palette durch. Damit garantiert CARGOMETER unveränderte Logistikprozesse und ermöglicht eine korrekte Verrechnung des Frachtraumes.

## 2 Einleitung

Häufig hört man in der Logistik die Frage, wie kann die Effizienz von Transportprozessen gesteigert werden? Fast noch häufiger hört man Beanstandungen wie, die Gewinnmargen der Transportunternehmen sind zu gering, oder die Treibstoffpreise steigen und steigen. Schlussendlich sind alle Bestrebungen in Richtung umweltfreundlicher Transporte von bedeutendem gesellschaftlichen Interesse. In diesem Spannungsfeld bewegt sich die Vision von CARGOMETER, Transporte so effizient und nachhaltig wie möglich zu gestalten.

Grundlegendes Ziel von CARGOMETER ist es, ein Messsystem zu entwickeln, das die Abmessungen und das Volumen von Stückgütern ohne Eingriffe in bestehende Logistikprozesse messen kann. Die Kenntnis des Sendungsvolumens ist für die Speditionen in erster Linie wichtig, um die Vergütung für eine Transportdienstleistung zu erhalten, die der erbrachten Leistung entspricht. Mit den Sendungsabmessungen können die Transportunternehmen in einem zweiten Schritt die Auslastung ihrer Lkws ermittelt. Auf Basis dieser Daten kann durch regelmäßige Analyse das Transportnetzwerk optimiert und die Lkw-Auslastung erhöht werden. Die Steigerung der Transporteffizienz führt zu Kostenvorteilen und dem Erreichen von Nachhaltigkeitszielen durch die Verringerung von schlecht ausgelasteten Fahrten und Überhängen. Überhänge, die häufig in Kleintransporten den

eigentlichen Langstrecken-Lkws nachgefahren werden müssen, um die Lieferzeiten einzuhalten.

Im aktuellen Transportgeschehen sind die tatsächlichen Sendungsabmessungen der transportierten Stückgüter (bzw. die tatsächlichen Volumina) häufig unbekannt. Um den unbekannten Wert zu erhalten, schätzen die Spediteure das Volumen einer Sendung anhand der Gewichtsangaben des Kunden über den Umweg einer durchschnittlichen Güterdichte. Werden nun leichte, voluminöse Güter befördert, wird der benötigte Frachtraum teils massiv unterschätzt.

Um die Dimension des Problems zu ermitteln, wurden von Hüller und Werderitsch verschiedene europäische Transportunternehmen untersucht, mit dem Ergebnis, dass mehr als 15% aller Stückgutsendungen untarifiziert abgerechnet werden [1]. Mindereinnahmen durch falsche Gewichtsangaben der Kunden sind bei obiger Betrachtung nicht enthalten. Wenn wir von dem von Kille und Schwemmer berechneten Marktvolumen im Stückgutbereich in Europa von rund 42 Mrd. Euro ausgehen [2], wird die Dimension des Problems deutlich.

## 3 Stückguttransporte und Stückgutterminals

Der Transport von Stückgütern (Sendungen von 31kg bis etwa 2,5t; meist auf Paletten) erfolgt in Transportnetzen, die jeden Punkt in Europa versorgen können. Ein Kennzeichen dieser Netze ist der sogenannte »gebrochene Verkehr« über Umschlagpunkte. In diesen Terminals werden die Stückgüter aus einer Region durch Nahverkehrs-Lkws gesammelt (Vorlauf) und mit allen anderen Stückgütern in die gleiche Zielregion auf Langstrecken-Lkws verladen (Hauptlauf). Dort angekommen werden sie wieder umgeladen und an die jeweiligen Empfänger mit Nahverkehrs-Lkws verteilt (Nachlauf). Da jede Stückgutsendung durch mindestens eines der mehr als 2800 Terminals in Europa [3] bewegt wird, bieten sich diese Terminals für die Messung des Volumens und des Gewichtes geradezu idealtypisch an.

In einem Stückgutterminal können aufgrund der Heterogenität der Packstücke Förderbänder nicht effizient eingesetzt werden. Deshalb werden vorwiegend Gabelstapler und Elektrohubwagen als Umschlagmittel verwendet. Förderbandbasierte Messmethoden, wie sie heute etwa im Paketbereich, Expressversand oder im Flugzeugtransport Standard sind, kommen für die Volumen- und Gewichtsbestimmung von Stückgütern auf dem Gabelstapler nicht in Frage.

## 4 Bestehende Messsysteme

Bestehende Systeme zur Vermessung der Dimensionen von Stückgut weisen zwei wesentliche Nachteile auf: Sie verwenden teure Laser-Scanner und sie benötigen ruhende, freistehende Messobjekte. Das führt zum Einsatz von maximal einer Messstation pro Terminal, die aus Platzgründen (Station plus Zu- und Abfahrtswege) oft an einer dezentralen Position des Terminals untergebracht ist. Im Terminalalltag muss in der Folge jede Sendung an diese Stelle gefahren und unter der Messvorrichtung abgestellt werden. Der gesamte Messprozess dauert pro Sendung mindestens eine Minute. Die Verbreitung derartiger Systeme ist aus den genannten Gründen sehr gering.

Die Erfahrung der Terminalbetreiber hat gezeigt, dass derartige Messstationen den Arbeitsablauf in den Terminals verlangsamen und die terminalinternen Wege verlängern. Aufgrund der Folgekosten und des Platzbedarfs in den aufgrund des starken Transportwachstums in den letzten Jahren und Jahrzehnten heute häufig unterdimensionierten Terminals werden derartige Messstationen nur sehr selten verkauft. Selbst wenn sie eingesetzt werden, wird im Regelfall nur ein kleiner Teil der täglichen Umschlagmenge als Stichprobe über die Messstation gezogen.

## 5 Technische Innovation: Der MM3D-Algorithmus

CARGOMETER MM3D (Multiimage-Motion-3D) ist ein innovatives und kostengünstiges Messsystem zur 3D-Frachtvermessung ohne störende Eingriffe in bestehende Logistikprozesse beim Güterumschlag. Hauptinnovationspunkte sind die Fähigkeit von CARGOMETER, das Ladegut am fahrenden Gabelstapler zu vermessen, sowie der Ort der Messung: die Verladetore der Umschlagterminals, die jede Ladung passieren muss. Dadurch beeinträchtigt das Messsystem weder den Arbeitsablauf im Terminal (keine Zeitverluste, keine Umwege), noch benötigt es Platz für Anfahrtswege und Messeinheiten, noch erfordert es zusätzlichen Personalaufwand (Abbildung 1 und Abbildung 2).

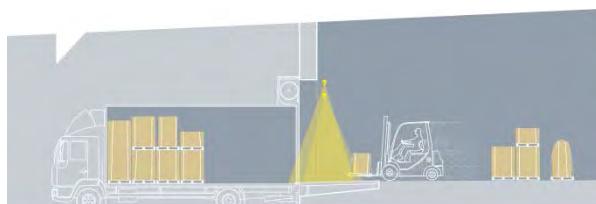


Abbildung 1: Symbolische Darstellung der MM3D-Messanordnung (eigene Darstellung)

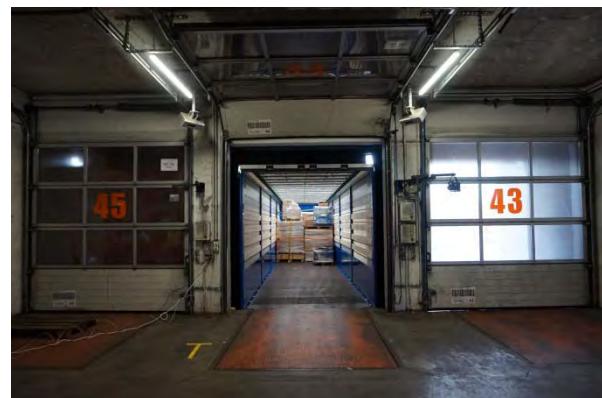


Abbildung 2: CARGOMETER MM3D Messsystem (eigene Darstellung)

Die Innovation von CARGOMETER MM3D liegt in der gemeinsamen Messung von Ladung und Transportmittel, die algorithmisch getrennt werden, in der Bewegungskomponente, die Ladung und Transportmittel vom Hintergrund trennen und von allen Seiten zeigen, sowie in multiplen Messstationen, die durch die kostengünstige Hardware möglich werden. CARGOMETER MM3D vermisst die Stückgutsendung in Bewegung direkt am Transportmittel und das an jedem Ein- und Ausgang. Dadurch tritt keine Störung des intralogistischen Prozesses auf. Kein Abladen, Stop, Wartezeit, Umweg oder zusätzlicher Personalaufwand wird notwendig. Mit CARGOMETER MM3D wird der bisherige Nachteil der Bewegung zum mess- und prozesstechnischen Vorteil.

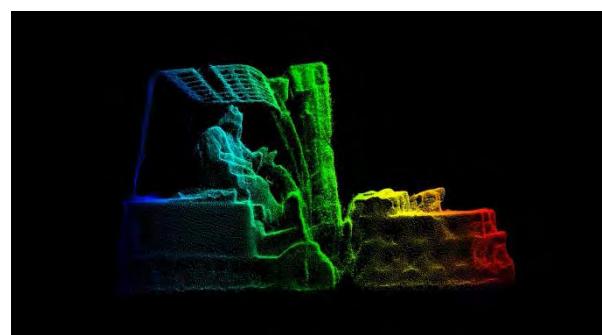


Abbildung 3: MM3D-Modell von Ladung und Gabelstapler (eigene Darstellung)

CARGOMETER liefert neben den Sendungsabmessungen über die gesamte Transportkette Digitalfotos und 3D-Modelle (Abbildung 3) zur Sendungsverfolgung, zu Versicherungszwecken und zum Kundenbeleg (Abbildung 4).

## 6 Ausblick

Durch den möglichst flächendeckenden Einsatz von CARGOMETER MM3D in einem Stückgutnetzwerk wird die Datenbasis zur Verfügung gestellt mit der der zweite Nutzenaspekt, die Netzwerkoptimierung der Transportlinien, möglich ist.



## Messprotokoll

CARGOMETER MM3D

Metadaten	
Terminal	
Tor	44
Zeitpunkt der Messung	
	2016-04-26 16:16:20 UTC
	
	
Messung	
Staplermodell	Crown SC5300
Ladung	Ja
Länge	1,202 m
Breite	0,801 m
Höhe	1,871 m
Volumen	1,052 m³
Geschwindigkeit	7,7 km/h
Gewicht	kg
Richtung	Entladung

CARGOMETER GmbH, Högl Tech Campus, Vötting, Österreich-Deutschland-Gasse 10, A-1190 Wien

*Abbildung 4: Messprotokoll CARGOMETER MM3D  
(eigene Darstellung)*

Bedenkt man, dass die Top Drei der zwölf europäischen Netzwerke jede Nacht jeweils mehr als eine Million Kilometer mit 40-Tonnen-LKWs zurücklegen, wird das zusätzliche Potential deutlich. Exakte Sendungsabmessungen ermöglichen den Netzwerkbetreibern nun die Optimierung ihres hochkomplexen, europaweiten Netzwerkes. Durch eine effizientere Auslastung der LKWs werden der Treibstoffverbrauch und die CO2-Emissionen sinken. Die Transparenz der Transportprozesse und die effektiven Kontrollmöglichkeiten werden Lieferverzögerungen minimieren und eine höherer Qualität sowie eine größere Kundenzufriedenheit erzielen. Neben den Kosten- und Qualitätsvorteilen wird die Netzwerkoptimierung zum belegbaren Erreichen von Nachhaltigkeitszielen führen, was in der aktuellen Diskussion über Green Logistics ein immer wichtigeres Argument ist.

## 7 Literatur

- [1] Hüller, V., Werderitsch, J., 2016. Wirkung von Abweichungen in der Frachtvermessung auf das Pricing sowie die Einordnung in Volums- und Gewichtsklassen von Spediteuren. Bachelorarbeit an der Wirtschaftsuniversität Wien.
- [2] Kille, C., Schwemmer, M., 2012. Die Top 100 der Logistik. Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer in der Logistikdienstleistungswirtschaft. Ausgabe 2012, 2013. DVV Media Group, Hamburg.
- [3] Schwemmer, M., Kille, C., Reichenauer, C., 2015. Less-than-truckload networks - The European market for network based cross border goods flows. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.



# **RFID-PALETTE FÜR DIE RETAILINDUSTRIE**

---

Dipl.-Ing. Thorsten Lenz  
CABKA Group GmbH, Berlin

# LEBENSLAUF



Dipl.-Ing. Thorsten Lenz

CABKA Group GmbH,  
Geschäftsführer Forschung & Entwicklung

1989 – 1995	Technische Universität Hamburg-Harburg, Studium: Ingenieurwissenschaften, Mechanik und Kunststofftechnik Abschluss: Diplom Ingenieur.
11/1999 – 03/2001	Schoeller Wavin Systems GmbH, Berlin Deutschland Technischer Produktmanager für Mehrwegtransportbehälter.
04/2001 – 01/2007	Schoeller Wavin Systems Services GmbH, Berlin Deutschland, Projekt Manager für RTPs.
02/2007 – 08/2012	Schoeller Arca Systems Services GmbH, Zwolle, Niederlande, Direktor für Projekt Management und Technologie.
08/2012 – 03/2014	Schoeller Allibert, Zwolle , Niederlande Team Projekt Manager, Direktor für Design und Technologie.
Seit 04/2014	Cabka Group GmbH, Berlin Deutschland, Geschäftsführer Forschung & Entwicklung.

# RFID-PALETTE FÜR DIE RETAILINDUSTRIE

Dipl.-Ing. Thorsten Lenz

## 1 RFID-Palette für die Retailindustrie

### 1.1 Markt für Paletten

Transportpaletten sind heute ein fester Bestandteil der internationalen und nationalen Logistik.

Sie werden verwendet für den Transport von Waren aller Art, wie z.B. Lebensmittel, Automobilteile oder Chemieprodukte und sind teilweise an die spezifischen Bedürfnisse des Transportgutes angepasst.

In Deutschland waren 2014 ca. 160 Mio. Paletten im Einsatz (Europa ca. 680 Mio.), Tendenz über die letzten Jahre steigend.

### 1.2 Paletten

Hinsichtlich Größe, Form und Material existiert eine nahezu unüberschaubare Vielzahl von Paletten in allen Teilen der Welt.

Je nach Gesichtspunkt, wie optimale Ausnutzung von Seecontainer- oder LKW-Flächen oder Optimierung für das zu transportierende Gut, haben sich unterschiedliche Lösungen herausgebildet, von denen die EPAL (Europalette 1200x800mm aus Holz) in Europa am weitesten verbreitet ist.



Abbildung 1: Beispiele verschiedener Paletten  
©CABKA Group GmbH

Neben den vorgenannten Kriterien ist auch die Dauer der Nutzung eine wesentlich Größe bei der Wahl bzw. Neu-entwicklung einer Palette. Für den Versand nach Übersee werden beispielsweise oft Einwegpaletten verwendet, die hauptsächlich aufgrund der geringeren Kosten ausgewählt werden. Bildet die Logistik einen mehr oder weniger geschlossenen Kreis, dann kommen in der Regel Mehrwegpaletten zum Einsatz, welche robuster sind als Einwegpaletten. Mit zunehmender Haltbarkeit steigen auch die Investitionskosten der Paletten; das Bestreben, den Prozess und das Transportmittel effizient zu nutzen, gewinnt an Bedeutung.

Die für eine Verbesserung des Prozesses notwendigen Informationen sind allerdings in der Praxis kaum verfügbar. Deshalb sind auch genau für Anwendungen dieser

Art die ersten Mehrwegpaletten mit RFID-Tags ausgestattet worden.

### 1.3 Verbindung RFID-Paletten

Im Prinzip soll der RFID-Tag in möglichst jeder Lage und Position der Palette gut zu lesen sein. Zusätzlich ist gefordert, dass der RFID-Tag gegen Beschädigungen aller Art, wie z.B. Stöße, geschützt ist.

Die, i.A. zwei, RFID-Tags werden in den Ecken positioniert, so dass in den meisten Transportlagen einer von beiden RFID-Tags in der Nähe eines Lesegerätes ist.

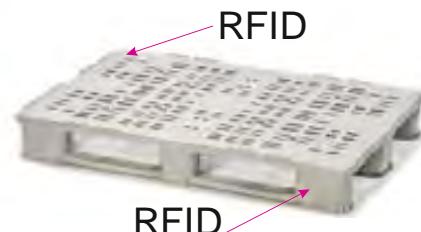


Abbildung 2: Position der RFID-Tags  
© CABKA Group GmbH

Der Schutz gegen Beschädigungen kann, insbesondere bei Kunststoffpaletten, dadurch realisiert werden, dass Hohlkammern in den Füßen oder Kufen verschweißt werden.

### 1.4 Herstellung

Der fertig spritzgegossene Palettenkörper wird in einer Montage oder Schweißstation weiter bearbeitet. Vor Montage und / oder Verschweißen werden zwei RFID-Tags in einem Hohlraum des Palettenfußes, innen, eingeklebt und anschließend werden die Kufen oder Füße montiert und fixiert.

Direkt im Anschluss werden die Tags beschrieben. Alle Paletten erhalten einen EPC und weitere, mit dem Kunden abgestimmte Daten. Als Beispiele wären Herstelldatum, Material, Spritzgießwerkzeug, Spritzgießmaschine, Version der Palette zu nennen.

Der EPC wird über einen zentralen Server vergeben und die auf den Paletten RFID-Tag geschriebenen Daten werden in einer Datenbank zurück gespiegelt.

Die Daten werden mit einem Kennwort geschützt, so dass eine Manipulation nicht ohne weiteres möglich ist. Weiterhin sind die Daten auch noch mit der sogenannten Tag-ID verknüpft, die vom Hersteller dem Tag zugeordnet wird und nicht gelöscht werden kann.

Ein Feld in der Datenbank kennzeichnet den Status der Palette.

Es sind die folgenden Status zu berücksichtigen:

- Fertigung abgeschlossen und RFID-Tag beschrieben (Geburt der Palette)
- Palette wird ins Lager des Herstellers gebracht
- Palette wird verladen und zum Kunden transportiert
- Palette wird beim Kunden übergeben
- Palette kommt zurück, als beschädigt gemeldet
- Palette wird recycelt und gelöscht

In allen Fällen fahren die Paletten durch ein Gate oder werden durch eine Vorrichtung geschleust und erhalten so den neuen Status.

Die zentrale Datenbank wird direkt synchronisiert, so dass die Anzahl der Paletten und deren aktueller Status immer verfügbar sind.

## 1.5 Auslieferung

Wie schon im vorangegangenen Kapitel beschrieben sind pro Palette einige Daten in einer Datenbank hinterlegt. Alle Paletten, die zur Auslieferung verladen werden, fahren durch ein Tor und werden danach auf den LKW verladen.

Die Frachtpapiere werden automatisch, mit allen EPCs, erstellt. Parallel dazu kann der Kunde eine E-Mail erhalten, in der die Daten in Tabellenform (Excel) vorhanden sind.

## 1.6 Paletten in Arbeit

Das Führen von Palettenkonten, die manuelle Lagerverwaltung, die Abstimmung von Stückzahlen und auch die Unklarheit über Schadensmechanismen und Ursachen sind heute Alltag im täglichen Geschäft mit Paletten. Ein immenser Arbeitsaufwand wird in der Verwaltung benötigt und führt in der Regel trotzdem nicht zu einem umfassenden und abgesicherten Bild über die Nutzung und den Zustand der Paletten.

Im Falle einer RFID-Retailpalette ergeben sich exakt hier deutliche Vorteile, die über die automatische Dokumentation jedes Einzelschrittes eine tägliche, wöchentliche oder monatliche Umlaufbilanz und damit auch eine direkte Rechnungsstellung ermöglichen.

Weiterhin können Orte, an denen häufig Beschädigungen auftreten, gut eingegrenzt und so die Bruchquote deutlich gesenkt werden.

Die Voraussetzungen für die Umsetzung des RFID-Konzeptes sind, dass ein geschlossener Palettenpool existiert und an allen Ein- und Ausgängen Tore installiert sind, die die Paletten automatisch registrieren.

## 1.7 Erfahrungen

Die Einführung eines RFID-gestützten Palettenpools erfordert fachliche Kompetenz, gute Planung und den Willen der Beteiligten, das Projekt umzusetzen.

Das Management und das Personal sollte in den Prozess frühzeitig eingebunden werden. So lassen sich auch Fragen des Datenschutzes frühzeitig offen diskutieren und Ängste reduzieren.

Die Kontrolle des gesamten Palettenpools, die Bedarfspannung der Palette und auch deren Abrechnung funktionieren in der Praxis gut.

Ein weiterer positiver Effekt ist die Verbesserung der Analyse von auftretenden Beschädigungen an Paletten.

Hier konnte und kann, durch kleine Änderungen an den Anlagen als auch an den Paletten, eine deutliche Reduzierung der Bruchrate erreicht werden.

## 1.8 Fazit und Ausblick

Unter der Voraussetzung der Fokussierung auf geschlossene Pools bei passiven RFID-Tags, bietet das RFID-Konzept signifikante Vorteile für die beteiligten Partner. Einige wichtige Schritte zur weiteren Entwicklung dieses Konzeptes sind klare Standards für Paletten bzw. RFIDs, um die Kostensituation weiter zu verbessern.

Hinsichtlich der Standards der RFID-Tags ist beispielsweise die DIN 15159 – 3 in Arbeit.

Für sogenannte offene Palettenpools ist die Situation auf Grund des Kostengefälles, etwa zu Holzpaletten, weiterhin nicht einfach. Ein aktuell diskutierter Ansatz ist die Nutzung aktiver Transponder, selbstverständlich bei entsprechender Kostenentwicklung der Tags.

# **FRACHT-FINGERPRINT ZUR ERHÖHUNG DER SICHERHEIT IN DER LUFTFRACHTKETTE**

---

Dipl.-Wirt.-Ing. Pat.-Ing. Patrick Dittmer  
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH

Dipl.-Wirt.-Ing. Olaf Poenicke  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag  
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH

# LEBENSLAUF



Dipl.-Wirt.-Ing. Pat.-Ing. Patrick Dittmer

BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

08/1980

geboren in Stade.

08/2001 – 06/2003

Thomashilfen GmbH & Co. KG, Ausbildung Industriekaufmann Abschluss  
Industriekaufmann.

10/2003 – 03/2008

Universität Bremen, Studium Wirtschaftsingenieurwesen, Abschluss  
Dipl.-Wirt.-Ing.

09/2009 – 09/2010

FernUniversität in Hagen, Fernstudienkurs Gewerblicher Rechtsschutz Abschluss  
Patentingenieur.

Seit 04/2008

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am BIBA – Bremer Institut für Produktion und  
Logistik GmbH, Forschungsbereich IPS.

Forschungstätigkeiten in den Bereichen: AutoID, RTLS, Telematik,  
Automatisierung Information- und Materialfluss, ereignisbasierte Steuerung von  
Logistiksystemen.

# LEBENSLAUF



Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag

BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH,  
Institutsleiter

1994 – 1999	Studium der Elektrotechnik an der BTU Cottbus.
1999 – 2000	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der BTU Cottbus, Lehrstuhl »Industrielle Informationstechnik«, Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen.
2000 – 2003	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen, Fachgebiet »Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme«, Fachbereich Produktions-technik.
2004	Promotion am Fachbereich Produktionstechnik, Universität Bremen.
2004 – 2008	Geschäftsführer des Sonderforschungsbereichs »Selbststeuerung logistischer Prozesse« (SFB 637) an der Universität Bremen.
2008 – 2014	Projektleiter bei ArcelorMittal Bremen.
2010 – 2013	Lehrbeauftragter an der Jacobs University Bremen, School of Engineering and Science.
Seit 2014	Leiter des Fachgebietes »Planung und Steuerung produktionstechnischer und logistischer Systeme«, Fachbereich Produktionstechnik, Universität Bremen.
Seit 2015	Direktor des BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik an der Universität Bremen, Leiter des Forschungsbereiches »Intelligente Produktions- und Logistiksysteme«.

# **FRACHT-FINGERPRINT ZUR ERHÖHUNG DER SICHERHEIT IN DER LUFTFRACHTKETTE**

Dipl.-Wirt.-Ing. Pat.-Ing. Patrick Dittmer, Dipl.-Wirt.-Ing. Olaf Poenicke, Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag

## **1 Motivation und Einleitung**

Luftfrachtlieferketten stehen immer wieder im Fokus terroristischer Anschläge [1] [2]. Aus diesem Grund werden Luftfrachtlieferketten durch strenge Sicherheitsvorgaben reglementiert, um die notwendige Sicherheit gegenüber Manipulationen zu gewährleisten. Das Luftfahrtbundesamt hat hierzu die Institutionen »bekannter Versender« und »reglementierter Beauftragter«, der die logistischen Prozesse ausführt, etabliert. Entlang der sicheren Luftfrachtlieferkette bürgen bekannter Versender und reglementierter Beauftragter für den manipulationsfreien Ablauf [3]. Versender und Logistikunternehmen können sich in einem aufwändigen Verfahren zertifizieren und regelmäßig auditieren lassen.

Bei der Betrachtung des Wertes und des Anteils am gesamten Frachtaufkommen aller Verkehrsträger wird der hohe Stellenwert der Luftfracht für global agierende Produzenten besonders deutlich: per Luftfracht werden 1% des weltweiten Gütertransportaufkommens und gleichzeitig 40% des weltweiten Transportwarenwertes befördert [4]. Hinzu kommt, dass ca. 60% der Luftfracht in Passagierflugzeugen transportiert wird [5]. Die Notwendigkeit einer sicheren und effizienten Luftfrachtkette ist somit gegeben.

Das Forschungsprojekt ESecLog (Erweiterte Sicherheit für die Luftfrachtkette), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) aus dem Forschungsprogramm »Sicherheitsforschung – Forschung für die zivile Sicherheit«, verfolgt das Ziel, mittels unterschiedlicher Technologien einen sog. Fracht-Fingerprint von Luftfrachtsendungen zu erstellen und somit Manipulationen entlang der Lieferkette bis zum Flugzeug zu detektieren. [6] Daten und Informationen von RFID-Siegeln für Packstücke und ULDs (Unit Load Device), Röntgen- und Tageslichtsensoren, 3D-Tiefenbildern und Vorfeldüberwachung fließen in das Fracht-Fingerprint-Informationssystem (FFI). Das FFI bietet neben der revisionsfreien Abbildung der Zustände der Luftfrachtendungen eine Erhöhung der Transparenz und somit Potenziale zur Optimierung der logistischen Abläufe.

Im Rahmen dieses Beitrags werden das Konzept des Fracht-Fingerprints und Erkenntnisse aus den Feldtests der Integration des Konzepts in einer realen Luftfrachtlieferkette vom bekannten Versender bis zum Flugzeug dargestellt.

## **2 Sichere Luftfracht in Deutschland**

Die Sicherheit entlang der Luftfrachtlieferkette wird in Europa durch die Verordnung (EU) Nr. 300/2008 und die Durchführungsverordnung (EU) Nr. 2015/1998 geregelt. Hieraus ergeben sich die Möglichkeiten, sichere und unsichere Fracht zu versenden. Generell dürfen nur sichere Sendungen in Flugzeugen transportiert werden. Um den Status der sicheren Sendung zu erlangen gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit sieht die Prüfung der Fracht durch einen reglementierten Beauftragten vor, der hierzu je nach Frachtstück unterschiedliche Verfahren wie beispielsweise Röntgen oder Sprengstoffspurendetektion anwendet, um das Frachtstück »sicher« zu machen. Neben den zusätzlichen Kosten für die Prüfung nimmt dieses Verfahren zusätzliche Zeit in Anspruch. Die zweite Möglichkeit für produzierende Versender ist die behördliche Zulassung zum bekannten Versender. Der bekannte Versender ist verantwortlich für den Schutz der eigenen Sendungen an seinem Betriebsstandort oder auf seinem Betriebsgelände vor unbefugtem Zugriff oder Manipulationen. Die als Luftfracht identifizierte Sendung kann direkt einem reglementierten Beauftragten übergeben werden und muss somit in den nachfolgenden Prozessen nicht mehr kontrolliert werden.

Die Sicherung einer Luftfrachtendung durch reglementierte Beauftragte erfolgt zurzeit beispielsweise durch speziell gesicherte und zutrittsbeschränkte Luftfrachtabfertigungsbereiche und Laderäume. Für den Transport einer Sendung durch einen reglementierten Beauftragten gilt, dass der Laderraum des LKW mittels einer Plombe während des Transports gesichert ist. Kommt es nur zum Bruch dieser Plombe und somit zum Manipulationsverdacht, verlieren alle geladenen Sendungen den Status »sicher«. Die notwendige Kontrolle dieser Sendungen durch die einschlägigen Verfahren kann dazu führen, dass diese Sendungen den für sie geplanten Flug nicht erreichen und somit Zeitverluste und zusätzliche Kosten entstehen. Die gleichen Verfahren müssen ebenfalls angewendet werden, wenn es zum Bruch einer Transportverpackung kommt.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts fanden Prozessaufnahmen bei unterschiedlichen reglementierten Beauftragten und Fluggesellschaften statt. Bei der Betrachtung der Luftfrachtkette fällt besonders auf, dass manuelle Prozesse sehr weit verbreitet sind. Dies betrifft nicht nur das Handling von Luftfrachtendungen und die Konsolidierung von Sendungen auf ULDs sondern auch administra-

tive Prozesse wie die Aufnahme von notwendigen Informationen für das AWB (Airway Bill) oder die Dokumentation der Gefahrenübergänge sowie der Durchführung der Sicherungsmaßnahmen mit häufigen Medienbrüchen.

## 2.1 Konzept zur verbesserten Identifikation von Manipulationen entlang der Luftfrachtkette

Das Ziel dieses Konzepts ist die Bereitstellung eines digitalen Fracht-Fingerprints zur Verbesserten Identifikation von Manipulationen und zur Erhöhung der Effizienz der Luftfrachtabfertigungsprozesse. Zur Erreichung dieses Ziels werden unterschiedlicher Technologien angewendet und in einem IT-System dokumentiert und bereitgestellt. Die einzelnen Technologien werden in den folgenden Unterkapiteln näher beschrieben.

## 2.2 RFID-Siegel

Das RFID-Siegel vereint im Rahmen des ESecLog-Konzepts zwei zentrale Funktionen. Zum einen wird über die auf dem RFID-Transponder gespeicherte ESecLog-ID das Packstück eindeutig identifizierbar – die Identifikation erfolgt somit nicht mehr auf Sendungsebene, sondern packstück-individuell - zum anderen verfügt das RFID-Siegel über einen Sicherungsdräht mit dem das Packstück versiegelt wird.

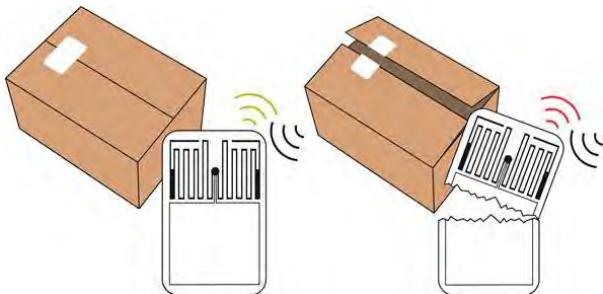


Abbildung 1: Darstellung eines intakten und eines gebrochenen RFID-Siegs (eigene Abbildung)

Wenn der Siegeldraht reißt, wird ein Speicherbit des RFID-Transponders umgeschaltet. Da der Transponder bei gerissenem Siegeldraht weiterhin auslesbar ist, kann in der RFID-Lesung neben der Identifikation des Packstücks auch die Abfrage des Siegelstatus mit durchgeführt werden. Abbildung 1 zeigt die schematische Darstellung eines verschlossenen Frachtstücks mit intaktem RFID-Siegel (links) und eines geöffneten Frachtstücks mit gebrochenem RFID-Siegel (rechts). Dadurch ist es z.B. möglich, mehrere Packstücke im Pulk gleichzeitig zu identifizieren und den Siegelstatus zu überprüfen. Ist ein Siegel gerissen, so muss nur dieses Packstück vereinzelt und auf weitere Sicherheitsmerkmale hin überprüft werden.

## 2.3 3D-Tiefenbild

Innerhalb der Logistik gewinnt die dreidimensionale Vermessung von Packstücken an Bedeutung. Mit der Aufnahme der 3D-Konturen eines einzelnen Packstücks können weitere sicherheitsrelevante Informationen erfasst werden. Ändert sich die 3D-Kontur des Packstücks im Verlauf der Transportkette signifikant, so kann dies neben der Dokumentation von Beschädigungen auch Hinweise auf Manipulationen geben. Zusätzlich haben die Logistikdienstleister durch die 3D-Informationen eine verbesserte Basis zur Auslastungsplanung.

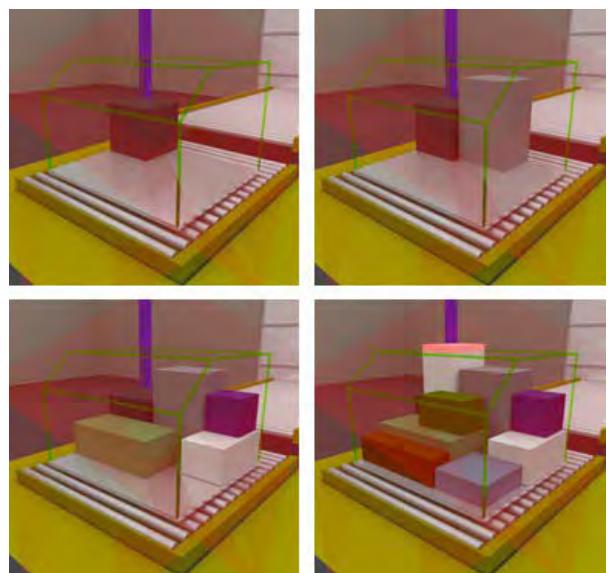


Abbildung 2: Sequenzieller Aufbau von Luftfrachtpaletten bei gleichzeitiger Konturüberprüfung (eigene Abbildung)

Im Projekt wurden vor allem Ansätze zur Nutzung neuartiger Single-Shot 3D-Sensoren evaluiert. Diese bieten das Potenzial auch in dynamischen Prozesssituationen (z.B. beim Aufbau von Luftfrachtpaletten) die 3D-Konturen einzelner Packstücke zu erfassen. Dadurch wird im Aufbauprozess der automatische Abgleich ermöglicht, ob ein zuvor vermessenes Packstück noch die gleichen 3D-Konturen aufweist. Darüber hinaus ist während des Aufbauprozesses von Luftfrachtpaletten ein Abgleich mit der durch das Flugzeug vorgegebenen Kontur möglich, siehe Abbildung 2. Weicht die Aufbausituation von der vorgegebenen Kontur ab, kann dies in einem Leitstand visualisiert werden (Abbildung 2, unten rechts).

## 2.4 Tageslicht- und Röntgensensor

Analog zur Technologie des RFID-Siegs sind auch weitere RFID-gestützte Sensoren für den Einsatz in der Luftfracht denkbar. So wurde im Projekt ein kombinierter Tageslicht- und Röntgensensor entwickelt. Dieser wird vom Versender in das sichere Packstück eingebracht. Über RFID ist dann auch bei verschlossenem Packstück über-

prüfbar, ob zwischenzeitlich Tageslicht eingefallen ist, was einen Manipulationshinweis geben würde.

Muss das Packstück aufgrund von Verdachtsfällen neu gesichert werden, so kann mit der Röntgensensor-Funktion nachgewiesen werden, dass das Packstück geröntgt worden ist. Diese Nachweisführung ist z.B. für beaufsichtigende Behörden wie das Luftfahrt-Bundesamt (LBA) relevant.

## 2.5 Vorfeldüberwachung

Zum Ende der ESecLog-Lieferkette findet die Überwachung der Prozesse auf dem Vorfeld statt. In Unit-Load-Devices (ULD) werden alle Frachtsendungen für eine bestimmte Destination konsolidiert. Zum Transport vom Warehouse auf das Vorfeld zum Flugzeug werden die ULDs auf Dollies verladen, die dann mit einem sogenannten Tug zum Flugzeug transportiert werden. Die einzelnen Dollies werden mit RFID-Empfangsgeräten und die Tugs mit Ortungs- und Kommunikationsmedien ausgestattet.

Zur Überwachung der Vorfeldprozesse werden die Luftfracht-Container mit einem weiteren RFID-Siegel gesichert, sodass eine erneute Öffnung des Containers über das am Dolly befestigte RFID-Gerät registriert werden kann. Ebenso können Sendungen auf Paletten über die angebrachten RFID-Siegel überwacht werden. Des Weiteren werden die Routen der Dolly-Züge auf dem Vorfeldgelände dahingehend überwacht, dass unautorisierte Standzeiten oder Routenabweichungen über das Ortungsmedium am Tug identifiziert werden. Kommt es zu einem Manipulationsverdacht, müssen anwenderspezifische Maßnahmen zur Abwendung der Gefahr eingeleitet werden.

## 2.6 Fracht-Fingerprint-Informationssystem

Das zentrale Repository für alle Informationen und Ereignisse entlang der ESecLog-Lieferkette bildet das Fracht-Fingerprint-Informationssystem (FFI). Die relevanten Daten und Informationen, die für die Erstellung des AWB notwendig sind, werden um spezifische ESecLog-Daten ergänzt. Das System bildet die Information entlang eines Zeitstrahls ab, sodass die Historie einer LuftfrachtSendung in den ESecLog-Prozessen lückenlos abgebildet werden kann. Das Fracht-Fingerprint-Informationssystem bildet somit ebenfalls die Basis für mögliche Kontrollen durch interessierte Stakeholder sowie beaufsichtigende Behörden wie das Luftfahrt-Bundesamt oder die Bundespolizei.

Neben den Ereignissen, die durch die jeweiligen Technologien generiert werden, speichert das Fracht-Fingerprint-Informationssystem logistische Informationen oder Ereignisse in der Historie der LuftrachtSendung. Der Gefah-

renübergang zwischen zwei Stakeholdern und der Warenein- bzw. Warenausgang bei einem Teilnehmer in der LuftfrachtKette werden ebenfalls im Fracht-Fingerprint-Informationssystem gespeichert. Diese zusätzlichen Informationen tragen zu einer Erhöhung der Transparenz in der Lieferkette bei und können zur Steigerung der Effizienz der logistischen Prozesse in der Luftfracht führen.

## 3 Erkenntnisse

Die unterschiedlichen Technologien, die für den Fracht-Fingerprint angewendet werden, weisen unterschiedliche Reifegrade für einen marktfähigen Einsatz auf. Das IT-Repository (FFI) weist sicherlich die höchste Anwendbarkeit innerhalb der LuftfrachtKette auf, speziell der Tageslicht- bzw. Röntgensensor und die Entwicklung des 3D-Tiefenbildes für LuftfrachtSendungen bedürfen weiterhin intensiver Entwicklungsarbeit, bevor die generelle Machbarkeit der Lösungen in dem Anwendungsfall nachgewiesen werden kann. Die Erfassung des 3D-Tiefenbildes weist hierbei weiteren Forschungsbedarf auf. Besonders die Erfassung großvolumiger Packstücke und die Diversität der Konturen und Materialien bei hoher Prozessdynamik stellen hohe Anforderungen an die weiteren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Bei der Nutzung des RFID-Siegels und der Technologie zur Vorfeldüberwachung kann bereits in breitem Maßstab auf vorhandene Technologie zurückgegriffen werden. Diese Einschätzung kann für eine mögliche Übertragbarkeit auf andere Branchen geteilt werden.

Für den Einsatz eines neuen Verfahrens zur Sicherung von LuftfrachtSendungen ist eine Zulassung durch das Luftfahrt-Bundesamt notwendig. Hierzu muss nachgewiesen werden, dass Manipulationen zuverlässig identifiziert werden und eine Erhöhung der Sicherheit durch den Einsatz des Fracht-Fingerprint-Informationssystems gegeben ist. Neben der Restriktion der Zulassung ergeben sich Herausforderungen bei der logistischen Integration der Prozesse. Zur Nutzung des Fracht-Fingerprints entlang der gesamten Lieferkette sind neue Prozesse notwendig, die durch die Vielzahl an Stakeholder ausgeführt werden müssen. Im Gegensatz zum bisherigen Ansatz, bei dem die bisher genutzten Prüftechnologien durch wenige geschulte Fachkräfte angewendet werden, bedarf es bei der Nutzung der Technologien umfangreicher Schulungen des Personals. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die bisherigen Prozesszeiten eingehalten bzw. im besten Fall verkürzt werden.

Hinzu kommt, dass die Anwendung von ESecLog ein höherer Aufwand für die Versender bedeuten kann. Bei der Auswahl des genutzten Verfahrens ist zu überlegen, welche Art von Sendung am geeignetsten ist. Weiterhin muss geklärt werden, welcher Versender mit seiner spezifischen Frachtstückstruktur prinzipiell für die Anwendung

des Fracht-Fingerprints in Frage kommt. Eine erste Be- trachtung der Kosten und Nutzen der Technologien des Fracht-Fingerprints hat ergeben, dass der Mehraufwand, der sich durch die einzelnen Technologien sowie ebenso durch die geänderten logistischen Prozesse ergibt, durch den Nutzen wie beispielsweise die Auswahl alternativer Transporteure oder die Reduzierung des administrativen Aufwands je nach ausgewähltem Szenario innerhalb weniger Jahre kompensiert werden kann.

Identifizierte Treiber für die Nutzung des Fracht-Finger- prints sind zum einen die Zulassung als Prüfmerkmal durch das Luftfahrt-Bundesamt und die Standardisierung der ESecLog-Prozesse mit dem Ziel, Referenzprozesse für die Abfertigung von Luftfracht zu gestalten aber auch branchenübergreifend logistische Prozesse mit dem An- satz des Fracht-Fingerprints zu adressieren.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Luftfracht bietet ein sehr effektives Ziel terroristischer Aktivitäten, da sie einen für die Industrie notwendigen Verkehrsträger darstellt. Darüber hinaus bildet der konventionelle Passagier-Luftverkehr die Basis zum Transport von Luftfrachtsendungen. Zur Erhöhung der Luftfahrtssi- cherheit wurden daher unterschiedliche Technologien mit unterschiedlichen Merkmalen zu einem Fracht-Fingerprint zusammengefasst, der eine automatisierte Identifikation von Manipulationen ermöglicht. Der Nutzen dieses Ver- fahrens ergibt sich zum einen aus der Erhöhung der zivilen Sicherheit, zum anderen ergeben sich neue logistische Prozesse, die die Transparenz in der Luftfrachtkette erhö- hen und somit die Effizienz der Luftfrachtabfertigung steigern können.

Während der Projektlaufzeit wurden bereits erste Er- kenntnisse zur Umsetzung eines Fracht-Fingerprints erar- beitet. Die Machbarkeit der Technologien zur Detektion von Manipulationen und die Zusammenführung im Fracht-Fingerprint-Informationssystem konnte bereits in ersten Testreihen nachgewiesen werden. In der nächsten Phase der Feldtests erfolgt die vollständige Integration des Fracht-Fingerprints entlang der Luftfrachtkette vom be- kannten Versender über reglementierte Beauftragte bis zur Verladung in das Flugzeug in einem Demonstrator auf einem Flughafen.

Darüber hinaus ergeben sich zukünftige Aktivitäten in der Weiterentwicklung der Technologien und der Standardi- sierung der Prozesse, um perspektivisch die Zulassung als Prüfverfahren durch das Luftfahrt-Bundesamt prüfen zu lassen. Die Standardisierung trägt ebenso dazu bei, mög- liche Anwendungsszenarien in anderen Branchen zu erschließen.

#### 5 Acknowledgement

Dieses Projekt wird im Rahmen des Sicherheitsforschungs- programms für die zivile Sicherheit vom Bundesministeri- um für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

#### 6 Literatur

- [1] Spiegel Online, online: <http://www.spiegel.de/politik/deutschland/bomben-in-luftfracht-getarnte-paketbomben-alarmieren-deutsche-terroraender-a-726556.html>, Abruf am 24.05.2016.
- [2] Tagesschau, online: <https://www.tagesschau.de/inland/luftfrachtsicherheit-101.html>, Abruf am 24.05.2016.
- [3] Luftfahrt-Bundesamt: Rahmenbedingungen für die Abwicklung von Luftfracht, online: [https://www.lba.de/DE/Luftsicherheit/Bekannte\\_Versteller/Rahmenbed.html](https://www.lba.de/DE/Luftsicherheit/Bekannte_Versteller/Rahmenbed.html), Abruf am 20.05.2016.
- [4] Vahrenkamp, R.: Logistik – Management und Strategien, Oldenbourg Verlag, München 2007.
- [5] PWC: Flut neuer Anträge zum »Bekannten Ver- sender« erwartet, online: <http://www.pwc.de/de/transport-und-logistik/luftfracht.jhtml>, Abruf am 20.05.2016.
- [6] Dittmer, P.; Gorlitz, C.: Sicherheit, Transparenz und Flexibilität in der internationalen Luftfrachtlo- gistik. In: Schenk, M. et al.: 18. Magdeburger Lo- gistiktage – Sichere und nachhaltige Logistik, Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2013.



# **MATERIALKOSTEN- UND DURCHLAUFZEIT- OPTIMIERUNG BEI DER ÜBER- HOLUNG VON GROßen FLUGZEUGTRIEBWERKEN IN EINEM WELTWEIT AGIERENDEN UNTERNEHMENSVERBUND**

---

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Marco Silge  
Dayna Beck (staatl. gepr. Betriebswirtin)  
N3 Engine Overhaul Services GmbH & Co. KG, Arnstadt

# LEBENSLAUF



Dipl.-Wirt.-Ing. Marco Silge

N3 Engine Overhaul Services GmbH & Co. KG,  
Logistics Engineer

08/1991 – 07/1994	Staatliche Grundschule, Stadtilm.
08/1994 – 07/2000	Johann-Gottfried-Herder-Gymnasium, Stadtilm.
08/2000 – 07/2002	Johann-Gottfried-Herder-Gymnasium, Arnstadt.
10/2002 – 12/2002	Grundausbildung, Berlin.
01/2003 – 06/2003	Wehrdienst, Hammelburg Letzter Dienstgrad: Obergefreiter.
07/2003 – 10/2003	Praktika, Gelenkwellenwerk Stadtilm GmbH, Stadtilm.
10/2003 – 04/2004	TU Berlin, Berlin Studiengang Verkehrs- und Transportwesen - Luft- und Raumfahrttechnik.
04/2004 – 08/2004	Praktika, Gelenkwellenwerk Stadtilm GmbH, Stadtilm.
12/2006 – 03/2007	Praktika, N3 Engine Overhaul Services, Arnstadt.
09/2004 – 02/2009	FH Erfurt, Erfurt Studiengang Verkehrs- und Transportwesen - Materialfluss und Logistik.
03/2007 – 01/2008	Institut proTUL: »Lean Production« - Materialflussanalyse/ Bestandsmanagement, FTE Möve GmbH, Mühlhausen.
11/2008 – 03/2014	N3 Engine Overhaul Services, Arnstadt Production Controller.
Seit 04/2014	N3 Engine Overhaul Services, Arnstadt Logistics Engineer.

# MATERIALKOSTEN- UND DURCHLAUFZEIT- OPTIMIERUNG BEI DER ÜBERHOLUNG VON GROßen FLUGZEUGTRIEBWERKEN IN EINEM WELTWEIT AGIERENDEN UNTERNEHMENS- VERBUND

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Marco Silge, Dayna Beck (staatl. gepr. Betriebswirtin)

- 1   **Das Unternehmen N3 Engine Overhaul Services GmbH & Co. KG (N3): Produktpotfolio und Rahmenbedingungen**
- 1.1   **Das Unternehmen N3 und sein Produktpotfolio**

N3 Engine Overhaul Services (N3) ist ein Gemeinschaftsunternehmen von Lufthansa Technik AG und Rolls-Royce plc. Das Unternehmen nahm Anfang April 2007 den Betrieb im neu errichteten Werk am Rande Arnstadts im Industriegebiet Erfurter Kreuz auf. Bei der Standortauswahl sprachen unter anderem die logistischen Vorteile des Erfurter Kreuzes mit der Anbindung an die A4 und A71 für das thüringische Arnstadt.

Als einziger Triebwerkinstandhaltungsbetrieb Europas überholt und repariert N3 die Rolls-Royce Triebwerkstypen Trent 500, Trent 700 und Trent 900. Diese dienen als Antriebe der Airbusmodelle A340, A330 und A380. Ab Herbst 2016 wird N3 die technische Betreuung der neuen Rolls-Royce Trent XWB Triebwerke, eingesetzt im Airbus A350 XWB, übernehmen.

N3 betreut Fluggesellschaften in den Kernmärkten Europa, Amerika, Afrika sowie in der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten. Das Unternehmen gehört zu den modernsten Überholungsbetrieben der Welt.

## 1.2 Rahmenbedingungen

### 1.2.1 Luftfahrrechtliche Anforderungen

Als Überholungsbetrieb für zivile Großtriebwerke haben die Themen Produktsicherheit und Qualität und damit verbunden die Erfüllung der Anforderungen der zuständigen Behörden – im Besonderen der verschiedenen Luftfahrtbehörden – eine besondere Bedeutung für N3. Aktuell verfügt N3 über die Zulassung von 14 Luftfahrtbehörden aus aller Welt.

Ein besonders wichtiger Aspekt im Rahmen der Produktsicherheit ist die Nachverfolgbarkeit jedes Einzelteiles eines Triebwerks. Bei der Totalzerlegung eines Triebwerkes zur Überholung und Reparatur ist somit die Verfolgbarkeit von ca. 50.000 Einzelteilen / Komponenten sicherzustellen.

### 1.2.2 N3 im Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) – Netzwerk und Rahmenbedingungen für logistische Prozesse

N3 ist Mitglied des internationalen MRO-Netzwerkes seiner Muttergesellschaften. Das Thüringer Unternehmen ist insbesondere in ein globales Netzwerk von Rolls-Royce eingebunden, das aus Betrieben in Hong Kong, Singapur und Großbritannien (Derby) besteht.

Zur Sicherung langfristiger Geschäftsbeziehungen unterhält N3 strategische Partnerschaften mit Lieferanten innerhalb dieses Rolls-Royce Netzwerkes. Um das Investitionsrisiko zu minimieren, wird die Entwicklung und Durchführung komplexer Instandhaltungs- und Reparaturverfahren zentral vergeben. Das unterstützt darüber hinaus eine Standardisierung im Lieferantennetzwerk.

Für einen Großteil von Reparaturen nutzt N3 externe Reparaturbetriebe in Asien und den USA. Ein wichtiges Ziel ist es, den Anteil der Zeiten für den Transport der zu reparierenden Triebwerksteile an der Gesamtdurchlaufzeit des Triebwerks so gering wie möglich zu halten.

Ersatzteile werden überwiegend just-in-time geliefert, um niedrige Lagerhaltungskosten zu erreichen und im Besonderen auch, um einer Überalterung des Lagerbestands entgegenzuwirken. In der Luftfahrtindustrie wird permanent an einer Produktverbesserung gearbeitet, die zu einer regelmäßigen Modifikation von Triebwerksteilen führt. Die Mehrheit der Fluggesellschaften haben für die Betreuung ihrer Triebwerke einen umfassenden Servicevertrag, »Total Care Agreement«, mit Rolls-Royce plc. Geschlossen. Dieser umfasst die technische Betreuung der Motoren über den gesamten Lebenszyklus. Die Motoren werden je nach Sitz der Airline auf die Überholungsbetriebe im weltweiten Netzwerk verteilt. In diesem Modell erwarten die Kunden, dass Ersatzteile mit neuestem Konfigurationsstand eingebaut werden. Die Bestellung von neuen Triebwerksteilen wird daher erst ausgelöst, wenn die Prüfung auf Wiederverwendbarkeit bzw. Reparaturmöglichkeit der ausgebauten Triebwerksteile mit einem negativen Ergebnis abgeschlossen ist.

### **1.2.3 Aktuelle Herausforderungen des Marktes für Überholung und Reparatur von Triebwerken**

Die Luftfahrtindustrie hat derzeit mit einer großen Dynamik zu tun: Viele neue Flugzeugmuster mit neuen Technologien, Materialien, Komponenten und Triebwerken gehen in den Flugbetrieb. Die Fluggesellschaften versuchen vor allem über den Preis Marktanteile zu gewinnen. Dies führt zu einer erheblichen Erhöhung des Wettbewerbsdrucks. Für die Überholungsbetriebe bedeutet dies, dass Wettbewerbsfähigkeit künftig neben der Flexibilität entscheidend von Kostenreduzierung und individuellen Serviceangeboten für den Kunden abhängt. Der Triebwerkshersteller Rolls-Royce hat kürzlich aus diesem Grund den Marktzugang für die Überholungsbetriebe im Netzwerk verändert, die bisherige territoriale Zuordnung der Kunden fiel weg, mit dem Ziel mehr Wettbewerb und Flexibilität im Trent-Netzwerk fördern.

Somit bestimmen in ersten Linie Kosten und Kundennutzen das MRO-Geschäft. Eine hohe Qualität und absolute Liefertreue, die Auslieferung des Triebwerks zum vereinbarten Termin, beeinflussen die Kundenentscheidung für oder gegen einen Instandhaltungsbetrieb.

## **2 Kostenoptimierung**

### **2.1 Optimierung der Materialkosten**

Die Wartung eines Triebwerks ist ein materialintensiver Prozess. So machten bei N3 die Kosten für Material in 2015 mehr als 80 % der Gesamtkosten einer Triebwerksüberholung aus. Die Optimierung der Materialkosten ist daher eine der Prioritäten des Unternehmens. Um dem Rechnung zu tragen, wurden von Rolls Royce bzw. N3 Engine Overhaul Services GmbH & Co. KG verschiedene Strategien entwickelt.

Rolls Royce als Original Equipment Manufacturer (OEM) hat im Triebwerkshandbuch für jeden Motorentyp klare Vorgaben definiert, welchen Zustand ein Triebwerksteil haben muss, damit es wieder eingesetzt bzw. repariert werden kann. Durch eindeutig definierte Grenzwerte des Beschädigungsausmaßes und standardisierte Prüfverfahren und Bewertungskriterien wird gewährleistet, dass alle luftfahrtrelevanten Qualitätsanforderungen im erforderlichen Rahmen erfüllt werden und nicht durch ein ungegerechtfertigtes Maß an Sicherheit Triebwerksteile der Verschrottung zugeführt werden, die wiederverwendbar wären. Kontinuierlich werden bei N3 und im Rolls-Royce-Verbund komplexe Reparaturverfahren entwickelt und etabliert, um eine Wiederverwendung der Teile zu ermöglichen und damit Ressourcen zu schonen.

Für hochpreisige Triebwerksteile, für die zum Zeitpunkt der Zerlegung und Prüfung noch keine geeigneten Reparaturverfahren verfügbar sind, wurde bei N3 ein Prozess

definiert, der vorsieht, dass diese Teile zentral eingelagert werden, bis in absehbarer Zeit eine Reparatur möglich ist.

Für C-Teile (nach ABC-Analyse) wurde bei N3 ein Prozess etabliert, der den Wiedereinsatz solcher Bauteile nach Prüfung ermöglicht. Der Prozess berücksichtigt eine Differenzierung z. B. nach Verschrottungsrate, um das Verhältnis von Aufwand und Nutzen optimal zu gestalten. Insgesamt kann dadurch eine Materialkosteneinsparung pro Triebwerk im sechsstelligen Bereich erzielt werden.

Wie unter 1.2.2 beschrieben trägt die reduzierte Lagerhaltung aufgrund von just-in-time-Bereitstellung für neue Triebwerksteile zu einer Minimierung der Kosten wegen Verschrottung von Material mit altem Modifikationsstand bei.

### **2.2 Optimierung der Transportkosten**

Aufgrund der strategischen Partnerschaften mit Lieferanten wird durch N3 eine große Anzahl an Triebwerksteilen zu externen Reparaturbetrieben weltweit verschickt. Deshalb liegt ein besonderer Fokus auf der permanenten Optimierung der Transportkosten.

Ein wesentlicher Aspekt dabei bildet die Konsolidierung von Sendungen. Mehrere taggleiche Sendungen, welche zum selben Empfänger verschickt werden, werden bereits durch N3 zu einer Sendung zusammengefasst. Eine mögliche Sammlung über mehrere Tage würde einen höheren Konsolidierungs- und somit Einspareffekt erzielen, widerspricht aber dem Anspruch der Durchlaufzeitreduzierung.

Ein weiteres Potential zur Reduzierung der Transportkosten liegt in der Optimierung der Verpackungsmittel. Die N3 Logistik steht vor der täglichen Herausforderung, dass die tatsächlichen Gewichte deutlich unter den Volumengewichten der Sendungen liegen, welche die Grundlage der Kostenrechnung bilden. Hier gilt es die richtige Balance zwischen der optimalen Verpackungsgröße und der Anzahl unterschiedlicher Verpackungsmittel zu finden. Würde man für jedes Bauteil ein eigenes spezifisches Verpackungsmittel definieren, steigen Stückkosten und Lagerkosten für die Verpackung, da man viele verschiedene Verpackungen in geringer Stückzahl vorrätig halten muss. Im Gegensatz dazu führt das Vorhalten sehr weniger universeller Verpackungen mit relativ großer Stückzahl zum Anstieg der Transportkosten.

Zur Ermittlung der optimalen Verpackungsgröße wird deshalb eine detaillierte Analyse der Bauteile nach Größe, Versandhäufigkeit und Empfänger durchgeführt. Jede Änderung, sei es beim Empfänger (Reparaturbetrieb) oder bei den Bauteilen (neue Bauteile, die erstmals verschickt werden), erfordert eine Neubewertung der optimalen Verpackungsmittel.

### 3 Durchlaufzeit der Triebwerksüberholung

#### 3.1 Anforderungen

Ein wesentlicher Anspruch der Fluggesellschaften ist es, die Zeit der Nichtnutzbarkeit von Flugzeugen aufgrund von Wartung und Reparatur der Triebwerke so gering wie möglich zu halten, um eine optimale Amortisationszeit zu realisieren. Die Vereinbarungen im Rahmen der Serviceverträge sehen daher eine Durchlaufzeit der Triebwerke bei N3 von 65 Kalendertagen vor. Der Überholungsprozess ist in verschiedene Teile, sogenannte Gates, unterteilt. Der Durchlauf des Triebwerks durch insgesamt fünf Gates wird gemessen und als Performancefaktor des Unternehmens im Netzwerk verglichen. Die Reduzierung der Durchlaufzeit ist eine der Prioritäten des Unternehmens und ein großer Wettbewerbsfaktor.

#### 3.2 Logistische Rahmenbedingungen

##### 3.2.1 Werkstattfertigung

Die Triebwerksüberholung kann im Allgemeinen als Werkstattfertigung betrachtet werden. Dies begründet sich auf hohe Schwankungen bei der Einlastung. Ursache hierfür ist die vorab nicht im Detail bekannte Überholungstiefe eines Triebwerkes. Diese steht erst fest, wenn entsprechend des Kundenauftrages Zerlegung und Prüfung der Triebwerksteile erfolgt sind.

Die Eingriffstiefe variiert von Triebwerk zu Triebwerk. Produktionsplanung und -steuerung müssen schnell darauf und auf kundenspezifische Anforderungsänderungen währende des Überholungsprozesses sowie auf Material- und Kapazitätsengpässe reagieren und die Ressourcen des Unternehmens flexibel anpassen.

Die größten Herausforderungen dabei sind:

- längere Durchlaufzeiten,
- Wartezeiten,
- nicht belegte Arbeitsplätze,
- ungleichmäßige Kapazitätsauslastung der Arbeitsplätze,
- und erhöhter Transportaufwand zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen.

Insgesamt stellt die Überholung der Triebwerke auch durch den geringeren Automatisierungsgrad hohe Anforderungen an Produktionsplanung und -steuerung und die Flexibilität der Belegschaft durch Nutzung von flexiblen Stundenkonten.

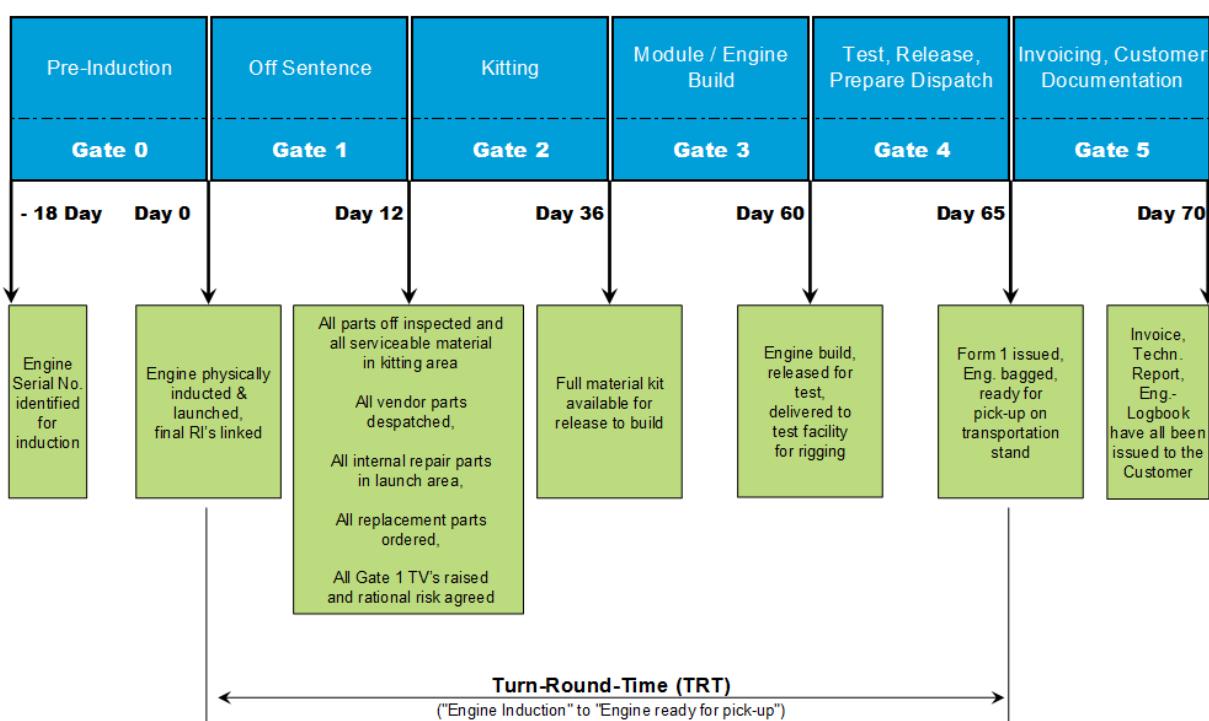


Abbildung 1: Durchlaufzeitplanung eines Triebwerkes  
© N3 Engine Overhaul Services

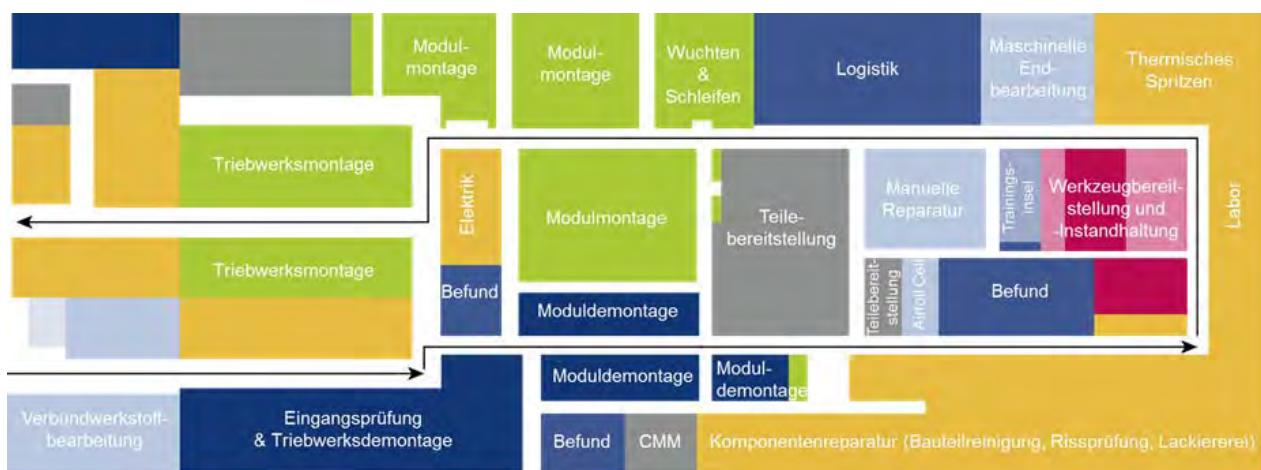


Abbildung 2: Durchlauf eines Triebwerkes  
© N3 Engine Overhaul Services

### 3.2.2 Allgemeiner Ablauf der Triebwerksüberholung

Der grundsätzliche Ablauf einer Triebwerksüberholung gleicht sich weitestgehend bei jeder Einlastung. Das Triebwerk wird vor der Einlastung einer Überprüfung unterzogen, um eine Abschätzung des detaillierten Arbeitspakets treffen zu können. Im Anschluss wird das Triebwerk basierend auf Kundenanforderung und Laufleistung in Module und Einzelteile zerlegt. Die Triebwerksbauteile werden gereinigt, befundet und wenn erforderlich intern oder extern repariert. Anschließend werden die Triebwerksbauteile kommissioniert und für die Montage bereitgestellt. Triebwerksbauteile in einem wiederverwendbaren Zustand werden bis zur Montage etwa 30 Tage zwischengelagert. Für die Triebwerksmontage werden die Bauteile, die aus unterschiedlichen Prozessen bereitgestellt werden (neue Triebwerksteile, Triebwerksteile aus interner und externer Reparatur sowie originale Triebwerksteile, die wiederverwendbar sind und keine Reparatur benötigen) in spezifische Pakete nach Montagevorgabe zusammengestellt. Nach der Montage wird das Triebwerk im hauseigenen Prüfstand getestet und durch N3 zertifiziert.



Abbildung 3: Überblick der unterschiedlichen Bauteile  
© N3 Engine Overhaul Services

### 3.3 N3 spezifische Lösungsansätze zur Durchlaufzeitoptimierung

Die einzelnen Arbeitsstationen der Produktionslinie sind im Werk u-förmig nach dem Flow Prinzip angeordnet. Dies reduziert die Aufwände der Material- und Werkzeugtransporte sowie die Wegezeiten der Mechaniker zwischen den Arbeitsstationen.

Um den Zerlegungsprozess soweit wie möglich zu optimieren, wurden Prozesse etabliert, die einen gleichbleibenden Ablauf gewährleisten sollen. So werden basierend auf der Eingriffstiefe spezifische Betriebsmittel bereitgestellt (Transportwagen, Paletten, Ablagekisten, Werkzeuge, etc.).

Um einen effizienten Reinigungsprozess der Triebwerksteile zu gewährleisten wurde ein optimierter Einlastungsplan etabliert. So werden die Bauteile nicht mehr pro Triebwerk gereinigt, sondern entsprechend des anstehenden Reinigungsprozesses. Damit konnte eine erhebliche Reduzierung der Durchlaufzeiten in diesem Prozessbereich sowie Erhöhung der Auslastung der Reinigungsanlagen erreicht werden.

Zur besseren Steuerung der großen Anzahl an internen Reparaturverfahren wurde im Bereich Komponentenreparatur ein sogenanntes Zellenkonzept implementiert. Ziel ist es, in den Zellen sämtliche für die Reparatur notwendigen Verfahren auszuführen. Somit ist der Transportaufwand zwischen den einzelnen Reparaturarbeitsstationen deutlich reduziert.

Im Materialbereitstellungsprozess wird sichergestellt, dass alle Bauteile zur Ausgabe zur Verfügung stehen und der vom Kunden geforderten Konfiguration entsprechen. Diese zusätzliche Prüfung der Konfiguration wurde etabliert, um neben den Anforderungen an Material- und Dokumentenqualität auch die Kundenanforderungen zu erfüllen. Durch diese Qualitätsstufe wird verhindert, dass

erst während bzw. nach Abschluss der Montage festgestellt wird, dass die ausgeführten Arbeiten nicht vollständig dem Kundenauftrag entsprechen und ein Rückbau erforderlich ist. Dieser generierte Mehraufwand rechtfertigt sich durch eine stabile Durchlaufzeit in der Montage.

Grundsätzlich verfolgt N3 die Strategie, montageunterstützende Tätigkeiten in vorgelagerten Prozess zu überführen.

So unterstützt der unter Punkt 3 beschriebene Prozess zur Handhabung der C-Teile die Reduzierung der Durchlaufzeit. Im Zuge dessen wurde für die Rückverfolgbarkeit der Chargen ein N3-spezifischer Prozess entwickelt. Sowohl wiederverwendbare als auch neue Teile werden entsprechend des definierten Standards in spezielle Boxen vorsortiert. Damit ist gewährleistet, dass beim Bau dem Mechaniker immer die für den jeweiligen Arbeitsabschnitt erforderliche Menge an C-Teilen zur Verfügung steht. Durch die Erfassung der Chargennummer bereits im Bereitstellungsprozess wurde der Mechaniker bei der Montage von der Dokumentation der Chargennummer entlastet. Durch die reduzierten Aufwände für das Suchen und Erfassen der Chargen während der Montage wurde die Arbeitszeit in Summe reduziert.

Weiterhin wurden die montagevorbereitenden Tätigkeiten zum Wiegen und Sortieren der Triebwerksschaufeln im Gesamtprozess vorgezogen, sodass diese bereits bei der Bereitstellung abgeschlossen sind und zur Montage maßgeschneidert zur Verfügung gestellt wird.

N3 hat das Ziel, nur vollständige Materialpakete und Werkzeugsätze auszugeben, um solche Rüstzeiten der Mechaniker zu reduzieren.

Die verschiedenen Eingriffstiefen erfordern eine hohe Anzahl verschiedenster Werkzeuge.

Um die Werkzeuge außerhalb der eingeschränkten Montagflächen zu lagern und somit den Mechaniker ausreichend Arbeitsfläche für die Montagetätigkeiten bereitzustellen, wurde ein zentrales Werkzeuglager eingerichtet. Ein Vorteil dieser zentralen Werkzeuglagerung ist ein geringerer Investitionsaufwand durch Reduzierung der Anzahl der Werkzeuge gleicher Art aufgrund einer erhöhten Nutzungshäufigkeit. Die Bereitstellung erfolgt durch einen Lieferdienst und ist abgestimmt mit der Ausgabe der Materialpakete. Zur Reduzierung der Aufwände für die Bereitstellung der Werkzeuge wurden Werkzeugsätze, basierend auf den Arbeitspaketen, für die sie benötigt werden, definiert und zusammengestellt. Der Suchaufwand für Werkzeuge während der Montage wurde dadurch deutlich minimiert.

Da die Triebwerksüberholung sich aus verschiedenen Prozessen mit unterschiedlichen Durchlaufzeiten und Kapazitätsanforderungen zusammensetzt, ist die Planung und Steuerung der Schnittstellen sehr komplex. Als optimale Unterstützung wurde durch N3 eine eigene Planungs- und Steuerungssoftware entwickelt (Lima – Lean Information Manager). Zur Planung wird dabei jede Triebwerkseinlastung als eigenes Projekt betrachtet und jeder übergeordnete Arbeitsschritt als Meilenstein in der Software dokumentiert. Die Herausforderung besteht darin, die unterschiedlichen Durchlaufzeiten und Kapazitätsanforderungen der einzelnen Meilensteine sowie der untergeordneten Tätigkeiten aufeinander abzustimmen sowie Materialengpässe zu berücksichtigen.

Nach der Überholung von mehr als 700 Triebwerken der Baureihen Trent 500, Trent 700 und Trent 900 hat N3 viel Erfahrung und eine hohe Reputation in der Branche erlangt. Mit schlanken Prozessen, eigenen Entwicklungen und exzellenter Qualität der Arbeit gilt N3 im Netzwerk seiner Muttergesellschaften als Vorzeigebetrieb.



Abbildung 4: N3 Planungssoftware – Lima  
© N3 Engine Overhaul Services



# **INTELLIGENTE LASTEN- FAHRRADLOGISTIK**

---

Tom Assmann M. Sc.  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Daniel Barnowski M. Sc.  
Pedalpower Schönstedt & Busack GbR, Berlin

Dr.-Ing. Fabian Behrendt  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

# LEBENSLAUF



Tom Assmann M. Sc.

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Logistik und Materialflusstechnik,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

- |         |  |
|---------|--|
| 05/2008 | Selbstständige Tätigkeit als RikschaFahrer und Stadtführer.  |
| 10/2009 | Studium Wirtschaftsingenieurswesen – Logistik (B. Sc.) an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.                           |
| 08/2012 | Praktikum und Abschlussarbeit in der Konzernforschung der Volkswagen AG<br>Ihr Stirnlappen wird stimuliert.                      |
| 04/2013 | Studium Wirtschaftsingenieurswesen – Logistik (M.Sc.) an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.                            |
| 04/2014 | Wissenschaftliche Hilfskraft am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg – Verbund Produktion.   |
| 08/2015 | Stipendiat der Stiftung Industrieforschung.  |
| 03/2016 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Logistik und Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. |

# LEBENSLAUF

Daniel Barnowski M. Sc.

Pedalpower SchöNSTEDT & Busack GbR,  
Entwicklungsingenieur

08/2005 – 02/2009	Ausbildung zum Kfz-Mechatroniker / Auto Weege GmbH & Co. KG.
08/2009 – 09/2010	Fachhochschulreife / Carl Severing Berufskolleg.
10/2010 – 05/2014	Bachelorstudium Maschinenbau / FH Bielefeld.
03/2014 – 01/2016	Masterstudium Maschinenbau / FH Bielefeld.
02/2016 – heute	Entwicklungsingenieur / Pedalpower SchöNSTEDT & Busack GbR.

# LEBENSLAUF



Dr.-Ing. Fabian Behrendt

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Logistik und Materialflusstechnik,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

10/2005 – 09/2011	Studium zum Diplom-Wirtschaftsingenieur für Logistik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
10/2011 – 02/2012	Mitarbeiter im Projekt- und Prozessmanagement in der Automobilindustrie, Bertrandt AG.
02/2012 – 12/2012	Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Bund-Länder-Kommission »Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung«.
01/2013 – 12/2013	Referent des Vorsitzenden der Kommission »Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung« Dr. Karl-Heinz Daehre, Minister a.D.
Seit 03/2012	Wissenschaftlicher Mitarbeiter <ul style="list-style-type: none"><li>- Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,</li><li>- Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg</li></ul>
04/2012 – 05/2016	Promotion zum Doktoringenieur an der Fakultät für Maschinenbau der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
Seit 10/2013	Leiter der Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Produktion, Fraunhofer Gesellschaft.

# INTELLIGENTE LASTENFAHRRADLOGISTIK

Tom Assmann M. Sc., Daniel Barnowski M. Sc., Dr.-Ing. Fabian Behrendt

## 1 Einleitung

In urbanen Räumen bestehen für die Logistik zunehmende Herausforderungen durch steigende Transportintensitäten und schärferen Emissionsvorgaben sowie dem wachsendem Umweltbewusstsein der Bürger. Der Einsatz von konventionellen Nutzfahrzeugen wird dadurch zunehmend erschwert. Lastenfahrräder als lokal emissionsfreie Transportmittel bieten ein Potential zur Gestaltung entsprechend angepasster Logistikprozesse.

Die Logistik als Querschnittsaufgabe muss sich dabei einer zunehmend digitalisierten Welt stellen und ihre Systeme entsprechend weiter entwickeln [1] S.25. Der Artikel zeigt den Stand und die Potentiale der Lastenfahrradlogistik auf und untersucht, welche intelligenten, digitalen Funktionen für eine sichere und effiziente Nutzung von Lastenfahrrädern benötigt werden.

Basis der Analyse des Standes und der Potentiale der Lastenfahrradlogistik ist eine Literaturstudie. Mit dieser sind wissenschaftliche Artikel über sciedirect.com und relevante Forschungsarbeiten und -berichte zur Lastenfahrradlogistik über spezifische Datenbanken (TIB, Cordis) bestimmt. Für die Untersuchung des Standes der Technik wurden Datenbanken mit marktüblichen Lastenfahrrädern des deutschen Raumes detailliert analysiert. Unter diesen Kriterien ist die Datenbank [2] ausgewählt, über welche 121 Lastenfahrräder hinsichtlich ihrer Konstruktion, Aufbauten, Laderaum, Nutzlast und Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) untersucht sind. Ergänzt ist die Untersuchung durch systematisierende Expert\*inneninterviews [3], S.23 ff. mit kommerziellen Nutzern von Lastenfahrrädern.

Der Term intelligente Lastenfahrradlogistik bezeichnet in Anlehnung an Grainic [4], S.543 die Beschaffung, Verarbeitung und Verteilung von Informationen für die bessere Umsetzung der Lastenfahrradlogistik, der Infrastruktur und der damit verbundenen Dienstleistungen. Auf der technischen Ebene bringt sie die Felder der Planung, Telekommunikation, Computing und Herstellung von Systemkomponenten (Fahrzeuge, Elektronik) zusammen.

Zur Ermittlung des Bedarfs an intelligent realisierten Funktionen erfolgt die Analyse des Ist-Zustandes der Nutzung von IKT und IT-Lösungen in der Lastenfahrradlogistik. Folgend wird über die Ausprägung des logistischen Systems deduktiv ermittelt, welche Bedarfe sich hinsichtlich dem Einsatz von IKT für die Integration in Logistikketten sowie der sicheren und effizienten Nutzung des Transportmittels ergeben.

## 2 Lastenfahrradlogistik

Die Lastenfahrradlogistik beschreibt logistische Systeme, bei denen Transportprozesse zwischen Knoten (private und öffentliche Institutionen) mittels Lastenfahrrädern durchgeführt werden. Bedingt durch deren spezifische Einsatzparameter ist es ein Transportmittel für den urbanen Raum, sodass die Lastenfahrradlogistik ein Subsystem des logistischen Systems Stadt darstellt, wie auch als Subsysteme von ein- und ausgehenden Logistikketten ausgeprägt sein kann (Abbildung 1).

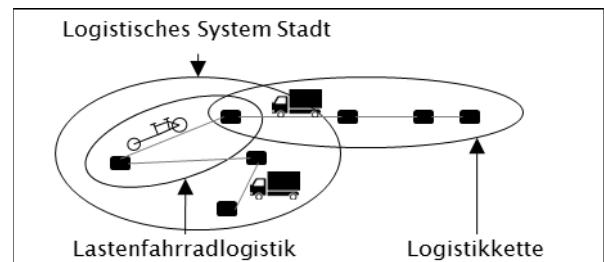


Abbildung 1: Einordnung der Lastenfahrradlogistik  
(eigene Darstellung)

### 2.1 Lastenfahrradmodelle

Zur Durchführung von Transporten steht eine große Anzahl an Varianten des Transportmittels zur Verfügung. Diese sind anhand der Datenbankanalyse klassifiziert und in Abbildung 2 dargestellt. Ein wesentliches Klassifizierungsmerkmal ist die Anzahl der Räder, welche stark die Fahreigenschaften des Lastenfahrrades (Kurvengeschwindigkeit, Maximalgeschwindigkeit, Verhalten bei langsam fahrenden Fahrten) beeinflusst [5]. Das zweite Klassifizierungsmerkmal ist die Lage der Ladefläche in Bezug auf die Position der fahrenden Person und dem Tragrahmen. Die Klassen sind nach gängigen Terminen benannt.

Zu den Lastenfahrradklassen sind die mögliche Größe des Laderaums, normiert auf das Flächenmodul der Modulordnung in der Transportkette (DIN 30783) in der Horizontalen sowie der möglichen Nutzlast (unter der Annahme eines Fahrers von 100 kg Gewicht) dargestellt. In der Praxis sind aber nur sehr wenige der Lastenfahrräder passend auf das standardisierte Flächenmodul ausgelegt. Bei den restlichen Modellen sind Länge bzw. Breite abweichend davon ausgeführt, was auf die bisher herkömmliche Nutzung Konstruktion für den Kindertransport zurückzuführen ist. Es zeigt sich, dass die Anzahl der Räder einen Einfluss die maximal zu transportierende Nutzlast hat. Zweirädrige Modelle eignen sich für kleinere, leichtere Lasten, welche mit schnellen, agilen Lastenfahrrädern transportiert werden sollen. Drei- und vierrädrige

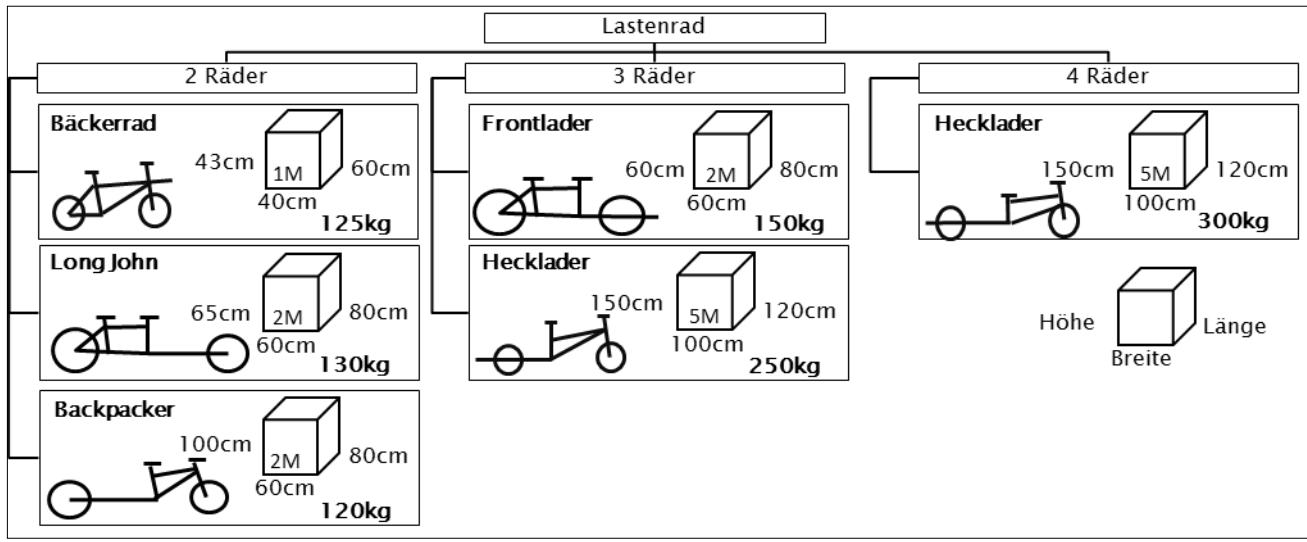


Abbildung 2: Lastbereiche von Lastenfahrrädern des deutschen Marktes (eigene Darstellung)

rige Modelle erlauben den Transport von Sendungen mit größerem Volumen (bis ca. 1,8 m<sup>3</sup>) und höheren Gewichten. Diese Modelle zeigen eine hohe Standsicherheit, sind jedoch konstruktionsbedingt weniger schnell und weniger flexibel im Verkehr fahrbar.

Die Analyse ergibt zudem, dass Lastenfahrräder bisher für den manuellen Umschlag von Kleinpackstücken (Behältern, Paketen etc.) geeignet sind. Umschlagstechnologien, welche den Umschlag von Großbehältern oder Paletten ermöglichen, sind bisher nur unzureichend realisiert. Der Umschlag von Paletten ist zwar bei einigen Modellen per Gabelstapler möglich, jedoch äußern hier die Experten starke Bedenken hinsichtlich Stabilität von Aufbauten, Felgen und der Bremskraft. Gabelhubwagen können bisher aufgrund des Fehlens geeigneter Rampen am Rad oder in einem Logistikknoten nicht genutzt werden.

## 2.2 Logistischer Einsatz von Lastenfahrrädern

Das Lastenfahrrad war ein weit verbreitetes Transportmittel gegen Ende des 19. Jahrhunderts [6] und erlebt aktuell eine Renaissance. Es hat das Potential, 51 % der motorisierten Fahrten mit Gütertransport in Städten zu substituieren, wobei 10 % des Potentials aus der Logistik (gewerblicher Transport) stammt [7], S.13. In der Kurierlogistik ist die Substitution von bis zu 85 % der Fahrten mit leichten Nutzfahrzeugen möglich [8], S.20.

Lastenfahrräder sind bedingt durch ihre spezifischen Einsatzparameter ein Transportmittel für den urbanen Raum. Sie können für Einzelfahrten mit einer maximalen Distanz von 7 bis 10 km und einer maximalen Tagesfahrtleistung (1 Fahrer) von bis zu 120 km genutzt werden [6] S. 3, [9] S. 37. Als Durchschnittsgeschwindigkeit werden 15 km/h erzielt [10], S. 147. Hinzu kommen Zeit- und Wegvorteile durch die Benutzung von Abkürzungen oder Einbahnstraßen. Als ein beeinträchtigender Faktor wird von den Experten die Reichweite der Batterien genannt, welche im Tagesverlauf nachgeladen werden müssen. Lastenfahrräder können in fast allen Wirtschaftszweigen [nach 11] eingesetzt werden und haben einen Schwerpunkt in den Bereichen Handel (ohne Kraftfahrzeuge), Gastgewerbe, Wissensintensive Dienstleistungen und

öffentliche Verwaltung (ohne Verteidigung). Zu oder von deren Institutionen können Lastenfahrräder für den Transport von Stückgütern bis zu den oben dargestellten Grenzen genutzt werden. Nach aktuellem Stand sind sie jedoch für den Transport von zu kühler oder tiefgefrorener Ware, aufgrund des Fehlens entsprechend aktiv die Temperatur regulierender Aufbauten, nur bedingt einsetzbar und stellen besonders im Handel ein Hemmnis für den Einsatz dar. Kühltransporte werden, nach Aussage eines Experten, mittels passiver Kühlkette in Thermobehältern durchgeführt. Die Temperaturüberwachung erfolgt durch, bei mehreren Behältern stichprobenhaft, eingelegte Thermometer.

Über die Literaturstudie sind die in Abbildung 3 dargestellten drei Ausprägungsformen der Lastenfahrradlogistik im urbanen Raum identifiziert. Bei der City-Logistik werden Zielverkehre in die Stadt an Umschlagspunkten, meist in der Innenstadt oder deren Peripherie, auf das Lastenfahrrad (LR) für den Transport auf der letzten Meile umgeschlagen. Durch die besondere Lage sind geeignete Flächen relativ teuer und knapp bemessen. In der Kurier-, Express-, Paket- (KEP)-Logistik finden Lastenfahrräder besonders bei Kurierfahrten mit Start und Ziel in der Stadt Einsatz, werden jedoch auch zunehmend für eingehende und tlw. auch ausgehende Sendungsströme von Express- und Paketdiensten genutzt. Hier erfolgt, wie in der City-Logistik, ein Umschlag an einem Depot.

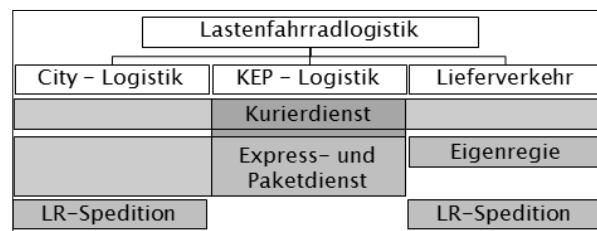


Abbildung 3: Ausprägungsformen der Lastenfahrradlogistik im logistischen System Stadt (eigene Darstellung)

Weiterhin erfolgt die Nutzung durch lokale Gewerbe, welche Lastenfahrräder für ihre Lieferfahrten zu eigenen Filialen bzw. Kunden in Eigenregie oder Fremddienstleistung einsetzen. Postdienstleistungen sind als stark regle-

mentierter Markt nicht Teil der Untersuchung. Bei der Durchführung der Transporte kommt den Kurierdienstleistern eine besondere Rolle zu. Diese führen, je nach Stadt und Unternehmen, neben den klassischen Kurierfahrten auch Fahrten im Rahmen der City-Logistik, Lieferfahrten für lokales Gewerbe durch und werden häufig auch für die Realisierung von last-mile Transporten von Express- und Paketdiensten eingesetzt.

Die Bedeutung der Kurierdienste hat zum Hintergrund, dass von diesen bereits Fahrräder eingesetzt wurden und das das Lastenfahrrad in diesem Segment das profitabelste Transportfahrzeug sein kann [9], S.63 ff. Die einzelnen Kurierfahrer sind dabei oft selbstständige Subunternehmer der Kurierzentralen mit hoher Innovationsbereitschaft [ebd.]. Neben diesen bestehenden Akteuren ist seit 2009 eine relevante Anzahl an Neugründungen von Lastenfahrradoperatoren in Europa zu verzeichnen [12]. Gründungsmotivation ist oft der erhoffte Beitrag zu einer lebenswerteren Stadt. Die antizipierten Jahresumsätze in der Befragungsgruppe liegen bei der Hälfte der Unternehmen jedoch noch unter 100.000€ [12]. Nur ein Unternehmen setzt mehr als 1Mio.€ pro Jahr um [12]. Die Operatoren von Lastenfahrrädern lassen sich somit zu einem großen Anteil als kleine und oft junge Unternehmen charakterisieren.

### 2.3 Stand der Nutzung von IKT-Technologien bei Lastenfahrrädern

Bei der Analyse des Standes aktueller Lastenfahrradmodelle ist auch die Fragestellung eingebunden, welche IKT direkt am Lastenfahrrad oder dessen Aufbauten verbaut und marktüblich angeboten werden. Bei den Lastenfahrrädern, welche ohne elektrischen Antrieb vertrieben werden, sind in der Untersuchungsgruppe keine IKT-Komponenten fest installiert. Modelle mit elektrischem Antrieb verfügen über eine Steuerungseinheit am Lastenfahrrad, die der fahrenden Person Informationen zur Fahrt und dem Motor zur Verfügung stellen und i.d.R. Steuerungseingriffe ermöglicht. Bei diesen ist je nach Hersteller jedoch die Informationsbereitstellung an die fahrende Person unterschiedlich realisiert. Gängigere Steuerungseinheiten lassen sich im Fahrmodus einstellen und zeigen numerische Werte in Bezug auf relevante Fahrtdata wie aktuelle Geschwindigkeit und verbleibende Reichweite.

Bei keinem der analysierten Lastenfahrräder sind Kommunikationsfunktionen des Lastenfahrrades bzw. der Steuerungseinheit marktüblich installiert. Weitergehende Funktionen der Steuerungseinheiten, wie z.B. ein Routing, konnten ebenso nicht ermittelt werden. Zudem sind keine IKT bei den Aufbauten der Lastenfahrräder ermittelt.

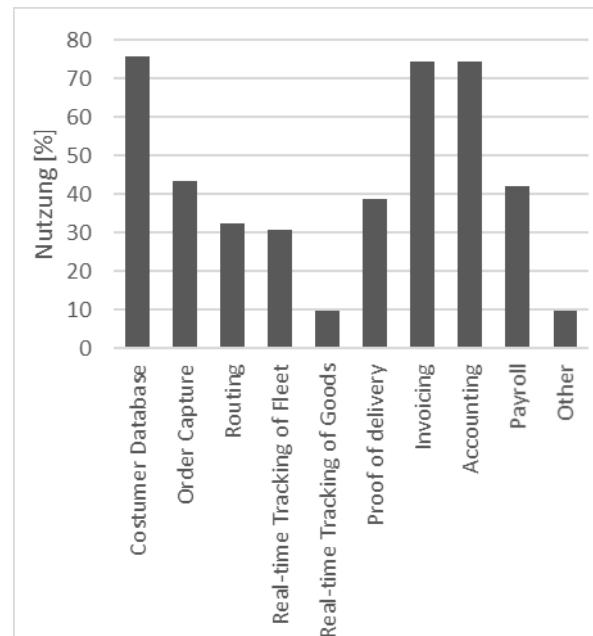


Abbildung 4: Nutzung von IT-Lösungen in der Lastenfahrradlogistik, eigene Abbildung nach [12]

### 2.4 IKT in der Lastenfahrradlogistik

In der Lastenfahrradlogistik werden von den Unternehmen spezifische IT-Lösungen genutzt. Abbildung 4 zeigt, dass sich über die verschiedenen Anwendungen ein unterschiedlicher Nutzungsgrad in der Befragungsgruppe (62 Antworten bei 75 Unternehmen) ergibt. Nach der eingangs vorgenommenen Definition der intelligenten Lastenfahrradlogistik sind nur die Kategorien Routing, Tracking (goods, vehicles) und Proof of Delivery dieser zuzurechnen. Im Gegensatz zu den verbleibenden klassischen IT-Lösungen der Betriebswirtschaft zeigt sich eine deutlich geringere Verwendung von Lösungen für intelligente Systeme. Besonders die Nachverfolgung der Ware ist mit einem Nutzungsgrad von 10 % sehr gering ausgeprägt. Dies mag in der Herkunft einiger Anbieter aus dem Kurierbereich stammen, wo Sendungen persönlich begleitet werden. Ebenso erfolgt die Auftragsdisposition oft per Telefon, vom Fahrrad [13], S.413 oder über die Kurierzenträle [9], S.17. Dennoch ist der Einsatz von IT-Lösungen von hoher Relevanz für die Unternehmen, da es als dritt wichtigstes Hemmnis zur Entwicklung des eigenen Geschäfts bezeichnet ist [12].

Ein besonderes Hemmnis zeigt sich bei der Integration von Lastenfahrrädern für last mile oder first mile Dienste in die Logistikketten konventioneller Logistikdienstleister. Kurierdienstleister sind hier oft Subunternehmer von KEP-Dienstleistern [14], S.54ff. Sie sind für mehrere Auftraggeber aktiv, müssen jedoch spezifische Systeme der Hauptkunden (z.B. DHL, TNT, Fed Ex) in der Sendungsnachverfolgung und Verwaltung nutzen. Ein weiteres Problem, außerhalb der großen KEP-Dienste, ist, dass Sendungsdaten nur begrenzt digital zur Verfügung gestellt werden. Nur 21 % der befragten Unternehmen

bekommen alle Auftragsdaten für ihre eigenen Systeme, 15% einige und 54% keine [12] in digitaler Form.

In der Lastenfahrradlogistik ist bisher ein geringer Grad der Nutzung von IKT und deren Anwendungen für eine intelligente Lastenfahrradlogistik zu verzeichnen. Die Transportmittel verfügen bisher über keine integrierte IKT, auch die Betreiber sind bisher nur in Teilen entsprechend ausgerüstet. Bei der Integration in Logistikketten ist eine Ambivalenz zwischen großen professionellen Diensten wie den KEP-Diensten, welche ihre IKT-Systeme strikt durchsetzen, und vielen Unternehmen, welche keine digitalen Daten an die Unternehmen der Lastenfahrradlogistik bereitstellen, festzustellen.

### 3 Intelligente Lastenfahrradlogistik

Die Lastenfahrradlogistik weist spezifische Eigenarten in den Systemausprägungen auf, welche aus sich heraus oder in Bezug auf die Integration in Logistikketten die Einbindung von IKT bzw. die Entwicklung von darauf angepassten IKT-Lösungen zur Erzielung effizienter und sicherer Transporte bedarf. Die sich ergebenden Potentialfelder sind in den folgenden Punkten aufgeführt.

#### 3.1 Umgang mit Dezentralität und Vielfalt

Die Lastenfahrradlogistik ist charakterisiert durch eine stark ausgeprägte Dezentralität, bedingt durch die kleinen, vielfältigen Unternehmen. Es ist zu erwarten, dass bestehende Unternehmen ihr Geschäft ausweiten und weiterhin, auch zunehmende, Neugründungen zu verzeichnen sind. Flottengrößen können dabei stark wachsen, Unternehmen wie Kurierdienste flexibel verschiedene Geschäftsfelder (vgl. Abb. 3) sowie vielfältige Kunden und Sendungsstrukturen mit unterschiedlichen Transportanforderungen bedienen. Passende IKT-Lösungen, welche sich zu geringen Kosten in junge Unternehmen implementieren und erweitern lassen, stellen ein Hemmnis dar. Es besteht ein Bedarf an flexiblen, an die Lastenfahrradlogistik angepassten Lösungen. Das bedeutet, dass Software und Hardware eine hohe Skalierbarkeit bzgl. der verwaltenden und steuernden Fahrzeuge, der zu disponierenden Aufträge und dem Personal aufweisen. Ebenso ist eine modulare, bedarfsgerechte Anpassung an spezifische Anforderungen in Planung und Durchführung von vielfältigen Logistikprozessen nötig, welche die unten aufgeführten Aspekte einbindet.

Bei der Dezentralität von Elementen ist von einer dezentralen Steuerung und Planung nicht nur auszugehen, sie ist auch zur Beherrschung der Komplexität wachsend [15], S.618. Einer wesentlichen Rolle kommt dabei ein durchgängiger Informationsfluss, sowohl vertikal innerhalb der Logistikketten wie horizontal zwischen den Akteuren (Depotbetreiber, LR-Spediteure, Kurierdienstleister, Fahrer) im logistischen System Stadt zu. Dafür wird es notwendig sein, die zahlreichen Teilsysteme kompatibel und über Schnittstellen verknüpfbar [16], S.104 zu gestalten um einheitliche Systeme innerhalb eines Unterneh-

mens nutzen zu können und dennoch transparente, durchgängige Informationsflüsse zu ermöglichen. Ein Aspekt gegen den sich aktuell einige Akteure (z.B. KEP-Dienste) wehren.

#### 3.2 Integration in Logistikketten

Die Lastenfahrradlogistik wird über Umschlagspunkte der Ladungsträger in übergeordnete Logistikketten integriert (Abbildung 5). Depots in Innenstadtnähe werden aufgrund ihrer Lage nur über eine stark begrenzte Kapazität verfügen. Demzufolge sind geringe Bestände anzustreben, welche eine durchgängige Planung von Zugängen und Abgängen über die Elemente der Kette bedingen. Dies verdeutlicht die vertikale Integration der Lastenfahrradlogistik in die IKT der Logistikketten unabhängig der Organisationsform.

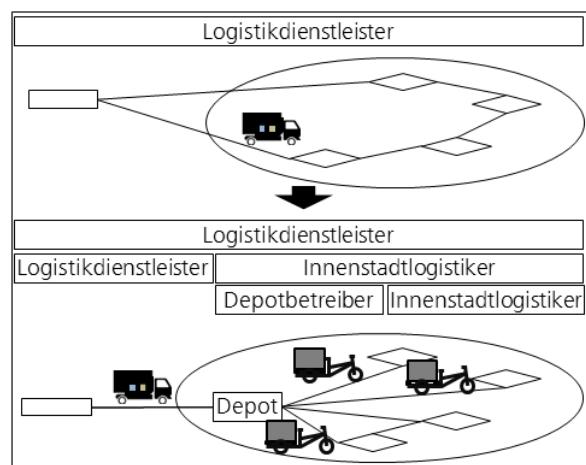


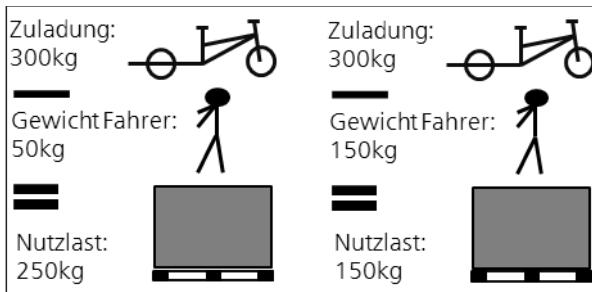
Abbildung 5: Integration von Depots und mögliche Organisationsformen (eigene Darstellung)

Aufgrund der stark begrenzten Kapazität werden an den Depots nur eine limitierte Anzahl an Logistikfunktionen möglich sein. So ist zu erwarten, dass Lagerhaltung und Kommissionierung in (bestehenden) auswärtigen Logistikknoten durchgeführt werden und am Depot das Crossdocking vorkommissionierter Ladungsträger für die last-mile erfolgt. Dies kann durch den Umschlag wechselbarer, kompatibler Behälter erfolgen. Bei derartigen Prozessen verliert der Fahrer, durch den Wegfall der Selbstbeladung des Fahrzeuges, das Wissen über die Lage und Anordnung der Sendungen. Entsprechende Informationen zu Empfängern, Sendungsposition und Tour müssen ihm somit bei der Auslieferung in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden.

#### 3.3 Menschorientierte Touren- und Routenplanung

In Abbildung 1 ist die Nutzlast der Lastenfahrradmodelle dargestellt. Diese sind auf die Nutzlast unter einem einheitlichen Fahrer normiert. Jedoch wird bei Lastenfahrrädern häufig die maximale Zuladung, inkl. des Fahrergewichtes angegeben. Dieses kann, wie in Abbildung 6 beispielhaft dargestellt, einen erheblichen Einfluss auf die mögliche Nutzlast ausüben. Für die Tourenplanung ist

demnach, bei gewichtsrestriktiven Touren, für eine effiziente Planung das Eigengewicht der fahrenden Person von Relevanz. Eine Überladung des Fahrzeugs kann sowohl eine Gefahr für die Sicherheit von Waren und Transportmittel, sowie für Verkehrsteilnehmer sein. Damit an dieser Stelle die Transportsicherheit auch bei unzureichenden Informationen zu Sendungsgewichten gewährleistet werden kann, ist es sinnvoll, im Lastenrad bzw. dem Aufbau entsprechende Sensorik zur Lastmessung von Fahrer und Ladung vorzusehen, die eine Überladung detektiert und entsprechende Informationen an Fahrer und die Touren- und Routenplanung zur Echtzeitsteuerung meldet.



*Abbildung 6: Einfluss des Fahrergewichts auf Nutzlast (eigene Darstellung)*

Das Lastenfahrrad wird durch menschliche Energie und je nach Modell durch einen elektrischen Motor angetrieben. Beide Energiequellen verfügen nur über eine begrenzte Kapazität. Damit diese effizient ausgenutzt werden können und das Liegenbleiben auf der Strecke vermieden wird, sind zwei Ansätze weiter zu verfolgen:

- Bei der Touren- und Routenplanung sind Energieverbräuche, welche sich über das Ladungsgewicht oder die konkrete Fahrtstrecke (Höhenunterschiede) ergeben, mit einzubeziehen
- Die Überwachung und Echtzeitübertragung des Ladestands der Batterie in einer dynamischen Tourenplanung kann den Ausfall von Fahrzeugen durch rechtzeitiges Laden der Batterie bzw. Umdisponierung von Aufträgen vermindern.

Nach aktuellem Stand erhalten viele Lastenfahrradfahrer ihre Aufträge manuell per Telefon oder Papier und sind für ihre Routenwahl häufig selbst verantwortlich. Bei erfahrenen Fahrern ist davon auszugehen, dass sie die Vorteile des Lastenfahrrades bei der Nutzung von Abkürzungen, Radwegen u.ä. auch zur Umfahrung von Stausituationen effizient nutzen können. In aktuellen Touren- und Routenplanungsprogrammen sind diese Erfahrungen und die damit verbundenen Wege gar nicht oder nur rudimentär abgebildet. Bei der Implementierung von Routingsystemen am Lastenfahrrad zur effizienten Routenführung von unerfahrenen Fahrern, können auf selbstlernenden Systemen aufbauende dynamische Routenplanungsprogramme eingesetzt werden. Diese lernen über verbaute Sensoren der Lokalisierung und die Einbindung von Sekundärdaten (Stausituation, Wetter, etc.) die dem

Umgebungsumständen entsprechend beste Route anhand der menschlich durchgeföhrten Fahrten zu wählen.

### 3.4 Laderaumüberwachung

Lastenfahrräder verfügen über einen sehr begrenzten Laderaum (vgl. Abbildung 1). Sie können in kombinierten Verteil- und Sammelfahrten wie auch konsolidierenden Direktfahrten eingesetzt werden. Bei beiden Anwendungen werden auf der Fahrt Sendungen im Vorfeld geplant oder dynamisch durch neue Aufträge zugeladen, welche über vielfältige, auch nicht standardisierte Abmessungen verfügen. Unter der Maßgabe einer effizienten Ausnutzung des Transportmittels ist eine optimale Auslastung des Laderaums zu erzielen. Dabei kann es vorkommen, dass bereits kleine Packstücke bei ungünstiger Anordnung im Laderaum oder aufgrund fehlender Kapazität nicht befördert werden können. Zur Erzielung einer hohen Kapazitätsauslastung und Prozesssicherheit bedarf es demnach eine packstückfeine Überwachung des Laderaums um a) die verbleibende Kapazität exakt in Höhe, Breite und Länge bestimmen zu können, wie auch um b) alternative Anordnungen für die Generierung des benötigten Raumes testen zu können. Voraussetzung dafür sind Maß- und Gewichtsinformationen zu den Sendungen sowie das Bereitstellen der Laderauminformationen in Echtzeit. Optimale Packordnungen sind Optimierungsprobleme, welche durch geeignete Software gelöst werden können. Entsprechende Packordnungen sind dem Fahrer als Assistenz bei der Beladung zur Verfügung zu stellen.

Ein weiterer Aspekt ist die nach dem Stand der Technik ausgeführte passive Kühlkette. Bei dieser kann bisher keine prozessbegleitende Überwachung des Temperaturbereiches in Echtzeit durchgeführt werden. Zur Erhöhung der Prozesssicherheit können hier die Temperatur messende Behälter, welche die Information direkt oder über ein Kommunikationsmittel am Lastenfahrrad übermitteln, eingesetzt werden.

### 3.5 Überwachung des Fahrzeuges

Ausfallzeiten sind ein Problem in der Logistik und ein wesentliches Kriterium bei der Fahrzeugbeschaffung [17], S.24. Sie lassen sich durch eine entsprechende Überwachung der kritischen Teile für eine vorausschauende Wartung verringern. Dafür sind am Lastenfahrrad Sensoren vorzusehen, welche wesentliche Teile wie Reifen, Felgen, Bremsen in ihrem Zustand überwachen und frühzeitig den Wartungsbedarf kommunizieren.

## 4 Fazit

Das Lastenfahrrad kann ein sinnvolles und profitables Transportmittel für den urbanen Güterverkehr sein. Beim technischen Entwicklungsstand zeigt sich eine bisher nicht ausgeprägte Integration von IKT. Der Einsatz von IT-Lösungen und die Integration in IKT-Systeme von konven-

tionellen Logistikketten stellt für Operateure noch ein erhebliches Hemmnis dar. Dabei ergeben sich Potentialfelder für IKT insbesondere in dezentral anwendbaren, modularen IKT Lösungen, welche die vertikale Integration in Logistikketten unter durchgängiger Planung des Depots, menschorientierter, selbstlernender Tourenplanung, einer packstückfeinen Laderaumüberwachung und der Fahrzeugüberwachung mit einbeziehen und untereinander kompatibel verknüpfen können.

## 5 Literatur

- [1] Schenk, Michael, Behrendt, Fabian (2014): Wege zur digitalen Logistik. In: Schenk, M., Zadek, H., Müller, G., Richter, K., Seidel, H.: 19. Magdeburger Logistiktage »Sichere und nachhaltige Logistik«, Tagungsband. Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung, Magdeburg.
- [2] Velokonzept-Saade (2015): »VELOTransport - Home«. Abgerufen am 09.11.2015 von <http://www.velotransport.de/produkte.html>.
- [3] Bogner, Alexander; Littig, Beate; Menz, (2014): Interviews mit Experten, Eine praxisorientierte Einführung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [4] Crainic, Theodor Gabriel, Gendreau, Michel, Potvion, Jean-Yves. (2008): Intelligent freight transportation systems: Assessment and the contribution of operations research. Transportation Research Part C, 17, Elsevier Lt. S. 541–557.
- [5] VCD (2015b): »Startseite – Umfassendes Informationsportal für Lastenräder des VCD«. Verkehrsclub Deutschland e.V. Abgerufen am 09.05.2015 von <http://lastenrad.vcd.org/markeubersicht/>.
- [6] Reiter, Karl; Basterfield, Sara; Geffen, Roger (2011): D2.1 Short History of Cargo Cycling lessons to be learnt from present and future Overview of the use of bicycles for goods delivery in selected EU countries. Version 1. Cyclelogistics Moving Europe forward.
- [7] Reiter, Karl; Wrighton, Susanne; Rzewnicki, Randy (2014): Potential to shift goods transport from cars to bicycles in European cities. Cyclelogistics Moving Europe forward.
- [8] Weber, Andreas; Chiadò, Paola; Bruening, Matthias (2012): Test site final report – Berlin. citylog D5.
- [9] Gruber, Johannes (2015): Ich ersetze ein Auto Berlin: Institut für Verkehrsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.
- [10] Leonardi, Jacques; Browne, Michael; Allen, Julian (2012): »Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: a case study in London«. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences. Elsevier B.V. 39 , S. 146–157
- [11] Statistisches Bundesamt (2008): »Klassifikation der Wirtschaftszweige«. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- [12] Armstrong, Gary. (2016): Presentation of the ECLF survey. Presentation. International Cargobike Conference, 16.-17. April 2016 Nijmegen, Niederlande.
- [13] Maes, Jochen; Vanelslander, Thierry (2012): »The Use of Bicycle Messengers in the Logistics Chain, Concepts Further Revised«. In: Procedia Social and Behavioral Sciences, Elsevier B.V. 39 , S. 409–423.
- [14] Schliwa, Gabriele; Armitage, Richard; Aziz, Sara et al. (2015): »Sustainable city logistics – Making cargo cycles viable for urban freight transport«. In: Research in Transportation Business & Management. Elsevier Ltd 15 , S. 50–57.
- [15] ten Hompel, Michael., Henke, Michael. (2014): Logistik 4.0. In: Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- [16] Schenk, Michael; Krampe, Horst; Poenicke, Olaf; et al. (2012): »Informationslogistik«. In: Krampe, Horst; Lucke, Hans-Joachim; Schenk, Michael (Hrsg.) Grundlagen der Logistik.4. Auflage. München: Huss-Verlag.
- [17] Knahl, Tobias, Sommer, Christoph (2013): Einsatzpotenziale für Elektrofahrzeuge in der Hamburger Wirtschaft. Handelskammer Hamburg, Hamburg.

# **AGILE FABRIKPLANUNG MITTELS ITERATIV- INKREMENTELLER VORGEHENSWEISE**

---

Stefan Kaspar M. Eng.  
Prof. Dr. Markus Schneider  
Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme

# LEBENSLAUF



Stefan Kaspar M. Eng.

Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

2007 – 2012	Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der Hochschule Landshut mit Praktika bei der BMW Group und Porsche Consulting.
Seit 10/2012	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Landshut.
05/2013 – 08/2015	Consultant, PuLL Beratung GmbH.
Seit 09/2015	Senior Consultant/Projektleiter, Kompetenzzentrum für Fabrik- und Standortplanung GmbH.

# LEBENSLAUF

Prof. Dr. Markus Schneider

Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme,  
Wissenschaftlicher Leiter



- 02/2004 – 03/2008                          Externe Promotion zum Thema »Logistikplanung in der Automobilindustrie«, Universität Regensburg.
- 01/2003 – 06/2008                          Prozessplaner Logistik, Audi AG..
- 06/2004 – 06/2008                          Projektleiter Virtuelle Logistik, Audi AG.
- 09/2008    Professor für Logistik, Material- und Fertigungswirtschaft, Hochschule Landshut.
- 09/2009    Leiter Kompetenzzentrum Produktion und Logistik Landshut (PuLL) der Hochschule Landshut.
- 10/2009    Geschäftsführer PuLL Beratung GmbH.
- 03/2012    Kursleiter Hochschulzertifikat Expertenwissen Logistik, Hochschule Landshut.
- 03/2012    Leiter Forschungsschwerpunkt Produktions- und Logistiksysteme, Hochschule Landshut.
- 10/2012    Studiengangsleiter berufsbegleitender Master Prozessmanagement & Ressourceneffizienz, Hochschule Landshut.
- 01/2015    Mitgründer und Gesellschafter Kompetenzzentrum Fabrikplanung GmbH.
- 03/2015    Wissenschaftlicher Leiter des Technologiezentrums PULS (Produktions- und Logistiksysteme) am Standort Dingolfing, Hochschule Landshut.
- 10/2015    Mitgründer und Gesellschafter Technologiezentrum Dingolfing GmbH.

# AGILE FABRIKPLANUNG MITTELS ITERATIV-INKREMENTELLER VORGEHENSWEISE

Stefan Kaspar M. Eng., Prof. Dr. Markus Schneider

## 1 Ausgangssituation und Problemstellung

### 1.1 Ausgangssituation

Produzierende Unternehmen sind mit einem zunehmend turbulenten Unternehmensumfeld konfrontiert [1]. Eine wesentliche Auswirkung auf die Fabrikplanung ist, dass Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Fabriken einen enorm hohen Stellenwert besitzen [2]. Während der Fokus der Forschung viele Jahre lang auf der Wandlungsfähigkeit von Fabriken während der Betriebsphase lag, wurde der Entwicklung von flexiblen, adaptiven und wandlungsfähigen Vorgehensmodellen für den Fabrikplanungsprozess weniger Bedeutung zugemessen [3], weshalb diese noch Defizite aufweisen [4].

### 1.2 Problemstellung und Handlungsbedarf

Bei der Planung neuer Fabriken handelt es sich um hochkomplexe Vorhaben in einem dynamischen Umfeld [5]. Es ist davon auszugehen, dass sich Komplexität und Dynamik derartiger Projekte in Zukunft noch weiter erhöhen werden [6]. Doch bereits jetzt stoßen bestehende Ansätze und Vorgehensmodelle im Bereich der Fabrikplanung hinsichtlich Dynamik und Komplexitätsbewältigung an ihre Grenzen [7].

Vor allem Kettner [8] und Aggteleky [9] und die darauf aufbauenden Ansätze haben die Fabrikplanung geprägt. Auch heute basieren die Planungsprozesse und Vorgehensmodelle der Fabrikplanung noch überwiegend auf diesen klassischen Planungsansätzen [10]. Diese sind jedoch auf ein deterministisches, weitgehend statisches Umfeld, eine überschaubare Planungskomplexität sowie mittel- bis langfristige Planzyklen mit einer geringen Veränderlichkeit der Fabrik ausgelegt [4]. Auf Grund der Veränderungen im Unternehmensumfeld sind sie für heutige Planungsprojekte nur bedingt geeignet [11]. Sie alle verwenden ein sequenzielles Vorgehensmodell, oft auch als Wasserfallmodell bezeichnet. Dieses gliedert die zu erfüllenden Aufgaben in einzelne Phasen mit zunehmenden Detaillierungsgrad, welche hintereinander abgearbeitet werden [12]. Der Übergang von einer zur nächsten Phase erfordert, dass die vorherige vollständig abgeschlossen ist [13]. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Anforderungen an das zu entwickelnde System zu Projektbeginn bekannt sind und sich nicht verändern, wovon in heutigen Projekten jedoch nicht ausgegangen werden kann. Ganz im Gegenteil: die Realität ist geprägt von sich ständig verändernden Rahmenbedingungen, Vorgaben, Prognosen und Prioritäten sowie Planung unter zuneh-

mender Unsicherheit. Ein sequenzielles Vorgehensmodell führt deshalb in der Praxis mittlerweile oft zu Komplikationen und Zeitverzögerungen [14].

Zu diesem Ergebnis kommt auch eine Studie zur Zielerreichung von Fabrikplanungsprojekten. Wie in Abbildung 1 dargestellt, ist die Zielerreichung von Fabrikplanungsprojekten verbesserungsfähig. Die Leistungsziele werden weitestgehend erreicht, woraus zu schließen ist, dass die fachlichen Planungsmethoden einen guten Stand aufweisen. Die geplanten Kosten und der Termin zur Fertigstellung werden jedoch überwiegend verfehlt, was schließen lässt, dass die verbreiteten Vorgehensmodelle nicht für die Komplexität und Dynamik heutiger Projekte geeignet sind.

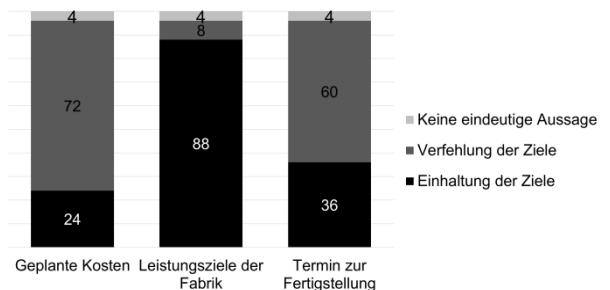


Abbildung 1: Zielerreichung in Fabrikplanungsprojekten  
(in Anlehnung an [7], eigene Darstellung)

Die Studie geht des Weiteren davon aus, dass sich der Grad der Zielerreichung bei Verwendung herkömmlicher Vorgehensweisen weiter verschlechtern wird [7]. Obwohl Fabrikplanung also einen guten Stand in Theorie und Praxis aufweist, ist sie trotzdem nur teilweise geeignet, den aktuellen Herausforderungen zu begegnen [5].

Es ist festzuhalten, dass statt klassischen Planungsprinzipien künftig heuristische, systemorientierte Gestaltungsansätze erforderlich sind, Prozesse des Projektmanagements in geeigneter Weise mit den Aufgaben der Fabrikplanung verzahnt werden müssen und die Dynamik im Projektverlauf berücksichtigt werden muss [10]. In diesem Zusammenhang weist Riedel [10] explizit darauf hin, dass eine einmalige Zieldefinition und Projektplanung zu Beginn nicht ausreichen.

Aus diesem Grund ist in der jüngeren Vergangenheit ein Wandel von klassischen phasenorientierten Fabrikplanungsprozessen hin zu synergetischen [15], konfigurierbaren [16], zustandsbasierten [4] und integrativen [17] Ansätzen im Gange.

Darüber hinaus wird immer wieder die Forderung nach wandlungsfähigen, flexibel anpassbaren und agilen Vorgehensmodellen für die Fabrikplanung artikuliert (u.a. [5] [7] [10]) Hierzu soll der hier beschriebene Ansatz einen Beitrag leisten.

## 2 Iterativ-inkrementelle Fabrikplanung

### 2.1 Grundlagen und beispielhafte Strategien

Im Gegensatz zu den beschriebenen traditionellen, sequenziellen Vorgehensmodellen stellen agile Vorgehensmodelle eine gute Möglichkeit dar, den beschriebenen Herausforderungen wirkungsvoll zu begegnen. Dabei bedeutet Agilität nicht, dass keine Planung der Projektaktivitäten stattfindet, diese jedoch nicht vor, sondern parallel zu den Projektaktivitäten durchgeführt wird [18]. Dadurch kann jederzeit schnell auf sich ändernde Anforderungen reagiert werden [19].

Agile Vorgehensmodelle sind durch eine iterative und inkrementelle Vorgehensweise geprägt. Bei iterativen Prozessen handelt es sich um eine schrittweise Verbesserung, d.h. bei jeder Iteration wird das zu entwickelnde Produkt durch das Hinzufügen von Details weiterentwickelt [20]. Zur effektiven Komplexitätsreduzierung eines Gesamtsystems reicht ein iteratives Vorgehen jedoch nicht aus. Um die Komplexität wirkungsvoll zu reduzieren, sollte das Gesamtsystem in überschaubare Einzelteile zerlegt werden, welche idealerweise auch als alleinstehende Bausteine eine Daseinsberechtigung haben und sozusagen »überlebensfähig« sind [20]. Dies kann durch eine inkrementelle Vorgehensweise realisiert werden.

Dabei wird ein System Stück für Stück in sinnvollen »Inkrementen« entwickelt [20]. Ein zentrales Kennzeichen einer inkrementellen Entwicklung ist, dass verschiedene Teile eines Systems zu unterschiedlichen Zeiten und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten wachsen und somit verschiedene Reifegrade annehmen können, sie jedoch umgehend in das Gesamtsystem zu integrieren sind [12].

Um die Vorteile beider Ansätze zu nutzen, können sie kombiniert werden. Dabei wird ein Gesamtsystem in kleinere Einheiten (Inkremeante) unterteilt und jedes dieser Inkremeante entsprechend einem iterativen Vorgehen in mehreren Schritten realisiert bzw. überarbeitet, bis es den gewünschten Reifegrad erreicht hat [20].

In Abbildung 2 sind zwei verschiedene Extremtypen möglicher Strategien bei einer iterativ-inkrementellen Vorgehensweise abgebildet. Im linken Teil der Abbildung ist die Strategie »möglichst schnell einen hohen Reifegrad erreichen« dargestellt. Hier wird die wichtigste Teifunktion des Systems identifiziert, zuerst dieser Teil bis zum angestrebten Zustand ausgebaut und anschließend die anderen Teil-Funktionen des Systems realisiert. Die auf der rechten Seite dargestellte Strategie hingegen verfolgt das Ziel schnell eine breite Funktionsabdeckung zu erreichen. Hier werden in einem ersten Iterationszyklus sämtliche Teifunktionen des Systems grob realisiert und in den folgenden Zyklen weiter ausgebaut [20]. Bei Planungsprojekten mit hoher Dynamik, Komplexität und Unsicherheit kann im Verlauf durchaus sogar ein mehrfacher Wechsel der Strategie nötig und sinnvoll sein, was zu Projektbeginn meist nicht vorhersehbar ist.

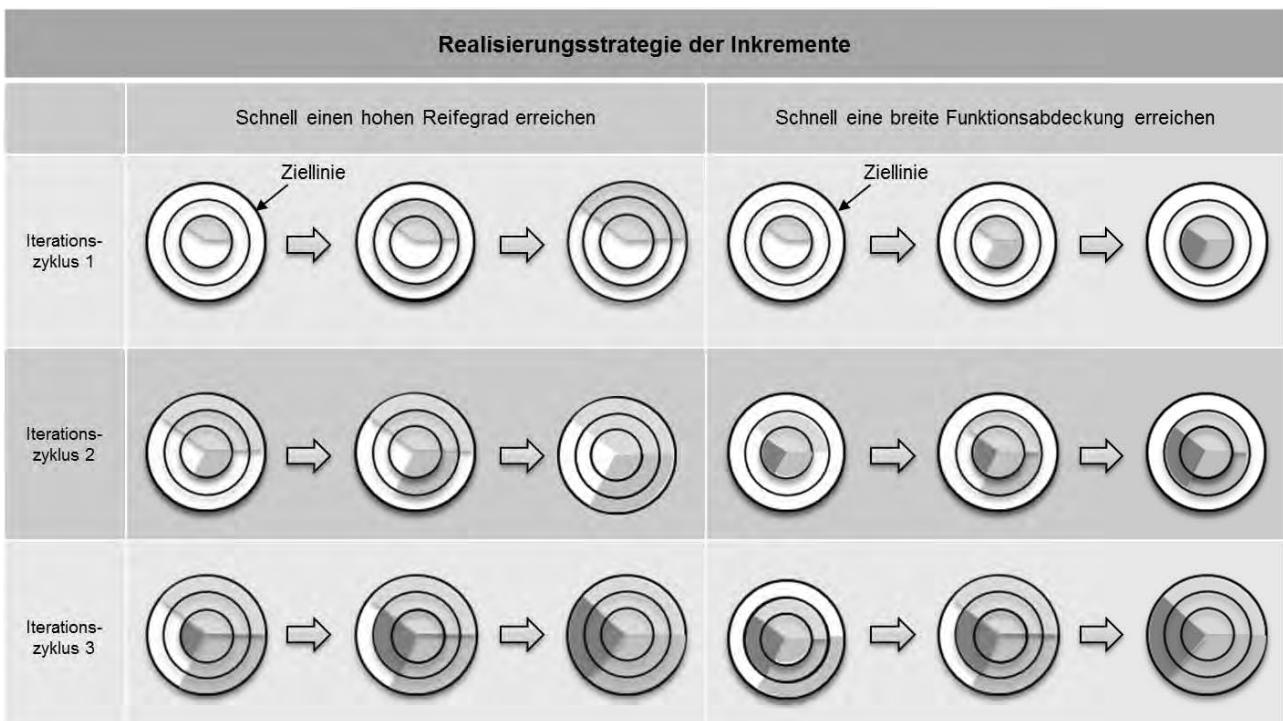


Abbildung 2: Strategien bei iterativ-inkrementeller Entwicklung (in Anlehnung an [20], eigene Darstellung)

## 2.2 Systemorientierte Planungslandkarte

Um eine inkrementelle Vorgehensweise in der Fabrikplanung zu ermöglichen, muss das System »Fabrik« in Bausteine zerlegt werden, welche das Kriterium »eigenständig überlebensfähig« erfüllen. In diesem Zusammenhang wird darunter verstanden, dass sämtliche für den Betrieb notwendigen Elemente in Form von Produkt, Prozess, Ressourcen und deren Lenkung (PPRL-Modell) [10] [12] vorhanden sind. Somit ist die gleichzeitige, aufeinander abgestimmte Betrachtung von Produkt, Produktionsstruktur sowie Produktionsplanung und -steuerung sichergestellt und es entsteht eine funktionsfähige Einheit [12].

In einem ersten Schritt erfolgt deshalb eine Unterteilung in Subsysteme. Dabei ist ein Subsystem Bestandteil eines Systems, der selbst ein eigenes System bildet und durch eine Untergliederung des Gesamtsystems entsteht [2]. Als Beispiel für ein Subsystem kann ein Produktsegment genannt werden [12]. Die Fabrikstrukturierung durch Segmentierung nach Produktfamilien ermöglicht eine deutliche Komplexitätsreduzierung durch voneinander unabhängig zu gestaltende Wertströme [21].

Innerhalb eines Segments ermöglicht eine Strukturierung nach Wertstromabschnitten eine schrittweise Umsetzung [21] [15]. Wertstromabschnitte sind voneinander entkoppelte Regelkreise [21]. Auch sie enthalten sämtliche für den Fabrikbetrieb notwendige Bestandteile in Form von Produkt, Prozess, Ressource und Lenkung. Somit können Wertstromabschnitt inkrementell ausgeplant werden. Erlach [21] empfiehlt eine solche Vorgehensweise in der Form, dass nach dem line-back Prinzip flussaufwärts Schritt für Schritt Optimierungs- bzw. Planungstätigkeiten durchgeführt werden sollen.

Mit Hilfe dieser beiden Strukturierungsmethoden lässt sich eine Planungslandkarte erstellen, welche als Grund-

lage für die Anwendung eines agilen, iterativ-inkrementellen Vorgehensmodells dient. Diese gibt einen Überblick über das zu gestaltende System und dessen Unterteilung. Dadurch wird ein inkrementelles Vorgehen ermöglicht. Nur so können bestimmte Systemteile inkrementell entwickelt und anschließend in das Gesamtsystem eingepasst werden.

In den Abbildungen 4 und 5 ist die jeweilige Planungslandkarte von zwei in der Folge (siehe 3.) beschriebenen Praxisprojekten für ein Segment mit den jeweiligen Wertstromabschnitten dargestellt.

## 2.3 Vorgehensmodell

Das konkrete Vorgehensmodell ist angelehnt an die agile Projektmanagementmethode Scrum. Auch hier muss eine Vorplanung stattfinden, bei der neben einigen organisatorischen Dingen, wie der Zusammenstellung des Projektteams, auch ein Design der Grobarchitektur erfolgt [22]. Dies wird mit der Erstellung der Projektlandkarte (siehe 2.2) abgedeckt.

Anschließend erfolgt der eigentliche Planungsprozess (siehe Abbildung 3). Die Planungsintervalle weisen einen bestimmten festgelegten Takt auf und bilden somit eine Iteration. Zu Beginn einer jeden Iteration werden die Strategie und der Betrachtungsbereich auf Basis der Projektziele für die nächste Iteration ausgewählt. Somit kann jederzeit auf sich ändernde Anforderungen eingegangen werden [19] und es wird wie eingangs gefordert (siehe 1.2) eine agile und projektbegleitende Planung der Aktivitäten des Planungsprojektes durchgeführt. Nach Abschluss des Planungsintervalls, welches kurzzyklische Abstimmungen enthält, wird das (weiter-)entwickelte Inkrement in das Gesamtsystem integriert sowie eine Retrospektive durchgeführt. Diese dient zur Beurteilung,

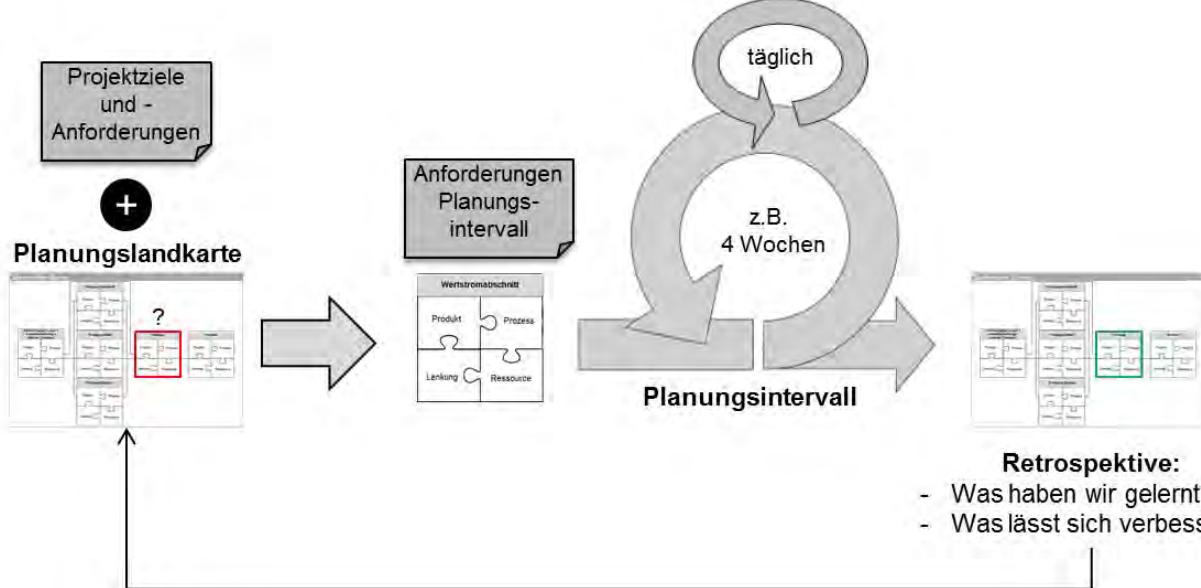


Abbildung 3: Agiles Vorgehensmodell (eigene Darstellung)

was im zurückliegenden Planungsintervall gut und was schlecht gelaufen ist und soll zur kontinuierlichen Verbesserung des Planungsprozesses beitragen.

### 3 Praxisbeispiele

#### 3.1 Neuplanung einer automatisierten Montage

Zu Projektbeginn wurde davon ausgegangen, dass das Hauptaugenmerk der Planung auf dem Bereich der automatisierten Montage liegt. Hier sollte ein möglichst platzsparendes Layout mit kurzen Wegen zwischen den Maschinen erstellt werden, um eine Mehrmaschinenbedienung zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte die Materialversorgung der einzelnen Montageautomaten über Kanbanregale direkt an den Maschinen geschehen. Der vorgelagerte Abschnitt »Wareneingang, Lager und interner Transport« sowie der nachgelagerte »Versand« sollten dementsprechend parallel dazu geplant werden.

In der ersten Iteration wurde für jeden Bereich ein Grobkonzept bestehend aus den zu fertigenden Produkten, Prozessschritten und überschlägigen Bearbeitungszeiten, benötigtem Flächenbedarf und Lenkungskonzept erstellt. Während der ersten Iteration für den Abschnitt »Wareneingang, Lager, interner Transport« ergab sich eine große und vor Projektbeginn nicht absehbare Dynamik für das Projekt. Durch externe Beratung und innovativer Technologien aus dem Bereich der Industrie 4.0 wurde ein Konzept bestehend aus vollautomatischer Lagerung und Transport mittels autonomer Transportroboter, welche an der Decke fahren und Material direkt bis zum Verbauplatz transportieren, anstatt einer konventionellen Lagerung und Transport mit Routenzügen in Betracht gezogen. Dadurch ergaben sich enorme Potenziale hinsichtlich der

übergeordneten Projektziele bestehend aus geringer Flächenbedarf und effiziente Materialversorgung. Neben Personaleinsparungen, konnten sowohl im Lager als auch in der Produktion 20% Fläche eingespart werden [23]. Jedoch ergaben sich dadurch dramatische Änderungen auf die Vorgehensweise im Projekt, welche durch das iterativ-inkrementelle Vorgehensmodell abgedeckt werden konnten. Es bestand hoher Zeitdruck auf Grund des angepeilten Start of Production-Termins. Des Weiteren war die Gebäudeplanung, die parallel durchgeführt wurde, bereits sehr weit fortgeschritten. Gerade auf den Bereich Gebäude hätte eine solche Entscheidung aber enorme Auswirkungen, da sich sowohl die Flächen deutlich verändert haben als auch die Höhe des Gebäudes im Bereich des Lagers sowie die ganze Statik auf Grund der an der Decke befestigten Transportschienen anders geplant werden musste.

Aus diesem Grund wurde in diesem Projektstadium die Strategie »schnell einen hohen Reifegrad erreichen« verfolgt. Der Abschnitt »Wareneingang, Lager, interner Transport« wurde bis zu einem ausreichend hohen Reife-grad (ausgenommen bestimmter Details wie z.B. Bedienkonzept, genaue Anzahl der Behälterplätze an den Abgabestationen o.ä.) ausgeplant, sodass sichergestellt werden konnte, dass hier keine gravierenden Änderungen mehr vorgenommen werden müssen. Anschließend konnten die Montage, der Versand und die indirekten Bereiche ausgehend von der ersten Iteration sowie dem fertigen Inkrement »Wareneingang, Lager, interner Transport« gleichmäßig ausgeplant werden. Durch das Anpassen der Vorgehensweise bzw. das agile Vorgehensmodell und der Konzentration auf das zu diesem Zeitpunkt kritische Inkrement, konnte das Projekt erfolgreich beendet und eine Verzögerung des Gesamtprojekts verhindert werden.

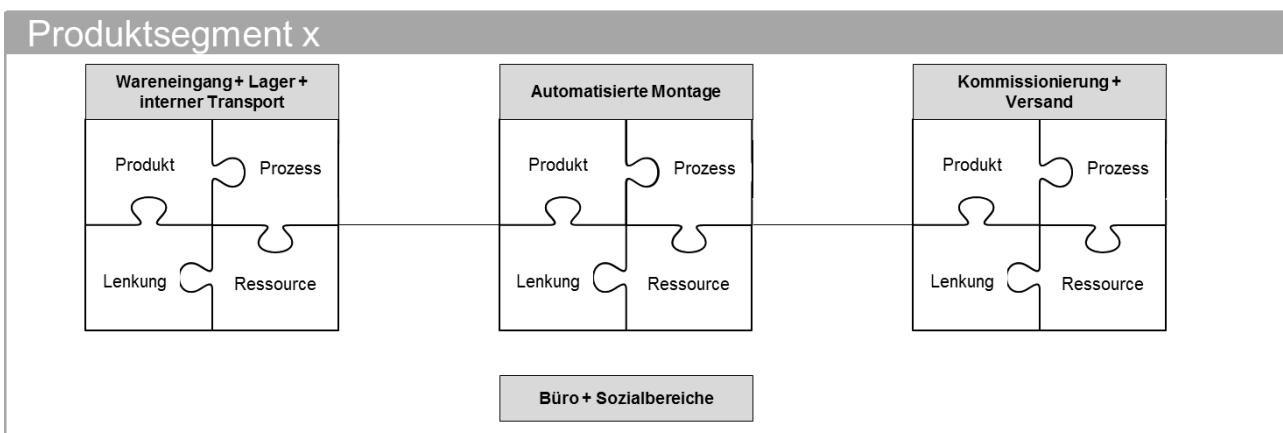


Abbildung 4: Planungslandkarte Praxisbeispiel 1 (eigene Darstellung)

## Bodenroller (Serie)

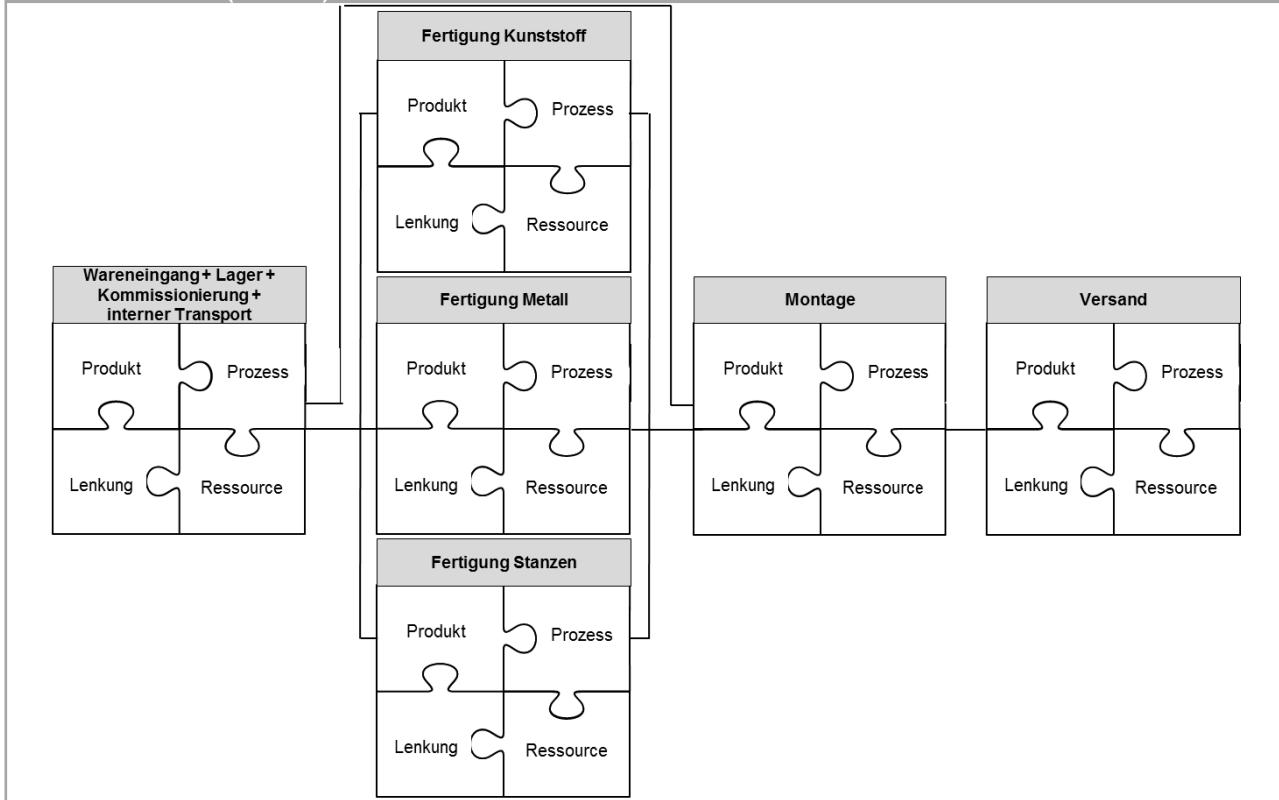


Abbildung 5: Planungslandkarte Praxisbeispiel 2 (eigene Darstellung)

Dieser Ablauf wäre im Vorhinein nicht so zu planen gewesen, sondern wurde erst durch die kontinuierliche Planung der Projektaktivitäten in Form eines iterativ-inkrementellen Vorgehensmodells ermöglicht. Gleichzeitig konnten dadurch enorme Potenziale gehoben werden, die durch eine Abarbeitung von Arbeitspaketen auf Grund eines Pflichtenhefts nicht realisiert hätten werden können. So ergibt sich erst während des Projektverlaufs und durch die kontinuierliche Planung der Aktivitäten eine für jedes Projekt einmalige »Planungs-DNA«.

### 3.2 Planung der Musterfabrik des TZ PULS

Auch bei der Planung der Musterfabrik des Technologiezentrums Produktions- und Logistiksysteme (TZ PULS) der Hochschule Landshut konnte die beschriebene Vorgehensweise angewendet werden und brachte einen deutlichen Mehrwert. Das Projekt wies zu Beginn eine große Unsicherheit auf. Auch während des Projektverlaufs war stets eine große Dynamik vorhanden, da eine Vielzahl an Stakeholdern (Fabrikausrüster-Unternehmen und deren zu integrierende Produkte und Technologien, aktuelle Forschungsprojekte, etc.) berücksichtigt werden mussten. Des Weiteren waren die Montagelinie und der Versandbereich bereits vorhanden bzw. als Restriktion gegeben. Sie mussten nur leicht angepasst werden. Deshalb wurden sie nach einer ersten Iteration für jeden Bereich sehr schnell als fertige Inkreme mente ausgeplant. Anschließend wurden die vorgelagerten Bereiche (»Fertigung Kunststoff«, »Fertigung Metall«, »Fertigung Stanzen« sowie Transport) in mehreren Iterationen parallel immer weiter

und detaillierter ausgeplant. So ergab sich eine ganz andere »Planungs-DNA« als bei dem vorher beschriebenen Anwendungsfall. Die zu Grunde liegende Vorgehensweise selbst allerdings hat sich auch hier bewährt.

### 4 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Ansatz dargestellt, um Fabrikplanungsprojekte mittels einer iterativ-inkrementellen Vorgehensweise agiler und wandlungsfähiger zu gestalten. Dabei wird nicht auf eine Projektplanung verzichtet. Diese wird aber auf Grund der hohen Unsicherheit und Dynamik nicht zu Projektbeginn durchgeführt. Stattdessen findet eine kontinuierliche Planung der Projektaktivitäten auf Basis einer systemorientierten Planungslandkarte mittels eines agilen Vorgehensmodells während des Projektverlaufs statt. Dadurch wird eine hohe Beweglichkeit und Wandlungsfähigkeit der Vorgehensweise sichergestellt.

Es gilt den Ansatz noch um weitere Aspekte wie z.B. konkrete Rollen im Projekt, Definition von Reifegraden und Auswahl der jeweils passenden Methoden für die weitere Ausplanung der Inkreme nte weiterzuentwickeln sowie auf die Anwendbarkeit bei Großprojekten mit mehreren Segmenten und segmentübergreifenden Resourcen sowie verteilten Teams zu überprüfen.

## 5 Literatur

- [1] Nyhuis, P.; Fronia, P.; Pachow-Frauenhofer, J.; Wulf, S.: Wandlungsfähige Produktionssysteme: Ergebnisse der BMBF-Vorstudie »Wandlungsfähige Produktionssysteme«. In: *wt Werkstatttechnik online* 99 (2009), Nr. 4, S. 205–210.
- [2] Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik*. Berlin 2014.
- [3] Hawer, S.; Ilmer, P.; Reinhart, G.: Klassifizierung unscharfer Planungsdaten in der Fabrikplanung. In: *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 110 (2015), Nr. 6, S. 348–351.
- [4] Nöcker, J.: *Zustandsbasierte Fabrikplanung*. Aachen 2012.
- [5] Schuh, G.: Chancen nutzen – Wettbewerbsfähigkeit durch agile Fabrikplanung sichern. In: *wt Werkstatttechnik online* 104 (2014), Nr. 4, S. 191.
- [6] Kampker, A.; Osebold, R.; Trautz, M.; Burggräf, P.; Krunkne, M.; Meckelnborg, A.; Leufgens, I.; Rogel, D.: Innovative Fabriken interdisziplinär planen. In: *wt Werkstatttechnik online* 102 (2012), Nr. 4, S. 186–192.
- [7] Reinema, C.; Pompe, A.; Nyhuis, P.: Agiles Projektmanagement: Einsatzpotenziale und Handlungsbedarfe im Rahmen von Fabrikplanungsprojekten. In: *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108 (2013), Nr. 3, S. 113–117.
- [8] Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.: *Leitfaden der systematischen Fabrikplanung*. München, Wien 1984.
- [9] Agteleky, B.: *Fabrikplanung: Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung*. München, Wien 1987.
- [10] Riedel, R.: *Systemische Fabrikbetriebsplanung auf Basis eines kybernetischen-soziotechnischen Modells*. Chemnitz 2012.
- [11] Palluck, Markus: *Unternehmenszielorientierte Fabrikplanung im Kontext eines Ganzheitlichen Produktionssystems*. Aachen 2011.
- [12] Schneider, M.; Ettl, M.; Kaspar, S.; von Stülpnagel, N.: *Lean Factory Design : Das Landshuter Produktionssystem (LPS): Clean Production – Teil 3*. In: *Industrie Management* 30 (2014), Nr. 2, S. 15–21.
- [13] Schelle, H.; Ottmann, R.; Pfeiffer, A.: *Projekt Manager*. Nürnberg 2008.
- [14] Pautsch, P.; Steininger, S.: *Lean Project Management: Projekte exzellent umsetzen*. München 2014.
- [15] Wiendahl, H.; Nyhuis, P.; Reichardt, J.: *Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*. München [u.a.] 2014.
- [16] Schuh, G.; Franzkoch, B.; Burggräf, P.; Nöcker, J.; Wesch-Potente, C.: Frei konfigurierbare Planungsprozesse in der Fabrikplanung. In: *wt Werkstatttechnik online* 99 (2009), Nr. 4, S. 193–198.
- [17] Meckelnborg, Alexander: *Integrative Fabrikplanung durch effiziente Koordinationsmodelle*. Aachen 2015.
- [18] Gernert, C.: *Agiles Projektmanagement: Risikogesteuerte Softwareentwicklung*. München 2003.
- [19] Östereich, B.; Weiss, C.; Lehmann, O.: *APM : Agiles Projektmanagement: Erfolgreiches Timeboxing für IT-Projekte*. Heidelberg 2014.
- [20] Brugger, R.: *IT-Projekte strukturiert realisieren: Situationen analysieren, Lösungen konzipieren – Vorgehen systematisieren, Sachverhalte visualisieren - UML und EPKs nutzen*. Wiesbaden 2005.
- [21] Erlach, K.: *Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik*. Berlin, Heidelberg 2010.
- [22] Neus, S.; Trompeter, J.; Mandischer, M.: *Scrum Kompakt*. Lünen 2011.
- [23] Schneider, M.; Kaspar, S.; Beer, C.: *Das Injektionsprinzip: Effizienzsteigerung durch Kombination von Lean und innovativer Materialflusstechnik*. In: *wt Werkstatttechnik online* 104 (2014), Nr. 6, S. 418–422.



# **STANDARDISIERUNG GEWACHSENER MATERIAL- FLUSSSTRUKTUREN – PRODUKTIONSLOGISTIK- GESTALTUNG AUF BASIS KONFIGURIERBARER REFERENZPROZESSMODELLE**

---

Alexander Schubel M. Eng.  
Prof. Dr. Markus Schneider  
Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme

# LEBENSLAUF



Alexander Schubel M. Eng.

Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter/Doktorand

10/2008 – 01/2014

Bachelor- und Masterstudium des Wirtschaftsingenieurwesens mit Schwerpunkt  
Produktion und Logistik an der Hochschule Landshut.

09/2013 – 01/2014

Masterand bei der Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG zum  
Thema: »Konzept zur Optimierung des Montagewertstroms der variantenreichen  
Kleinserienproduktion von Messspitzen nach Lean-Kriterien«.

Seit 01/2014

Consultant bei der PuLL Beratung GmbH für Produktions-, Logistik- und  
Fabrikplanung.

Seit 01/2014

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Kompetenzzentrum Produktion und Logistik  
Landshut (PuLL) und Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme  
(PULS) der Hochschule Landshut.

# LEBENSLAUF

Prof. Dr. Markus Schneider

Hochschule Landshut – Technologiezentrum Produktions- und Logistiksysteme,  
Wissenschaftlicher Leiter



- 02/2004 – 03/2008                                  Externe Promotion zum Thema »Logistikplanung in der Automobilindustrie«, Universität Regensburg.
- 01/2003 – 06/2008                                  Prozessplaner Logistik, Audi AG..
- 06/2004 – 06/2008                                  Projektleiter Virtuelle Logistik, Audi AG.
- 09/2008    Professor für Logistik, Material- und Fertigungswirtschaft, Hochschule Landshut.
- 09/2009    Leiter Kompetenzzentrum Produktion und Logistik Landshut (PuLL) der Hochschule Landshut.
- 10/2009    Geschäftsführer PuLL Beratung GmbH.
- 03/2012    Kursleiter Hochschulzertifikat Expertenwissen Logistik, Hochschule Landshut.
- 03/2012    Leiter Forschungsschwerpunkt Produktions- und Logistiksysteme, Hochschule Landshut.
- 10/2012    Studiengangsleiter berufsbegleitender Master Prozessmanagement & Ressourceneffizienz, Hochschule Landshut.
- 01/2015    Mitgründer und Gesellschafter Kompetenzzentrum Fabrikplanung GmbH.
- 03/2015    Wissenschaftlicher Leiter des Technologiezentrums PULS (Produktions- und Logistiksysteme) am Standort Dingolfing, Hochschule Landshut.
- 10/2015    Mitgründer und Gesellschafter Technologiezentrum Dingolfing GmbH.

# STANDARDISIERUNG GEWACHSENER MATERIALFLUSSSTRUKTUREN – PRODUKTIONSLOGISTIKGESTALTUNG AUF BASIS KONFIGURIERBARER REFERENZPROZESSMODELLE

Alexander Schubel M. Eng., Prof. Dr. Markus Schneider

## 1 Fehlende Standardisierung als Problemstellung in der Materialflussplanung

Im Rahmen der Produktionslogistikgestaltung lassen sich folgende Hindernisse für eine bestmögliche logistische Zielerreichung nach Wiendahl [4], S. 250-251 festhalten:

- eine hohe Logistikkomplexität und Intransparenz durch gewachsene Materialflusstrukturen [5], S.7-9, [6], S. 175,
- ein unsystematisches Planungsvorgehen in Bezug auf das Gesamtoptimum [7], S. 201, [8], S. 1004 und
- ein hoher Abstimmungs- und Zeitaufwand im eigentlichen Planungs- und Gestaltungsprozess [5], S. 449-453.

Als eine Ursache für diese Schwierigkeiten ist die mangelhafte Umsetzung des Prinzips der Standardisierung in der Gestaltung gewachsener Materialflusstrukturen identifiziert:

»Die Standardisierung umfasst - zunächst losgelöst von spezifischen Betrachtungskontexten - alle Formen der Vereinheitlichung von Objekten« [9], S. 524. Für die Logistik von besonderer Relevanz ist die Prozessstandardisierung, genauer die Standardisierung im Hinblick auf die Leistungserstellungsprozesse. [9], S. 524 Des Weiteren wird ein Prozessstandard als eine nach aktuellem Kenntnisstand bestmögliche Ausführungsvorschrift verstanden. [10], S. 66 Der vorliegende Beitrag fokussiert demnach unternehmensinterne Standards (Best Practices) zur Gestaltung der funktionalen und organisatorischen Komponente der Materialflusstruktur.

Zur Beschreibung eines Materialflusssystems können nach Pawellek ([11], S.58-59) eine

- funktionale,
- organisatorische,
- räumliche und
- zeitliche Komponente herangezogen werden.

In Bezug auf die Problemstellung fokussiert die entwickelte Methode die Prozess- und Strukturgestaltung. Diese wird wesentlich von der funktionalen und organisatori-

schen Komponente der Materialflusstruktur beeinflusst, dementsprechend konzentriert sich die entwickelte Methode auf diese zwei Bestandteile. Die funktionale Komponente betrachtet die technisch-organisatorische Realisierung des Materialflusses. Darunter sind vor allem die bei Transport und Lagerung zur Anwendung kommenden Methoden zu verstehen. Beispielsweise verweisen die Prozessstandards auf die zu nutzenden Lagerstufen und -typen. Ebenfalls wird die organisatorische Komponente berücksichtigt, welche die betrachteten Funktionen des Materialflusses und die Abhängigkeiten zu Verantwortungsbereichen zusammenfasst. Dabei wird eine Verbindung zwischen Ablauf- und Aufbauorganisation hergestellt, indem den einzelnen Materialflussfunktionen (z.B. Lagerstufen und -typen) die verantwortlichen Stellen zugewiesen werden [11], S. 58-59. Die Beschreibungen des zeitlichen Verhaltens (zeitliche Komponente) und der räumlichen Anordnung (räumliche Komponente) sind nicht Bestandteil der Standards, werden jedoch durch die Prozess- und Strukturgestaltung grundlegend beeinflusst. Beispiele hierfür sind die Auswirkungen der Prozess- und Strukturgestaltung auf die Materialflussteuerung und Layout-Planung [6], S. 284, [12], S. 62-65.

Die unzureichende Implementierung der Prozessstandardisierung in der Materialflussgestaltung hat weitreichende Auswirkungen:

Der bei fehlenden Standards unbeschränkte Lösungsraum erzeugt bei der Materialflussgestaltung eine hohe Anzahl an Prozessvarianten. Außerdem erfolgt die Formalisierung und Visualisierung der Prozesse ohne Standardisierung unzureichend. Diese Aspekte führen insgesamt zu einer hohen Logistikkomplexität und Intransparenz im Rahmen gewachsener Materialflusstrukturen [13], S. 368, [14], S. 68-69, [15], S. 53-60, [7], S.83.

Durch das Defizit an Standards kann im Rahmen der Materialflusplanung nicht auf Best Practices zurückgegriffen werden. Zudem fehlen »Leitplanken« im Sinne von Orientierungshilfen bei der Lösungsfindung. In Verbindung mit einer niedrigen operativen Planungsqualität in Bezug auf das Gesamtoptimum, führt die fehlende Bereitstellung von Standardlösungen zu einem unsystematischen Planungsvorgehen. Ein Beispiel hierfür ist die lokale Optimierung von Lagerstrukturen ohne die Berück-

sichtigung der gesamten unternehmensinternen Wert schöpfungskette [7], S. 66-68, [16], S. 315, [4], S. 251-252, [8], S. 1004.

Schließlich führen fehlende Standards bei den Materialflusstrukturen zu einem hohen Aufwand im eigentlichen Planungsprozess. Das Wissen zur Materialflussgestaltung liegt häufig als implizites Erfahrungswissen weniger Mitarbeiter vor. Dies führt zu persönlichen Rückfragen und folglich auch einem hohen Koordinationsaufwand. Darüber hinaus wird im Rahmen von Planungsrunden häufig improvisiert und das »Rad neu erfunden«, da aufgrund der fehlenden Standardisierung die bereits erarbeiteten Lösungen nicht direkt verfügbar sind oder nur ineffizient genutzt werden können [4], S. 453, [16], S. 315, [7], S. 68, [17], S. 39-40.

## 2 Spannungsfeld zwischen Standardisierung und Flexibilisierung

Bei der Implementierung der Prozessstandardisierung in der Gestaltung der Materialflusstrukturen ist das Spannungsfeld zwischen Standardisierungsmaßnahmen und Flexibilisierungsanstrengungen im Rahmen Ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) zu beachten. Einerseits gilt die übergreifende Prozessstandardisierung als ein Hauptansatz für moderne Produktionssysteme und somit auch für die Material- und Informationsflüsse der Produktionslogistik [7], S. 66-75, [8], S. 1004. Andererseits sind Prozesse dezentral zu optimieren und anzupassen, um beispielsweise spezifische Problemstellungen zu lösen. Deshalb gilt es das Prinzip einer »flexiblen Prozessstandardisierung« zu realisieren. Die Herausforderung liegt deshalb darin, einen optimalen Trade-off zwischen der zentralen Vorgabe von Materialflusstandards sowie einer dezentralen Materialflussgestaltung und -optimierung zu erreichen [8], S. 1004, [18], S. 113.

## 3 Standardisierung auf Basis konfigurierbarer Referenzprozessmodelle

In Bezug auf die beschriebene Problemstellung der fehlenden Prozessstandardisierung in der Materialflussplanung sowie dem Spannungsfeld zwischen Standardisierung und Flexibilisierung wurde eine Methode zur Materialflussstandardisierung entwickelt. Die Basis hierfür bilden konfigurierbare Referenzprozessmodelle.

»Konfigurierbare Referenzmodelle enthalten Regeln, die festlegen, wie die Modelle in Abhängigkeit anwendungskontextspezifisch gewählter Ausprägungen von Parametern – so genannten Konfigurationsparametern – zu verändern sind« [19], S. 6. Somit wird aus einem Gesamtmodell durch Konfiguration ein spezifisches Modell abgeleitet, bei welchem die für den Anwendungsfall irrelevanten Bestandteile des Ausgangsmodells ausgeblendet sind (Abbildung 1).

Dementsprechend erfolgt im Rahmen der entwickelten Planungsmethode die teilespezifische Gestaltung des Materialflusses in Abhängigkeit von den Teileeigenschaften. Der dafür notwendige Adoptionsmechanismus basiert auf Konfigurationstermen und -parametern [19], S.68. Dieser Mechanismus ermöglicht aus einer zu definierenden Menge an Materialflussvarianten die spezifisch geeignete Materialflussstruktur auszuwählen. Dazu gilt es die Menge an verfügbaren Materialflussvarianten unternehmensspezifisch in Form von semi-formalen Referenzprozessmodellen zu konstruieren und bereitzustellen. Zudem sind die Konfigurationsparameter, deren Ausprägungen und die Konfigurationsterme (Konfigurationsregeln) für die teilespezifische Ableitung einer Materialflussstruktur festzulegen.

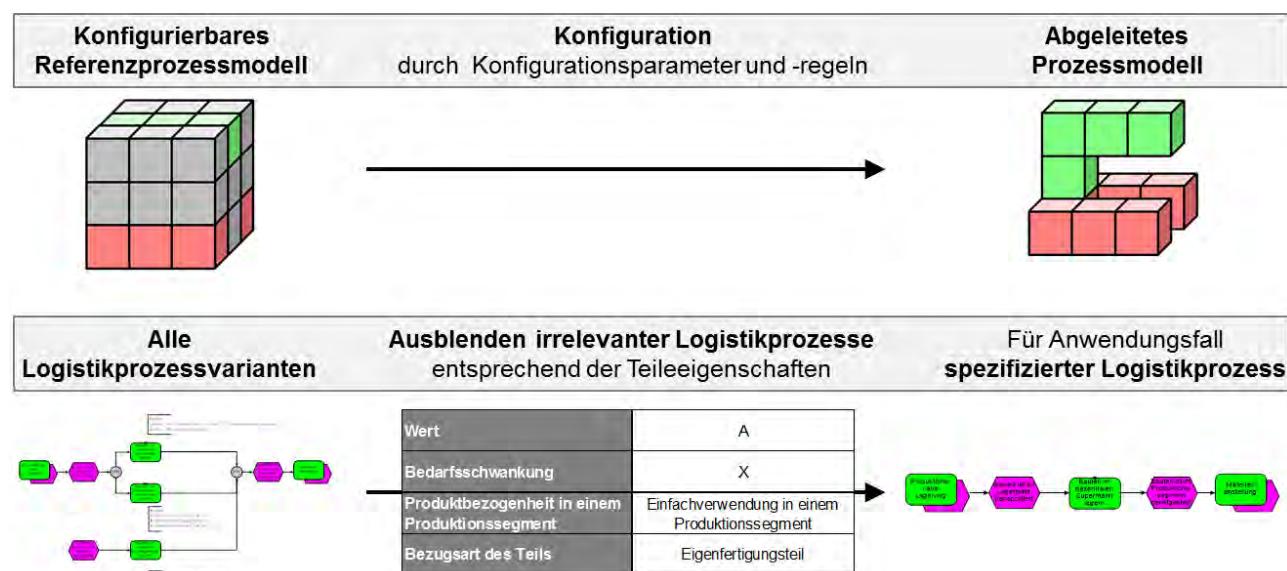


Abbildung 1: Konfiguration der logistischen Referenzprozessmodelle (eigene Darstellung, in Anlehnung an [1], S.262)

Demnach ist die Konstruktion der konfigurierbaren Referenzprozessmodelle gleichzusetzen mit der Definition von unternehmensinternen und teilespezifisch anpassbaren Standardlösungen (Best Practices) für den Materialfluss. In Bezug auf die Problemstellung ist das Ziel der entwickelten Methode, die effiziente und systematische Implementierung der Standardisierung in gewachsenen Materialflusstrukturen.

Diese Zielstellung und der optimale Trade-off zwischen der zentralen Vorgabe von Materialflusstandards sowie einer dezentralen Materialflussgestaltung und -optimierung werden durch die Realisierung folgender Methodenbestandteile erreicht:

- Organisatorische Verankerung der Prozessstandardisierung über ein Aufgabenebenen-Modell,
- Teilespezifische Anpassbarkeit und effiziente Verfügbarkeit der Materialflusstandards anhand eines Assistenzsystems und
- Kontinuierliche Verbesserung der Materialflusstandards durch einen zielgerichteten Kommunikationszyklus und klare Schnittstellen.

Die einzelnen Methodenbestandteile sind im Folgenden genauer erläutert.

### 3.1 Aufgabenebenen in der Materialflusstandardisierung

Die Logistikplanungsaufgaben im Rahmen der Standardisierung der Materialflusstruktur sind auf der strategischen, taktischen und operativen Ebene klar definiert [18], S. 115-116. Dabei werden die strategischen Vorgaben und Anforderungen an die Logistikleistung systema-

tisch über die zentrale taktische Planung in die dezentrale operative Prozessimplementierung überführt. Die beschriebene Planungsmethode fokussiert die Zusammenarbeit und Aufgaben der taktischen und operativen Planungsebene (Abbildung 2).

Aufgabe der strategischen Logistikplanung ist die Vorgabe von grundlegenden logistischen Rahmenbedingungen durch beispielsweise Standortentscheidungen und umfangreiche Investitionsentscheidungen. Zudem sind die Ziele des Logistiksystems festzulegen. Diese Aufgabe obliegt der Unternehmens- und Logistikleitung.

Die Überführung der Ziele des Logistiksystems sowie Kunden- und Normenforderungen in Materialflusstandards ist Aufgabe der taktischen Planung. Bei der Konstruktion von Materialflusstandards in Form konfigurierbarer Referenzprozessmodelle gilt es sowohl wirtschaftliche als auch technische Aspekte im Rahmen der Logistikabläufe zu berücksichtigen. Hierbei sind auch die Prinzipien des zugrundeliegenden Produktionssystems zu beachten.

Ziel ist es, durch eine funktionsübergreifende Zusammenarbeit unter Führung der taktischen Logistikplanung die Materialflusstandards im Sinne des Gesamtoptimums zentral zu entwickeln und in einem Assistenzsystem dezentral bereitzustellen (vgl. Kapitel 3.2). Ebenso ist es Aufgabe der taktischen Planung, die teilespezifische Auswahl der optimalen Materialflusstruktur durch die Definition geeigneter Entscheidungsparameter und -regeln (Konfigurationsparameter und -terme) zu ermöglichen. Verantwortlich für die Definition und Bereitstellung der Materialflusstandards sind zentrale und teileübergreifende Logistikplaner.

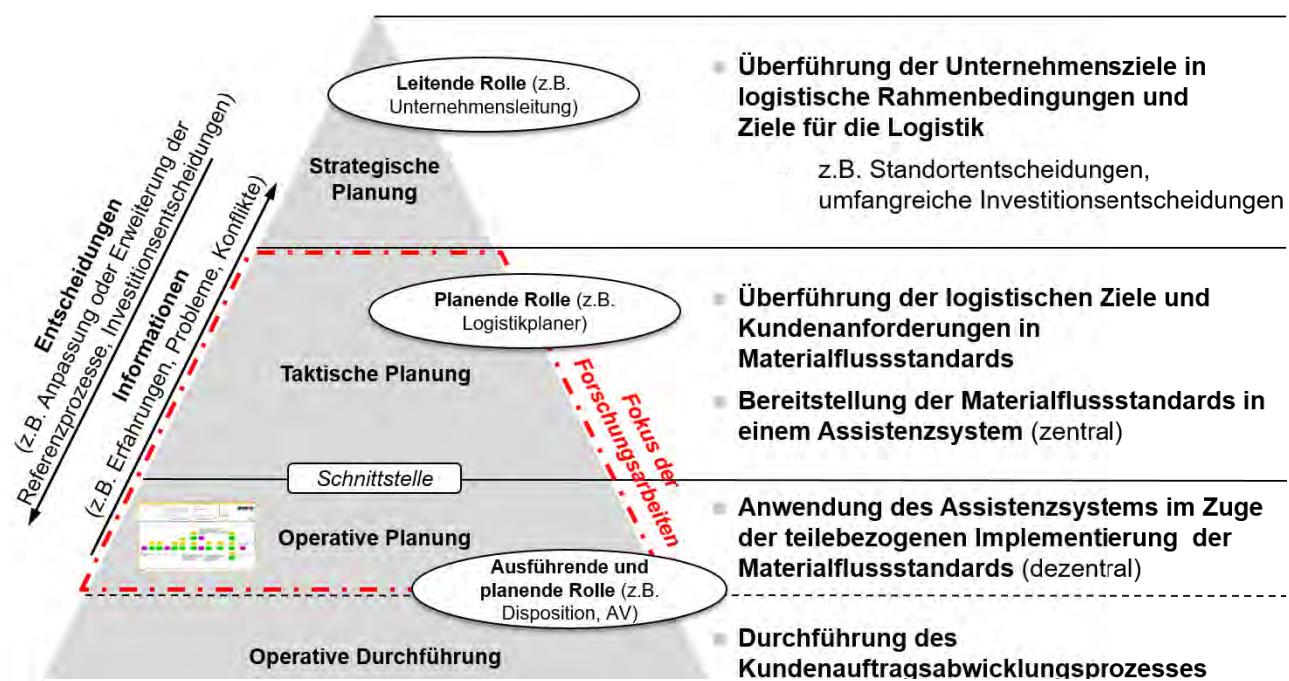


Abbildung 2: Aufgabenebenen bei der Standardisierung von Materialflusstrukturen (eigene Darstellung, in Anlehnung an [2], S. 26-27, 50-54, [3], S. 212-219)

Im Gegensatz dazu ist die teilebezogene Materialflussplanung Aufgabe der operativen Planung. Im Rahmen eines »plan-for-every-part«-Ansatzes sind die Eigenschaften je Teil dezentral festzustellen und der dementsprechend geeignete Materialflusstandard mit Unterstützung des Assistenzsystems abzuleiten und zu implementieren [20], S. 15-22.

Zur Implementierung des Standards zählen unter anderem die Definition der Logistikstammdaten im PPS-System und den Arbeitsplänen, sowie die physische Anpassung des Logistiksystems (durch beispielsweise Lagerplatzbeschriftungen) entsprechend dem konfigurierten Materialflusstandard. Die operative Planung erfolgt dezentral durch die Disposition und Arbeitsvorbereitung.

Mit Abschluss der teilebezogenen Implementierung der Materialflusstandards durch die operative Planung kann die operative Durchführung von Kundenauftragsabwicklungsprozessen erfolgen.

Insgesamt sind somit die Aufgaben und Rollen im Rahmen der Standardisierung von Materialflusstrukturen klar definiert. Demzufolge wird die systematische Ableitung und Implementierung von Standards unter Berücksichtigung strategischer Rahmenbedingungen erreicht.

### 3.2 Assistenzsystem für operative Materialflusplaner

Die Definition teileübergreifender Materialflusstandards erfolgt zentral durch die taktische Planung (vgl. Kapitel 3.1). Diese Standards sind nun effizient für die teilespezifische Planung im Rahmen des »plan-for-every-part«-Vorgehens bereitzustellen. Dazu dient ein Software-Tool, welches die Ableitung der teilespezifisch optimalen Materialflusstruktur unterstützt. Dieses Assistenzsystem er-

möglicht die Eingabe der festgestellten Teileeigenschaften, woraufhin dem Anwender (operativer Planer) der situativ geeignete Materialflusstandard (Best Practice) ausgegeben wird (Abbildung 3).

Somit wird durch ein Software-Tool die dezentrale Bereitstellung der konfigurierbaren Materialflusstandards für die operative Planung effizient sichergestellt.

Das Assistenzsystem unterstützt zudem die Realisierung einer »flexiblen Prozessstandardisierung«. Die Materialflusstandards sind zentral, im Sinne des logistischen Gesamtoptimums, festgelegt und gleichzeitig an Teileeigenschaften gebunden. Dies ermöglicht die dezentrale Konfiguration und demnach die situative Anpassung der Materialflusstandards durch das Assistenzsystem. In Folge dessen wird die Logistikkomplexität für die operative Planung über Standards begrenzt, ohne dabei die fallspezifischen Rahmenbedingungen zu vernachlässigen.

### 3.3 Kommunikationszyklus

Damit ein optimaler Trade-off zwischen der zentralen Vorgabe von Materialflusstandards und einer dezentralen Materialflussgestaltung und -optimierung erreicht werden kann, ist eine gezielte Kommunikation zwischen den Aufgabenebenen im Rahmen der Standardisierung notwendig. Dabei sind im Zuge der Implementierung der Materialflusstandards, Probleme und Verbesserungsvorschläge über einzuführende Kommunikationszyklen weiterzugeben. Dies erfolgt je nach Reichweite der Thematik, beginnend am Shopfloor bis hin zur obersten strategischen Planungsebene. Dementsprechend sind Entscheidungen auch über die Ebenen hinab zu kommunizieren (Abbildung 2).

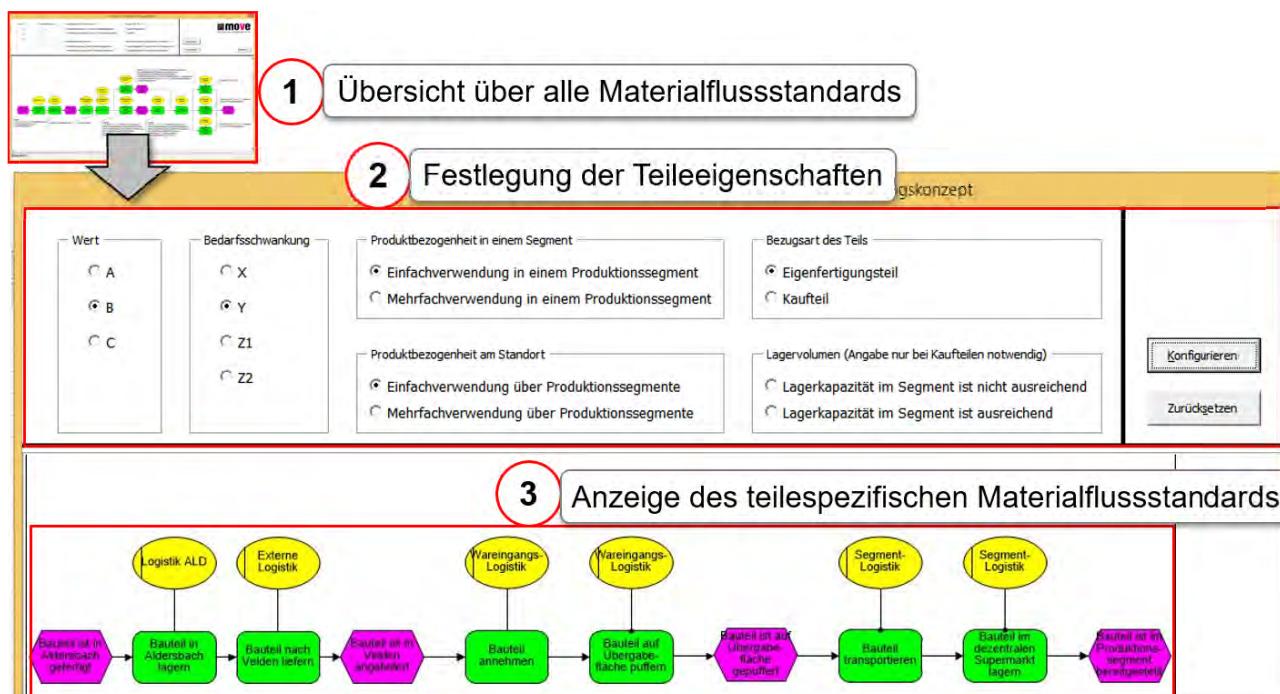


Abbildung 3: Assistenzsystem zur Konfiguration und Veranschaulichung der Materialflusstandards (eigene Darstellung)

Erweist sich beispielsweise im Falle unberücksichtiger Rahmenbedingungen, ein Materialflusstandard in der operativen Durchführung als ungeeignet, so sind diese Information an die taktische Planung zu übermitteln. Dort wird über die grundsätzliche Anpassung des betroffenen Standards entschieden. Die getroffene Entscheidung ist an alle betroffenen Mitarbeiter zu kommunizieren und im Assistenzsystem anzupassen.

Folglich ist ein klarer Informationsfluss sichergestellt. Der beschriebene Austausch von Informationen und Entscheidungen ermöglicht die kontinuierliche Anpassung und Verbesserung der Materialflusstandards im Sinne einer »flexiblen Standardisierung« [21], S. 17.

Darüber hinaus reduziert die gezielte Kommunikation den Abstimmungsaufwand zwischen zentraler taktischer Planung und dezentraler operativer Planung. Ermöglicht wird dies durch das Assistenzsystem, welches einen Großteil des nötigen Informationsflusses im Rahmen der Materialflusplanung realisiert. Folglich konzentriert sich die Kommunikation zwischen den zwei Planungsebenen auf Ausnahmefälle und Verbesserungspotenziale.

#### **4 Ergebnisse der praktischen Durchführung**

Die Standardisierung gewachsener Strukturen anhand der entwickelten Methode erfolgte in den Materialversorgungsabläufen eines Montagesegmentes der Bahnkomponentenproduktion. Die praktische Anwendung brachte folgende Erkenntnisse:

Die Materialversorgungsstruktur des betrachteten Montagesegments kennzeichnete sich durch eine hohe Logistikkomplexität aufgrund einer hohen Anzahl an Prozessvarianten für die Materialversorgung sowie fehlender Transparenz über bestehende Materialflüsse. Auch lag das Wissen über die funktionale und organisatorische Materialflussgestaltung nur in impliziter Form bei einzelnen erfahrenen Mitarbeitern vor. Des Weiteren gab es in der Vergangenheit für die rund 4.000 bestehenden Artikelnummern im beschriebenen Montagesegment keine Richtlinien zur Gestaltung von Materialflusslösungen. All dies führte zu einer stetigen Erhöhung der Anzahl an Prozessvarianten für den Materialnachschub.

Die teilebezogene operative Planung des Materialflusses erfolgte dezentral unter Beteiligung eines übergreifenden Logistikplaners sowie der dem Montagesegment zugeordneten Arbeitsvorbereitung und Disposition. Im Zuge dessen wurde häufig das »Rad neu erfunden«, da es an effizient verfügbaren Best Practices fehlte und für die individuellen Planungsfälle vermeintlich keine geeignete Lösung im Unternehmen existierte. Infolgedessen ergab sich im Zuge einer Vielzahl an dezentraler Planungsrunden für jede betrachtete Artikelnummer ein hoher Koordinationsaufwand. Dies hatte eine teilespezifische Planungszeit von mehreren Tagen zur Folge.

Die Implementierung der Standardisierung erfolgte anhand der beschriebenen Aufgabenebenen und des entwickelten Assistenzsystems. Insgesamt wurde dabei die Anzahl der Prozessvarianten in der Materialversorgung des Montagesegments um 40 Prozent gesenkt. Darüber hinaus stellt das Assistenzsystem die Materialflusstandards effizient, formalisiert und teilespezifisch anpassbar für die operative Planung bereit.

Die operative Planung nutzt das Assistenzsystem im Rahmen eines »plan-for-every-part«-Ansatzes. Dabei wird der Materialfluss jedes im Montagesegment benötigten Teils durch Zuordnung der geeigneten Materialflusstruktur standardisiert und festgelegt [22], S. 283. Das Assistenzsystem unterstützt diese teilespezifische Zuordnung anhand der Darstellung des jeweils situativ geeigneten Materialflusses nach Eingabe der festgestellten Teileeigenschaften.

Im vorliegenden Praxisbeispiel kann durch den Einsatz des Assistenzsystems die Anzahl der Beteiligten auf die Disposition beschränkt werden, da in der Vergangenheit notwendige Abstimmungs- und Planungsrunden mit der übergreifenden taktischen Logistikplanung entfallen. Die teilebezogene Abstimmung in der operativen Planung bleibt größtenteils aus, da übergreifende Materialflusstandards von der zentralen taktischen Planung im Vorfeld definiert und über das Assistenzsystem direkt verfügbar sind. Rücksprachen mit der taktischen Logistikplanung erfolgen dabei nur noch bei auftretenden Schwierigkeiten, beispielsweise aufgrund unberücksichtiger Rahmenbedingungen bei der Definition der Standards. Durch den Einsatz des Assistenzsystems kann die Planungszeit für die teilebezogene Festlegung und Standardisierung der Materialflusstruktur, von bisher mehreren Tagen, in der Regel auf wenige Minuten, reduziert werden.

#### **5 Fazit**

Ziel der entwickelten Methode ist die systematische und effiziente Implementierung von Materialflusstandards in gewachsenen Strukturen unter Berücksichtigung des Spannungsfeldes zwischen Standardisierungsmaßnahmen und Flexibilisierungsanstrengungen. Die praktische Durchführung belegt, dass diese Zielstellung durch die beschriebenen Methodenbestandteile erreicht wird.

Die entwickelte Methode ermöglicht die funktionale und organisatorische Komponente des Materialflusses in Form von Best-Practices dem operativen Planer durch ein Assistenzsystem effizient bereitzustellen. Basis hierfür sind konfigurierbare Referenzprozessmodelle. Gleichzeitig erfolgt die Weiterentwicklung der festgelegten Standards durch die klare Kommunikation zwischen taktischer und operativer Ebene bei auftretenden Problemen und Optimierungspotenzialen.

## 6 Literatur

- [1] Vom Brocke, J.: Referenzmodellierung. Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen. Berlin 2003.
- [2] Schneider, M.: Logistikplanung in der Automobilindustrie. Wiesbaden 2008.
- [3] Binner, H. F.: Unternehmensübergreifendes Logistikmanagement. München, Wien 2002.
- [4] Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, 8., überarbeitete Aufl. München 2014.
- [5] Wiendahl, H.-P. et al.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten, 2. Aufl. München [u.a.] 2014.
- [6] Erlach, K.: Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik, 2., bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg 2010.
- [7] Dombrowski, U. et al.: Ganzheitliche Produktionsysteme. Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen. Berlin, Heidelberg 2015.
- [8] Binner, H. F.: Handbuch der prozessorientierten Arbeitsorganisation. Methoden und Werkzeug zur Umsetzung, 4. Aufl. München 2010.
- [9] Klaus, P. et al.: Gabler Lexikon Logistik. Management logistischer Netzwerke und Flüsse, 5. Aufl. Wiesbaden 2012.
- [10] Spath, D.: Ganzheitlich produzieren. Innovative Organisation und Führung. Stuttgart 2003.
- [11] Pawellek, G.: Produktionslogistik. Planung – Steuerung - Controlling : mit 42 Übungsfragen. München 2007.
- [12] Schneider, M. et al.: Lean Factory Design. Ganzheitliche Fabrikgestaltung und -betrieb nach Lean-Kriterien. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107 (2012) 1-2, S. 61–66.
- [13] Wiendahl, H.-P.; Klepsch, B.: Komplementäre Produkt- und Fabrikmodularisierung als Ansatz zur Komplexitätsbewältigung. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (2006) 6, S. 367–73.
- [14] Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Berlin, Heidelberg 2010.
- [15] Wildemann, H.: Komplexitätsmanagement. In Vertrieb, Beschaffung, Produkt, Entwicklung und Produktion, 9. Aufl. München 2008.
- [16] Tregear, R.: Business Process Standardization. In: Vom Brocke, J.; Rosemann, M. (Hrsg.): Handbook on business process management 2. Strategic alignment, governance, people and culture. Berlin, London 2010.
- [17] Boppert, J.: Entwicklung eines wissensorientierten Konzepts zur adaptiven Logistikplanung. München 2008.
- [18] Schubel, A. et al.: Flexible Prozessstandardisierung. Produktionslogistikgestaltung auf Basis konfigurierbarer Referenzprozessmodelle. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 111 (2016) 3, S. 113–17.
- [19] Delfmann, P.: Adaptive Referenzmodellierung. Methodische Konzepte zur Konstruktion und Anwendung wiederverwendungsorientierter Informationsmodelle. Berlin 2006.
- [20] Harris, R. et al.: Making materials flow. A lean-material-handling guide for operations, production-control, and engineering professionals. Brookline, MA 2003.
- [21] Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Lernen von den Weltbesten. Exzellente Unternehmen in Japan und China. Berlin, Heidelberg 2015.
- [22] Günther, W. A. et al.: Lean Logistics. Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie. Berlin, Heidelberg 2013.



# **STRATEGIEN ZUR EFFIZIENTEN PLANUNG UND INTEGRATION INNOVATIVER AUTOMATISIERUNGS- SYSTEME**

---

Dipl.-Ing. (FH) Alexander König  
BMW Group, Leipzig

Ralf Schönherr M. Sc.  
BMW Group, München

Sebastian Keller M. Sc.  
BMW Group

# LEBENSLAUF



Dipl.-Ing. (FH) Alexander König

BMW Group, Werk Leipzig,  
Projektingenieur Prozessverbesserung Montage

09/2004 – 02/2010

Teilnehmer Nachwuchs-Förderungs-Programm BMW Group Lehre:  
Industriemechaniker für Anlagen und Systemtechnik, Studium: Maschinenbau.

10/2005

Ostbayerische Technische Hochschule, Regensburg – Maschinenbau mit  
Diplom-Ingenieur (FH).

02/2010

BMW Group Werk Leipzig – Spezialist Projekte Schlanke Produktion.

Seit 01/2013

BMW Group – Projektingenieur Prozessverbesserung Montage – Projektleitung  
Innovative Robotersysteme Werk Leipzig, BMW Group Werk Leipzig.

# LEBENSLAUF



Herr Ralf Schönherr M. Sc.

BMW Group,  
Projektleitung

- |              |   |
|--------------|---|
| 05/2011      | Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Bachelor of Science in Wirtschaftsingenieurwesen.   |
| 01/2013      | Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA. Master of Science in Industrial and Systems Engineering. |
| 04/2013      | BMW Group – Trainee Produktionsressort, Schwerpunkt Innovationsintegration und Automatisierungstechnik. |
| Seit 10/2014 | BMW Group – Projekt Industrie 4.0. Gesamtprojektleitung Innovative Robotersysteme.                      |

# LEBENSLAUF



Sebastian Keller M. Sc.

BMW Group,  
Doktorand im Bereich Automatisierungstechnik

08/2011

Hochschule Emden – Leer, Emden,  
Bachelor of Engineering in Automatisierungstechnik.

10/2013

Brandenburgische Technische Universität, Cottbus-Senftenberg,  
Master of Science in Automatisierungstechnik und Antriebssysteme.

Seit 01/2014

BMW Group – Doktorand im Bereich der Automatisierungstechnik,  
Schwerpunkt Steuerungssysteme und Robotik.

# STRATEGIEN ZUR EFFIZIENTEN PLANUNG UND INTEGRATION INNOVATIVER AUTOMATISIERUNGSSYSTEME

Dipl.-Ing. (FH) Alexander König, Ralf Schönherr M. Sc., Sebastian Keller M. Sc.

## 1 Motivation zum Einsatz innovativer Robotik für Automatisierungssysteme

Produzierende Unternehmen in Deutschland und in anderen vergleichbaren Industrieländern werden mit Herausforderungen wie zunehmender Globalisierung, gesteigerter Individualität der Kundenanforderungen, verkürzten Innovations- und Technologielebenszyklen sowie demografischen Veränderungen konfrontiert. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden zahlreiche Lösungsansätze für die Fabrik der Zukunft diskutiert. Einer dieser Ansätze ist die Veränderung der Automatisierung von Prozessabläufen [1], S. 3.

Roboter sind als Betriebsmittel universell einsetzbar und lassen sich für ihre Automatisierungsaufgabe individuell konfigurieren [2], S. 509. Durch die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter kann eine weitere Steigerung der Produktivität erzielt werden [3], S. 13. Hierbei wird angestrebt, auf trennende Schutzeinrichtungen zu verzichten [2], S. 521. Solche Systeme können als Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) installiert werden. Dafür gibt es verschiedene technische Ansätze, wie inhärent sichere Kinematiken, innovative Sensor- und Arbeitsraumüberwachungssysteme [3], S. 83. Im Rahmen dieses Beitrages wird daher auf innovative Robotersysteme eingegangen, die für die MRK im Rahmen der DIN EN ISO 10218-1 geeignet sind [4].

## 2 Strategien zur Planung und Integration von Automatisierungssystemen

Der Planungsprozess zur Integration von Industrierobotern ist komplex [5], S. 117. In der Literatur existieren mehrere Methoden für Planungsprozesse [6, 7]. Durch die in Kapitel 1 genannten Herausforderungen ergeben sich Anforderungen an eine Verkürzung der Planungszeiten [1], S. 16.

In Abbildung 1 ist das Phasenmodell nach [6] dargestellt. In der Phase Zielfestlegung wird die Aufgabenstellung geklärt und das Planungsprojekt strukturiert. Hierzu zäh-

len auch die Vorgaben bzgl. Kosten und die Bewertungskriterien des Planungsprojektes.

Phase 2 des Modells beschreibt die Grundlagenermittlung. Hierbei werden relevante Daten und Informationen für das Vorhaben eingeholt und hinsichtlich Aufgabenstellung aus Phase 1 geprüft.

Ein umsetzbares Konzept wird in Phase 3 erzeugt. Als Ergebnis wird die qualitativ und quantitativ bewertete Vorzugsvariante hierfür ermittelt.

In der Detailplanung in Phase 4 wird die ausgewählte Vorzugsvariante ausgeplant. Ziel ist hier die detaillierte Leistungsbeschreibung. Darauf aufbauend kann das Lastenheft erstellt werden.

Die Organisation der Vergabe an die Lieferanten und die Umsetzungsplanung erfolgt in der Realisierungsvorbereitung in Phase 5.

Bei der Realisierungsüberwachung wird der planmäßige Aufbau sichergestellt und dokumentiert. Ziel dieser Phase 6 ist für alle Ausführungen die Qualitätsstandards, den vereinbarten Zeitplan, sowie die Kosten einzuhalten.

Die letzte betrachtete Phase ist die Hochlaufbetreuung, in der die Inbetriebnahme erfolgt. Intention ist die Einhaltung der in Phase 1 festgelegten Ziele. Während der An- und Hochlaufbetreuung werden die Produktionsprozesse eingerichtet, verbessert und stabilisiert. Hier werden Qualitätssicherungssysteme eingeführt.

Im Rahmen dieses Beitrages werden drei Strategien vorgestellt, die in unterschiedlichen Phasen des Planungsprozesses einen positiven Einfluss auf die Verkürzung der Planungszeit haben.

Ein Konzept zur Berücksichtigung der Reife von Technologien wirkt in den ersten Phasen. Der Hauptbeitrag dieser ersten Strategie liegt in der Konzeptplanung.

Die Anlagenkonfiguration inklusive Sicherheitskonzept erfolgt in der Detailplanung. Die zweite Strategie erläutert die Funktionsweise eines Assistenzsystems zur Konfiguration von Anlagen innovativer Robotersysteme. Ein Konzept zur Unterstützung der Hochlaufbetreuung (Phase 7) wird in der Strategie 3 erklärt. Mithilfe von smarter Senso-



Abbildung 1: Darstellung der Strategien zur Verkürzung der Planungszeit gemäß Phasenmodell VDI 5200;  
© Alexander König

rik und intelligenten Algorithmen können Abweichungen der Anlage frühzeitig erkannt und Fehler behoben werden. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Strategien vorgestellt.

### 3 Strategie 1: Verwendung der Reifeinformation von Technologien für Planungsprozesse

Für die Planung zum Einsatz von Technologien müssen neben Bewertungskriterien wie technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit die Reife der eingesetzten Technologien berücksichtigt werden. Bei der Auswahl eines geeigneten Produktionsverfahrens ist die Technologiereife wichtig, da mit ihr das Risiko und damit die Unsicherheiten für den Planungsprozess verbunden sind [8], S. 44. Im Betrieb von den in Kapitel 1 beschriebenen Roboteranlagen werden fortlaufend neue MRK-Systeme realisiert. Diese sind im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen nicht vollständig bekannt. Darum müssen Unsicherheiten in die Wirtschaftlichkeitsbewertung mit einfließen [2], S. 518. In Strategie 1 wird daher ein Konzept zur Bewertung der Technologiereife von innovativen Robotersystemen vorgestellt.

Zur Bewertung der technischen Reife wird eine Skala verwendet, die sich an die Methode des Technology Readiness Level (TRL) der Luft- und Raumfahrt annähert [9]. Diese Methode wurde für Produktionsprozesse angepasst [10] und weiterentwickelt [8]. Die Verwendung des TRL für die Reifegradbestimmung von Roboteranwendungen hat sich bei der EFFIROB Studie bewährt [11], S. 38. Alle Ansätze basieren auf Expertenbefragungen.



Abbildung 2: Vorgehen zur Bestimmung der Technologiereife;  
© Alexander König

Bewertet werden Technologien, die für Anlagen mit innovativen Robotern verwendet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Technologielandkarte der Mensch-Roboter-Kooperation nach [12]. Für eine Wirtschaftlichkeitsbewertung, die das Risiko der Planungsalternative berücksichtigt, werden der Reifegrad, die Herstellkosten, die Prozesszeit, die Entwicklungskosten sowie die Entwicklungszeit für die verwendeten Technologien benötigt. Hierfür kann der Ansatz von Schindler [8] adaptiert werden. In Abbildung 2 wird ein Vorgehensmodell vorgestellt, welches aus vier Stufen besteht. Zunächst wird in Stufe 1 eine Expertenbefragung zu jeder der zu bewertenden

Technologie durchgeführt. Die Befragung orientiert sich an den sieben Reifegradstufen von [8]. Die Rohdaten werden anschließend in Stufe 2 verarbeitet. Damit erhält jede Technologie einen Reifegrad. Da eine Vielzahl der Kriterien des Fragebogens mit spezifischen Unsicherheiten behaftet sind, wird in Schritt 3 die Monte-Carlo-Simulation angewendet, um ein wahrscheinlichkeitsverteiltes Histogramm zu generieren. Die Streubreite gibt Rückschlüsse auf die Unsicherheit bei der Anwendung der Technologie. Im 4. Schritt werden die Ergebnisse interpretiert und eine Abschätzung zu Herstellkosten, Prozesszeiten je Technologie, Entwicklungskosten und Entwicklungszeiten gegeben. Diese Daten können anschließend für die Wirtschaftlichkeitsberechnung im Planungsprozess berücksichtigt werden.

### 4 Strategie 2: Expertengestütztes Assistenzsystem für die Konfiguration von kollaborierenden Roboteranlagen

Immer mehr MRK-Systeme sind auf dem Markt verfügbar. Experten entscheiden, welche Systeme in bestimmten Produktionsschritten zum Einsatz kommen können. Ziel der Strategie 2 ist es, ein rechnergestütztes Assistenzsystem zur Verarbeitung eines aktuellen Produkt-Portfolios an Technologien zu entwickeln und dabei den Anlagenplanern bei der Auslegung von MRK-Anlagen unter Berücksichtigung normativer Rahmenbedingungen zu unterstützen. Der rechnergestützte Ablauf zur Konfiguration einer MRK-Anlage gliedert sich in vier konkrete Schritte. Abbildung 3 zeigt den vierstufigen Ablauf.

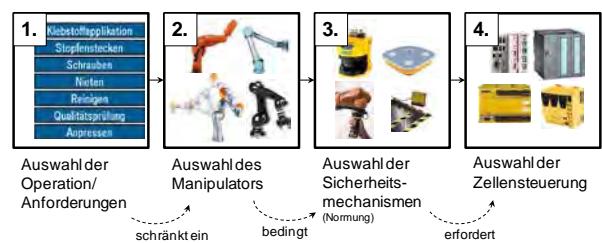


Abbildung 3: Darstellung des vierstufigen Ablaufs zur Anlagenkonfiguration; © Sebastian Keller

Zunächst muss die durch die Anlage durchzuführende Operation bekannt sein oder die Anforderungen an einen Roboter/Manipulator definiert werden, Schritt 1. Das rechnergestützte Assistenzsystem soll in der Verarbeitung der Eingaben des Nutzers auch auf bereits vorhandene Anlagenumsetzungen zurückgreifen können und diese somit bekannte Konfigurationen wiederverwenden. Das System muss in der Lage sein, von Anwendungsfall zu Anwendungsfall darauf schließen zu können, ob bereits vorhandene Lösungen für diese Operation existieren. Mit Hilfe dieser Eigenschaft ergibt sich ein Effekt der Know-How-Wiederverwendung. Gibt es keinen dem Assistenzsystem bekannten Anwendungsfall in Bezug auf die eingegebenen Anforderungen, so muss in einem 2. Schritt

ein für die zu betrachtende Anwendung geeigneter Roboter gewählt werden. Hierfür sind physikalische Eigenschaften eines Robotersystems von zentraler Bedeutung. Ein Roboter muss beispielsweise die geforderte Traglast in Kombination mit einer geforderten Reichweite besitzen. Andernfalls ist dieser für die Anwendung nicht geeignet. Ist die Wahl auf ein Robotersystem gefallen, müssen normative Rahmenbedingungen in der Anlagenkonfiguration berücksichtigt werden, Schritt 3. Die DIN EN ISO 10218-1 [4] beschreibt vier Kollaborationsarten mit dem Menschen. Mit der Wahl des Roboters ist die Eingrenzung der Kollaborationsart verknüpft und folglich existieren unterschiedliche normative Anforderungen. Normative Rahmenbedingungen erfordern wiederum je nach Art der Kollaboration zusätzliche Schutzmechanismen. Diese muss das Assistenzsystem bewerten können, um sie in der Anlagenkonfiguration zu berücksichtigen. Im 4. Schritt erfordern der gewählte Roboter und die auf diese Weise bedingten Sicherheitsmechanismen eine zentrale Roboterzellensteuerung, die sowohl die Sicherheitstechnologie bedient, als auch die Anbindung an den Roboter übernehmen kann.

Das Assistenzsystem des Anlagenkonfigurators ist als wissensbasiertes Expertensystem ausgeführt. Ein solches System wird in der Künstlichen Intelligenz als Expertensystem bezeichnet, »[...] wenn es in der Lage ist, Lösungen für Probleme aus einem begrenzten Fachgebiet zu liefern, die von der Qualität her denen eines menschlichen Experten vergleichbar sind oder diese sogar übertreffen.« [13]. Diese Systeme lassen sich nach der Art ihrer Anwendung klassifizieren. Unter anderem werden sie als Konfigurationssysteme verwendet, »[...] die auf der Basis von Selektionsvorgängen unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten und Benutzerwünschen komplexe Gebilde zusammenstellen.« [13]. Der schematische Aufbau eines wissensbasierten Expertensystems ist in Abbildung 4 dargestellt.

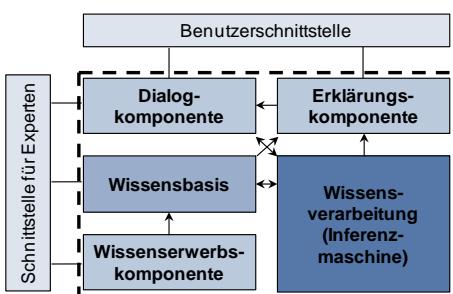


Abbildung 4: Aufbau eines wissensbasierten Expertensystems, in Anlehnung an [3]; © Sebastian Keller

Über eine graphische Bedienoberfläche kann der Nutzer des Systems seine Anforderungen bezüglich einer MRK-Anlage eingeben (Dialogkomponente). Anschließend

entwirft die Inferenzmaschine Konfigurationen mit Hilfe einer Wissensbasis unter Nutzung vorhandener Regeln. Zur Verarbeitung von vorhandenem Wissen muss in der Inferenzmaschine eine geeignete mathematische Methode der Entscheidungsfindung implementiert sein. Hierfür wurden verschiedene Methoden mit einer Nutzwertanalyse in Verknüpfung mit einem paarweisen Vergleich gegenübergestellt. Eine Kombination aus der Case-Based-Reasoning- und der Entscheidungsbaum-Methode konnte folglich als zielführend identifiziert werden. In der Wissensbasis, eine relationale Datenbank im Assistenzsystem, befinden sich Informationen über bereits realisierte MRK-Anwendungen und dessen Konfigurationen. Weiterhin sind in der Datenbank Informationen über am Markt vorhandene Robotertechnologien, Sicherheits-, Steuerungssysteme und normative Zusammenhänge hinterlegt. Um einen Filter aufzubauen, der es erlaubt, Roboter nach der Art der Kollaboration mit dem Menschen entsprechend [4] zu kategorisieren, wurde eine Entscheidungsmatrix aus den Anforderungen der Normen DIN EN ISO 10218-1/2 [4, 14] und der ISO/TS 15066 [15] herausgearbeitet. In Abbildung 5 ist die Entscheidungsmatrix dargestellt.

	Sicherheitsbewerteter überwachter Halt	Handführung	Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung	Leistungs- und Kraftbegrenzung
Sicherheitsüberwachte Achsen	x	x	x	x
Raumbegrenzungsfunktion	x	x	x	x
Sicherheitsüberwachte Stopfunktion	x	x	x	x
Stoppkategorie 2	x			
Sicherheitsüberwachte Geschwindigkeitsfunktion		x	x	
Kraft und Leistungsbegrenzung				x
Begrenzung der bewegten Masse				x
Sensoren um Kontakte zu antizipieren oder zu detektieren				x
Passive Anforderungen (z.B. Prallschutz)				x

Legende:

- Anforderung muss erfüllt sein
- Anforderung kann erfüllt sein  
(Oder-Beziehung)

Abbildung 5: Entscheidungsmatrix zur Kategorisierung von Robotersystemen nach Eignung für die Kollaborationsarten;  
© Sebastian Keller

Dabei können die Anforderungen technisch sehr unterschiedlich realisiert sein. Roboterhersteller können ihre Produkte in Bezug auf die Anforderungen zertifizieren lassen. Dadurch ist es möglich, Roboter nach ihren Kollaborationsarten zu kategorisieren. Gerade die Wahl des Roboters für einen Anwendungsfall basiert auf Expertenwissen.

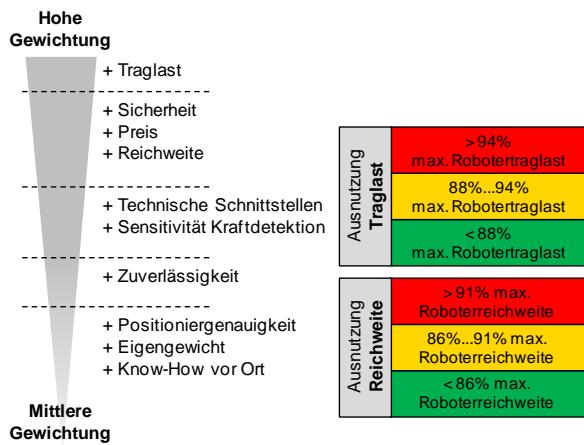


Abbildung 6: Teilergebnisse der Expertenbefragung  
© Sebastian Keller

Um dieses Wissen in dem Assistenzsystem in Form von Regeln zu implementieren, wurden Expertenbefragungen durchgeführt. Die befragten Personen haben bereits Erfahrungen im Aufbau von MRK-Anlagen sammeln können. Bei den gestellten Fragen handelte es sich um offene Fragen, dessen Antworten eine Klassifizierung der Robotereigenschaften erlaubten. Abbildung 6 gibt einen Überblick der Ergebnisse.

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, schrieben die Experten der Traglast, der Sicherheit, dem Preis und der Reichweite eines Roboters eine sehr hohe Gewichtung zu. Weiterhin klassifizierten sie Ausschlusskriterien. Beispielhaft sind in der Abbildung die Ausschlusskriterien der Traglast und der Reichweite dargestellt. Im Durchschnitt wurde von den befragten Personen die höchste zu nutzende Traglast eines Roboters mit ca. 94% der maximalen Traglast angegeben. Hieraus ergaben sich Regeln für die Inferenzmaschine, die eine Rangfolge der wichtigsten Robotereigenschaften und bestimmte Ausschlusskriterien zur Wahl eines geeigneten Roboters ermöglichen.

Die Wissensbasis kann mit Hilfe der Wissenserwerbskomponente durch einen Experten erweitert werden. Nach der Erarbeitung einer Lösungsvariante wird dem Anwender die Lösung durch die Erklärungskomponente präsentiert und die Einzelheiten der Lösungsfindung erörtert. Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt der Erklärungskomponente.



Abbildung 6: Ausgabebildschirm der Eignung von MRK-Robotern unter bestimmten Eingaben von Anforderungen;  
© Sebastian Keller

## 5 Strategie 3: Fehler- und Ausfalleliminierung in An- und Hochlaufprozessen über smart Data und Analytics

Moderne Industrieunternehmen befinden sich in der heutigen Zeit in einem Umfeld, welches stark durch die steigende kundenseitige Anforderung nach höherer Qualität und Funktionalität geprägt ist. Unternehmen stehen daher unter dem ständigen Druck, innovativ zu sein, zum einen in der Gestaltung ihrer Produkte und zum anderen in der Gestaltung ihrer Prozesse [16].

Gleichzeitig kann die Integration neuer innovativer Produktionstechnologien zu einem zeitlich verlängerten Anlaufprozess führen. Die eigentliche Verbesserung der Produktionstechnologie durch die Innovation an sich kann dabei durch die auftretenden Anlaufverluste vollständig kompensiert werden [17].

Ziel der hier vorgestellten Strategie 3 ist es, für diese Herausforderungen, bestehend aus der geforderten Innovationsfähigkeit und dem gleichzeitig damit verbundenen Risiko durch beträchtliche Anlaufverluste, einen möglichen Lösungsansatz zu bieten. Unter dem Begriff »Predictive Maintenance« wird in der Literatur die vorhersagende Wartung von Maschinen über eine vorgelegte Datenaufnahme an Produktionsmaschinen verstanden. Über die sensorbasierte Aufnahme und Auswertung dieser Maschinendaten können Prognosen über etwaige Ausfälle gemacht werden [2] S. 545. Mobley hat gezeigt, dass über eine solche vorhersagende Ausfallprognose eine wesentliche Leistungsverbesserung für Produktionsbetriebe ermöglicht wird [18] S. 70.

Die Nutzung der Vorteile einer Fehler- und Ausfallprognose zur Risikoreduzierung von Anlaufverlusten durch die Integration einer innovativen Produktionstechnologie ist Ziel der genannten Strategie 3.

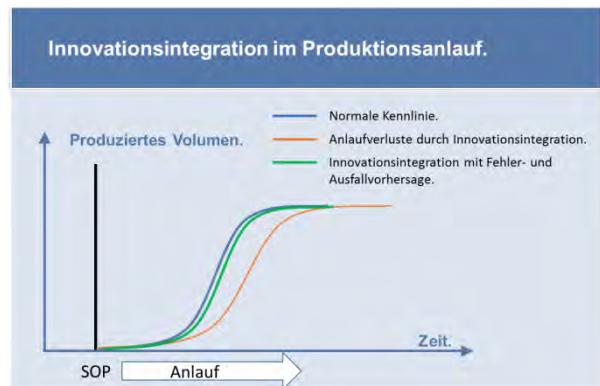


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf Produktionsanlauf  
© Ralf Schönherr

Am Beispiel einer innovativen Automatisierungsanlage entsteht derzeit ein Modell für die Vorhersage von Fehlern und Ausfällen im Rahmen des Anlaufprozesses. Es wird hierbei zunächst über den Einsatz von adäquater Sensorik eine Ursache-Wirkungs-Beziehung aus Realdaten

abgeleitet. In einem nächsten Schritt erfolgt dann über die Auswahl geeigneter Algorithmen ein Vorhersagemodell für das Auftreten von Störungen im Anlaufprozess innovativer Anlagen.

## 6 Zusammenfassung

Um Herausforderungen wie Globalisierung, Steigerung der Kundenanforderungen und kürzer werdenden Produktlebenszyklen zu begegnen, müssen vor allem produzierende Unternehmen in Industrieländern ihre Prozesse weiterentwickeln. Die Automatisierung bietet im Besonderen mit innovativer Robotertechnologie vielversprechende Lösungsansätze. Systeme müssen für eine flexible Produktion schnell konfigurierbar sein. Hierfür muss die Planungszeit verkürzt werden. In diesem Beitrag wurden drei Strategien zur effizienten Planung vorgestellt. In der Strategie 1 wurde ein Ansatz zur Verwendung von Reifeinformationen bzgl. innovativer Technologien gezeigt, um für den Planungsprozess relevante Daten zu generieren. Ein expertengestütztes Assistenzsystem für MRK-Anlagen wurde in Strategie 2 erklärt. Wie smarte Daten mit intelligenten Algorithmen den An- und Hochlaufprozess unterstützen, wurde in Strategie 3 erläutert.

## 7 Literatur

- [1] Schenk, Michael ; Müller, Egon ; WIRTH, Siegfried: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb : Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourcen-effiziente Fabrik. 2., vollst. überarb. Und erw. Aufl. Berlin [u.a.] : Springer Vieweg, 2014.
- [2] Bauernhansl, Thomas: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik : Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014 (SpringerLink : Bücher).
- [3] Schenk, Michael: Produktion und Logistik mit Zukunft : Digital Engineering and Operation. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2015 (VDI-Buch).
- [4] DIN EN ISO 10218-1. Januar 2012. Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011);
- [5] Grote, K.-H (Hrsg.); Feldhusen, J. (Hrsg.): Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau : 24. Auflage. Berlin : Springer Berlin, 2014.
- [6] VDI-Richtlinie VDI 5200. Februar 2011. Fabrikplanung - Planungsvorgehen.
- [7] REFA Methodenlehre der Betriebsorganisation, Datenermittlung. München : Hanser, 1997 (Methodenlehre der Betriebsorganisation [15]).
- [8] Schindler, Sebastian: Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2014. 2015.
- [9] Mankins, John C.: Technology Readiness Levels : A White Paper. URL <https://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trl.pdf> Überprüfungsdatum 2016-05-24.
- [10] Brousseau, E. B. ; Barton, R. ; Dimov, S. ; Bigot, S.: Technology maturity assessment of micro and nano manufacturing. URL [https://www.researchgate.net/profile/Stefan\\_Dimov2/publication/255702760\\_Technology\\_maturity\\_assesesment\\_of\\_micro\\_and\\_nano\\_manufacturing\\_processes/links/55d2fcdb08aec1b0429f0ea3.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Dimov2/publication/255702760_Technology_maturity_assesesment_of_micro_and_nano_manufacturing_processes/links/55d2fcdb08aec1b0429f0ea3.pdf) – Überprüfungsdatum 2016-05-25.
- [11] Hägele, Martin; Blümlein, Nikolaus; Kleine, Oliver: Wirtschaftlichkeitsanalysen neuartiger Servicerobotik - Anwendung und ihre Bedeutung für die Robotik-Entwicklung : EFFIROB.- Henrik Almgren – 1999 Start-up of advanced manufacturing systems – Überprüfungsdatum 2016-05-24.
- [12] Keller, Sebastian (Hrsg.); König, Alexander (Hrsg.): Entwicklung eines hybriden und ortsflexiblen Automatisierungsansatzes in der Fahrzeugfließmontage. 13. Aufl. Düsseldorf : VDI Wissensforum GmbH, 2015.
- [13] Lackes, Richard ; Siepermann, Markus: Expertensystem. URL <35/Archiv/57388/expertensystem-v9.html> – Überprüfungsdatum 2016-05-26.
- [14] Norm DIN EN ISO 10218-2. Juni 2012. Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration (ISO 10218-2:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10218-2:2011.
- [15] Vornorm ISO/TS 15066:2016-0. Februar 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots
- [16] Glock, Christoph H.; Jaber, Mohamad Y. ; Zolfaghari, Saeed: Production planning for a ramp-up process with learning in production and growth in demand. In: International Journal of Production Research 50 (2012), Nr. 20, S. 5707–5718

- [17] Almgren, Henrik: Start-up of advanced manufacturing systems – a case study. In: Integrated Manufacturing Systems 10 (1999), Nr. 3, S. 126–136.
- [18] Mobley, R. Keith: An introduction to predictive maintenance. 2nd ed. Amsterdam, New York : Butterworth-Heinemann, 2002 .

# **EIN GENERISCHES IT-KONZEPT ZUR ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG AN LOGISTISCHEN KNOTEN DURCH DIE PROGNOSSE VON LKW-WARTEZEITEN**

---

Dipl.-Wirt.-Inf. Martin Stamer  
Dr. Alessandro Hill  
Dr. Jürgen Böse  
Prof. Dr.-Ing. Carlos Jahn  
Technische Universität Hamburg-Harburg

Ronald Krick  
sourcingmentor.com, Hamburg

# LEBENSLAUF



Dipl.-Wirt.-Inf. Martin Stamer

Technische Universität Hamburg, Institut für Maritime Logistik,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

- |             |   |
|-------------|---|
| 2008 – 2011 | Softwareentwicklung und Geschäftsprozessgestaltung in MS Navision / Dynamics NAV ERP-Systemen.        |
| 2012        | Abschluss als Diplom-Wirtschaftsinformatiker an der Universität Hamburg.                              |
| 2013 – 2014 | IT-Beratung und Assistenz der Geschäftsführung eines gemeinnützigen Vereins.                          |
| 2014 – 2015 | Freiberufliche Softwareentwicklung und IT-Beratung.   |
| Seit 2015   | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maritime Logistik der Technischen Universität Hamburg. |

# EIN GENERISCHES IT-KONZEPT ZUR ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG AN LOGISTISCHEN KNOTEN DURCH DIE PROGNOSSE VON LKW-WARTEZEITEN

Dipl.-Wirt.-Inf. Martin Stamer, Dr. Alessandro Hill, Dr. Jürgen Böse, Prof. Dr.-Ing. Carlos Jahn, Ronald Krick

## 1 Zusammenfassung

Zur Verringerung von Wartezeiten und Optimierung des Ressourceneinsatzes wird ein flexibles Systemkonzept vorgestellt, welches eine aussagekräftige Vorhersage der zukünftigen Lkw-Wartezeiten und -Ankünfte an logistischen Knoten für alle Beteiligten bereitstellt. Die dadurch verbesserte Entscheidungsgrundlage erleichtert Speditionsunternehmen die Tourenplanung und Betreibern von logistischen Knoten die Personal- und Geräteplanung. Durch die erwartete Glättung der Lastspitzen kann eine unmittelbare Effizienzsteigerung und Verringerung der Lkw-Wartezeiten bewirkt werden. Das konzipierte System verspricht vor allem Verbesserungen für die Lkw-Abfertigung an logistischen Knoten, bei denen die Nutzung von verpflichtenden Voranmeldesystemen (»Truck Appointment Systems«) nicht möglich ist. Durch die Bereitstellung von Visualisierungen als Analysewerkzeug wird ein möglichst intuitiver und damit niedrigschwelliger Einstieg in die Nutzung für die Beteiligten unterstützt. Weiterhin erlaubt das entwickelte Konzept Knotenbetreibern eine Systemeinführung mit überschaubaren Investitionen in Infrastruktur und anwenderspezifischen Anpassungen des Systems.

## 2 Einleitung

Für Thaller et al. stellen logistische Knoten »Quellen und Senken von Gütertransporten dar und spielen auf Grund ihrer Bündelungsfunktion für Transportprozesse eine entscheidende Rolle« [1], S.50. Bei der Betrachtung der Ankünfte von Lkw an logistischen Knoten (z.B. Containerterminals, Regionallager und Leercontainerdepots) fällt auf, dass zum einen wiederkehrend deutliche Lastspitzen und zum anderen Phasen von geringer Auslastung auftreten. Die Lastspitzen führen zu stark schwankenden Wartezeiten auf den Beginn der physischen Abfertigung, während Phasen geringer Auslastung zur Folge haben, dass Ressourcen (z.B.: Personal und technisches Gerät) zwar einsatzbereit vorgehalten aber kaum ausgelastet werden (vgl. z.B. [2], [3], [4]). So beurteilt auch eine explorative qualitative und quantitative Studie von Hagenlocher et al. die Wartezeiten als eines der Kernprobleme an der »zentralen Schnittstelle zwischen dem anliefernden Transportunternehmen bzw. Lieferanten und dem Verender bzw. Empfänger« [5], S. IX. Die Studie betont,

dass solche Wartezeiten gerade »bei kurzen und mittleren Distanzen [...] ein großes Problem für die Transportunternehmen« darstellen [5], S. 56. Zudem erfolgt durch lange Wartezeiten eine Verringerung der Attraktivität des Berufsbildes des Lkw-Fahrers [5]. Gerade vor dem Hintergrund der derzeitigen Schwierigkeiten bei der Besetzung entsprechender Stellen (vgl. z.B. [6]) erscheint dieses kritisch. Als weitere negative Folgen langer Wartezeiten identifizieren Hagenlocher et al. eine erhöhte Belastung von Umwelt und Infrastruktur, Probleme bei der Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten sowie eine durch Termindruck induzierte Gefährdung der Verkehrssicherheit.

Mögliche Lösungen sind z.B. der Einsatz von modernen Informationstechnologien: Avisierung der Lkw-Ankünfte, flexible Zeitfenstermanagementsysteme und die Bereitstellung von Informationen über aktuelle und voraussichtliche Wartezeiten [5]. Auch für Phan und Kim bietet der Informationsaustausch zwischen Speditionsunternehmen und Containerterminals die Grundlage für einen iterativen Abstimmungs- und Kollaborationsprozess [7]. Maguire et al. sehen in Voranmeldesystemen das Potential, nicht nur den Arbeitsablauf am Gate, sondern auch innerhalb eines Terminals »dramatisch« zu verbessern und sowohl Staus zu vermeiden als auch die Umweltbelastung zu mindern [8]. Bei einem Vergleich von Voranmeldesystemen vierer Häfen stellt Davies fest, dass Befolgsraten von über 90% und eine hohe Effizienz in den Durchlaufzeiten mit Strafgebühren für das Nichteinhalten der Zeitfenster erreichbar sind. Deswegen empfiehlt er verpflichtende Voranmeldesysteme [2]. Doch ist die Einführung, bzw. Durchsetzung von verpflichtenden Systemen nicht bei allen logistischen Knoten möglich. Sie kann zum Beispiel kurz- bzw. mittelfristig zu Wettbewerbsnachteilen führen, da Speditionsunternehmer eine Voranmeldung scheuen und auf konkurrierende Anbieter ausweichen.

Mit dem hier vorgestellten Ansatz wird versucht, durch eine Prognose auf Basis der historischen Daten die zukünftige Entwicklung der Ankunftsdaten und Wartezeiten vorherzusagen. Dieses Vorgehen soll bei freiwilligen Voranmeldungen helfen, die im Vergleich zu verpflichtenden Voranmeldesystemen lückenhafte Informationen bezüglich der Anzahl der Ankünfte zu kompensieren. Gleichzeitig können die historischen und prognostizierten Daten den Beteiligten als Planungshilfe bereitgestellt werden.

Mit Hilfe von geeigneten Visualisierungen lassen sich relativ einfach Trends und Muster im Vergleich großer und multidimensionaler Datenmengen erkennen (vgl. z. B. [9], [10], [11], [12], [13]). Das System soll auch die Verbreitung von Wartezeiten und Ankunftsralten zu den Fahrern und Speditionsunternehmen sowie deren freiwillige Voranmeldungen unterstützen. Die Voranmeldungen können anschließend als Zusatzinformationen für die Prognose verwendet werden.

Das in diesem Artikel beschriebene IT-Konzept ist Teil des Forschungsprojektes »Lkw-Wartezeitprognose für logistische Knoten«: Das IGF-Vorhaben 17694 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert und endet am 31.12.2016.

Nachfolgend werden zunächst die Anforderungen an das IT-System beschrieben. Darauf aufbauend wird ein Konzept für das IT-System vorgestellt. Dabei werden die Architektur der Webapplikation und die Eigenschaften des zugrundeliegenden Datenmodells näher betrachtet.

### 3 Anforderungen an das IT-System

Durch die Ausrichtung des IGF-Forschungsprogrammes ergeben sich für das Forschungsprojekt unter anderem folgende Anforderungen [14]:

Das Ergebnis muss

- vorwettbewerblichen Charakter besitzen,
- mit und für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) entwickelt werden und
- für möglichst viele KMU prinzipiell adaptierbar sein.

Daraus folgt, dass als Projektergebnis ein Prototyp mit möglichst generischem Charakter entstehen soll. Diese Musterlösung soll mit relativ geringem Aufwand an die individuellen Bedürfnisse verschiedener Unternehmen anpassbar sein und eine Weiterentwicklung durch diese Nutzer möglich sein.

Somit ergeben sich für das IT-Konzept folgende Anforderungen:

- Austausch- und Erweiterbarkeit von einzelnen Systemkomponenten,
- Abstraktion von der spezifischen Ausprägung der Unternehmensstruktur, der Kundenbeziehungen, der Abfertigungsprozesse und der Messpunkte,
- Abstraktion von Art, Anzahl und Gewichtung externer Einflussfaktoren auf den Abfertigungsprozess,
- Nutzung von in der Praxis etablierten Architekturprinzipien,
- Einsatz von etablierten und durch KMU beherrschbaren Technologien und
- Quelloffenheit des Programmcodes.

Zusätzlich ergeben sich weitere Anforderungen aus der Problemstellung:

- Weitgehende Unabhängigkeit von Betriebssystem und Hardware der Benutzer,
- Mehrbenutzerfähigkeit,
- Rechte und Rollenmanagement mit verschiedenen Sichten und
- mobile Nutzbarkeit.

Aus diesen Anforderungen ist das nachfolgend vorgestellte IT-Konzept abgeleitet worden.

### 4 Konzeption des IT-Systems

Die geforderte leichte Erweiterbarkeit und geräte- und ortsunabhängigen Verfügbarkeit des Zielsystems münden in der Auswahl einer modularen, gekapselten und internetbasierten Architektur. Dabei unterteilt sich das System in die Module Prognose, Datenbank und Webapplikation. Das Prognosemodul besteht aus einem Künstlichen Neuronalen Netzwerk (KNN), welches historische Daten aus der Datenbank ausliest, basierend darauf eine Prognose erstellt und das Ergebnis anschließend in der Datenbank für die weitere Nutzung bereitstellt. Auch Anforderungen neuer Prognosen durch die Benutzer der Webapplikation werden von der Applikation in die Datenbank geschrieben. Die Prognosekomponente prüft die Datenbank regelmäßig auf neue Anforderungen. Bei Bedarf erstellt sie die Prognosen und markiert die Anforderungen dann als erledigt. Auf zusätzliche Kommunikationskanäle – und die dafür nötigen Technologien und Protokolle – zwischen Webapplikation und Prognosemodul kann so verzichtet werden. Die Datenbank beinhaltet neben den historischen und prognostizierten Daten auch alle weiteren benötigten Daten der logistischen Knoten sowie systeminterne Verwaltungsdaten. Diese Verwaltungsdaten bieten unter anderem die Basis für ein Rechte- und Rollenmanagement. Der Datenaustausch zwischen dem Prognosemodul und der Webapplikation erfolgt somit ausschließlich über die Datenbank, welche damit zur zentralen Schnittstelle wird. Im Folgenden werden die generischen Eigenschaften des der Datenbank zugrundeliegenden Datenmodells und die der Webapplikation näher beschrieben.

#### 4.1 Das Datenmodell

Ziel bei der Konzeption des Datenmodells gemäß den Anforderungen aus Abschnitt 3 war, ein möglichst generisches Modell zu erhalten. Dieses soll in der Lage sein, unterschiedliche Unternehmenstypen, Prozesse und Daten logistischer Knoten abbilden zu können. Nachfolgend werden Teilbereiche des Datenmodells in der Entity-Relationship-Notation nach Chen [15] definiert.

Die Modellierung der an den Prozessen logistischer Knoten beteiligten Parteien ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie gestattet die Abbildung von unterschiedlichen Unterneh-

menshierarchien, Unternehmensarten und Kundenbeziehungen. Unternehmen können Teil übergeordneter Unternehmen und Kunden von anderen Unternehmen sein. Beispielsweise bildet die Beziehung »liefert für« Fuhrunternehmen ab, die als Subunternehmen von Speditionen keine direkte Geschäftsbeziehung mit einem logistischen Knoten haben. Diese Beziehungen können für die Prognosekomponente hilfreiche Informationen liefern. So ist es z.B. denkbar, dass ein Fuhrunternehmen generell Subunternehmer beschäftigt, die einen langen Anfahrtsweg haben und deswegen im Regelfall erst gegen Abend im zweitägigen Rhythmus eintreffen. Ohne die »liefert für« Relation wäre dieses Muster nicht erkennbar und somit für die Prognose auch nicht verwertbar.

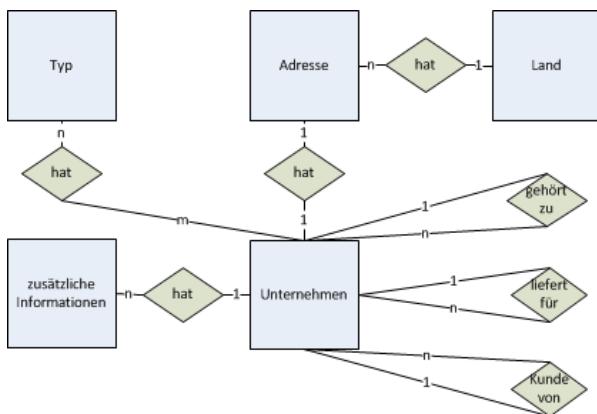


Abbildung 1: vereinfachte Darstellung Unternehmen (eigene Darstellung)

Die prognostizierten Daten wurden nach dem gleichen Prinzip modelliert (s. Abb. 2). Ein Unternehmen kann ein oder mehrere Prognosen unterschiedlichen Typs besitzen. Eine Prognose kann aus ein oder mehreren verschiedenen Abfertigungsprozessen bestehen. Zusätzlich können Unternehmen ein oder mehrere Voranmeldungen verschiedener Art erhalten und von unterschiedlichen allgemeinen Ereignissen betroffen sein. Dieses soll Ereignisse abbilden, die signifikanten Einfluss auf die Durchführung des operationalen Geschäfts haben, zum Beispiel »Zufahrtsstraße gesperrt« oder »Ressource ausgefallen«.

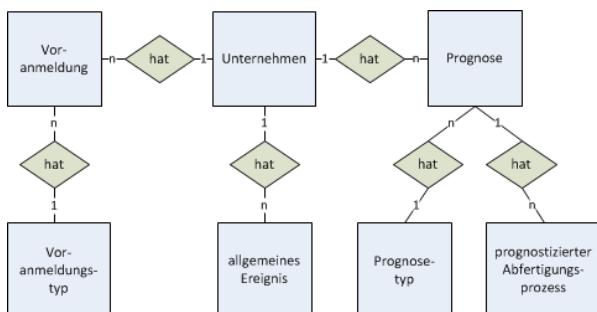


Abbildung 2: vereinfachte Darstellung Prognose (eigene Darstellung)

Der Abfertigungsprozess (s. Abb. 3) wurde ähnlich flexibel modelliert. Ein Abfertigungsprozess wird bei einem Unternehmen (dem logistischen Knoten) durchgeführt, zu

dem ein anderes Unternehmen etwas anliefert. Dieses erfolgt gegebenenfalls im Auftrag eines dritten Unternehmens. Zu dem Abfertigungsprozess gehören wiederum ein oder mehrere Prozessereignisse, die mit einem Zeitstempel versehen sind und näher spezifiziert werden können. Die Entität »allgemeines Ereignis« wirkt sich auf ein Unternehmen aus und kann dadurch deren Abfertigungsprozesse beeinflussen.

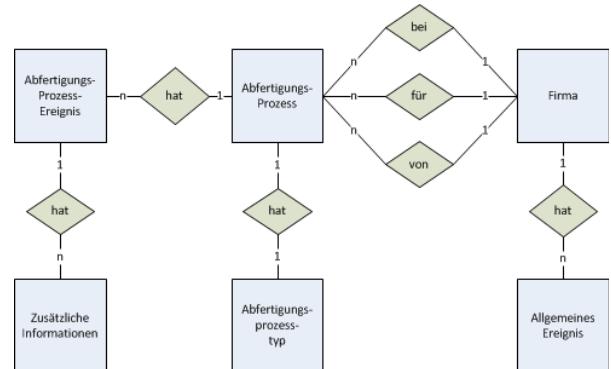


Abbildung 3: vereinfachte Darstellung Abfertigungsprozess (eigene Darstellung)

## 4.2 PHP, PHP Frameworks und die Model-View-Controller-Architektur

Zunächst musste eine Programmiersprache für die Implementierung der serverseitigen Logik der Webapplikation gewählt werden. Die Wahl fiel ausgehend von den zuvor beschriebenen Anforderungen auf PHP. Einer Analyse von W3Techs [16] nach wird PHP von über 80% der betrachteten 10.000.000 Webseiten als serverseitige Programmiersprache genutzt. Darunter fallen viele der besonders benutzerstarken Angebote im Netz: Facebook, Baidu, Wikipedia und Twitter. Der PHP-Code wird auf dem Server ausgeführt und sendet die generierten Webseiten an den Webbrower. Dadurch erfolgt bereits eine Kapselung: der Benutzer erhält über seinen Webbrower keinen direkten Zugriff auf die Datenbank oder die serverseitige Logik.

Der generelle Ablauf der Interaktion mit einer Webapplikation ist wie folgt (vergl. z.B. [17], [18]): Der Benutzer sieht nur vom Server bereitgestellte Interaktionsoptionen und vom Server gesendete Inhalte. Die Interaktionen des Benutzers werden als Anfragen an den Server gesendet, auf dem dann die Berechtigung für die gewünschte Aktion geprüft wird. Hat der Benutzer die Berechtigung, wird als Antwort bzw. Reaktion auf seine Interaktion (bzw. Interaktionsanfrage) eine neu erstellte Webseite an seinen Browser gesendet. Diese Webseite enthält die angeforderten Inhalte (z.B. Ergebnistabelle einer Suche) und an den neuen Kontext angepasste Interaktionsoptionen (z.B. Aufruf der Detailansicht zu den Suchergebnissen).

Aus obenstehender Erläuterung geht auch hervor, dass es typische Aufgaben gibt, welche bei Webapplikationen wiederkehrend und unabhängig von der konkreten Art der Applikation serverseitig zu lösen sind (z.B. Berechti-

gungsprüfung einer Anfrage an den Server). Um den Aufwand der Implementierung zu reduzieren und deren Güte durch den Einsatz bewährter Methoden zu erhöhen, kommen daher sogenannte Frameworks zum Einsatz. Sie beinhalten bereits generische Implementierungen für solche typischen Aufgaben, welche in einer für die eigene Webanwendung spezifischen Art eingebunden oder angepasst werden können [19]. Unter den PHP Frameworks fiel die Wahl auf Laravel, insbesondere, weil es eine Model-View-Controller (MVC)-Architektur nutzt [20]. Der MVC-Ansatz wurde erstmals 1979 von Reenskaug [21] implementiert und erwähnt. Es ist eine effektive und inzwischen etablierte Methode für die Strukturierung von Applikationen [22]. Die Applikation wird dabei in drei Schichten mit jeweils spezifischen Aufgaben aufgeteilt: die Model-Schicht, die View-Schicht und die Controller-Schicht. Das Grundprinzip von MVC ist es, den Schichten klare Zuständigkeiten zuzuordnen und eine Kommunikation nur zwischen benachbarten Schichten zu erlauben [23]: Die View-Schicht enthält die Darstellungslogik in einzelnen Views, welche typischer Weise einer im Browser dargestellten Seite entsprechen. Die Controller-Schicht ist für die Ablaufsteuerung zuständig, sowie für die Bereitstellung darzustellender Daten für die Views.

Diese Daten werden von der Model-Schicht angefordert. Die Model-Schicht enthält mehrere Models, welche fachspezifische Logik nach Objekten der Anwendungsumgebung gruppieren, sowie bei Bedarf die logische Verbindung zu den entsprechenden Tabellen in einer Datenbank herstellen. Durch diese Entkopplung (»decoupling«) hilft MVC, die Komplexität in der Software-Architektur zu reduzieren und die Flexibilität und Wiederverwertbarkeit des Codes zu verbessern, da die einzelnen Objekte innerhalb der Schichten unabhängig voneinander analysiert und in gewissem Umfang auch implementiert werden können [24]. Darüber hinaus geben MVC-Frameworks zumeist konkrete Mechanismen vor, um das Standardverhalten innerhalb einer Schicht anzupassen (vgl. z.B. [19]). Diese Vorteile erleichtern die Entwicklung, Erweiterung und Wartung von Applikationen, indem sie die Einhaltung bestimmter Prinzipien unterstützen:

- Wiederverwendung von Code (unter anderem durch die Bündelung der Geschäftslogik in Models und zentrale Mechanismen zur Verhaltensanpassung innerhalb einer Schicht) [19].
- Konvention über Konfiguration und Selbstdokumentation [19]: Beispielsweise lässt sich aus dem Speicherort und der Bezeichnung einer Programmdatei ihre Aufgabe und Einordnung innerhalb der Applikation und Architektur ableiten. Umgekehrt gibt es auch klare Vorgaben, welche Implementierungsaufgaben in welcher Schicht und durch welche Mechanismen zu realisieren sind.
- Entkopplung der Darstellungslogik von übrigen Aspekten der Implementierung [23]: Die Applikation kann leicht verschiedene Benutzerschnittstellen anbieten (z.B. unterschiedliche Sprachversionen oder

unterschiedliche Darstellung für klassische PCs und mobile Geräte).

Die weite Verbreitung und Produktionsreife von PHP sowie die beschriebenen Vorteile eines MVC-Frameworks decken sich gut mit den zuvor abgeleiteten Anforderungen an das System: die Verfügbarkeit von PHP-Programmierern mit Know-how im MVC-Ansatz und PHP-Dokumentation ist hoch und wird es voraussichtlich auch noch eine ganze Weile bleiben. Gleichzeitig bietet ein MVC-Framework Unterstützung bei der Strukturierung der Webapplikation, indem Kapselung und Modularisierung innerhalb der Architektur vorgesehen sind. Zusätzlich bietet das MVC-Architekturmuster einen passenden Rahmen für die Umsetzung der geforderten generischen Eigenschaften hinsichtlich der Anpassbarkeit, verschiedener Benutzersichten auf die Daten und eines Rollen- und Rechte managements.

## 5 Fazit und Ausblick

Das vorgestellte IT-Konzept wird auf Grund der Architektur und des Datenmodells einer generischen Lösung für die Anforderungen aus Abschnitt 3 gerecht. Bei dem vorgestellten Konzept ist es durch die abgrenzten Schichten und klare Aufgabenteilung innerhalb der Webapplikation möglich, diese Applikation auf andere Benutzerbedürfnisse und Anwendungsgebiete anzupassen. Denkbare Anpassungen wären beispielsweise neue Sichten auf die Daten und veränderte Visualisierungen. Die Beschränkung auf die Datenbank als zentrale Schnittstelle erlaubt es auch, eine gänzlich andere Art von Applikation für die Benutzerinteraktionen anzubinden, beispielsweise ein PC Programm. Genauso ließe sich das verwendete Prognosewerkzeug durch z.B. eine Eigenimplementierung mit anderen Prognoseverfahren ersetzen.

Dank der Beschränkung auf die Datenbank als zentrale Schnittstelle wird eine sehr hohe Flexibilität erreicht, da fast alle Programmiersprachen und Softwarewerkzeuge die Anbindung von Datenbanken unterstützen. Durch gezielte Anpassung kann das System so auch für andere Problemstellungen verwenden werden: zum Beispiel für Vorhersagen von Wartezeiten am Postschalter und Resourcenauslastungen sowie für Materialbedarfsplanungen. Auf Basis dieses Konzeptes wird derzeit ein Prototyp entwickelt. Erste Präsentationen seiner Zwischenstände bei Praxispartnern führten bereits zu Ideen für weitere Anwendungsgebiete: z.B. Vorhersage von innerbetrieblichen Durchlaufzeiten zur Auswahl geeigneter Lagerorte von Gütern.

Die konkrete Umsetzbarkeit in der Praxis soll durch einen Demonstratoreinsatz in Unternehmen nachgewiesen werden, welcher sich derzeit in Planung befindet. Bisher hat das vorgestellte IT-Konzept für die Prognose und Anzeige von Lkw-Wartezeiten und Ankunftsdaten mit Blick auf einen Einsatz in der Unternehmenspraxis keine grundlegenden Grenzen offenbart.

## 6 Literatur

- [1] Thaller, Carina et al. (2016): Charakterisierung logistischer Knoten mittels logistik-, verkehrs- und betriebsspezifischer empirischer Daten. In: Clausen, Uwe; Thaller, Carina (Hrsg.): Wirtschaftsverkehr 2013. Datenerfassung und verkehrs-trägerübergreifende Modellierung des Güterverkehrs als Entscheidungsgrundlage für die Verkehrspolitik. Springer: Berlin u.a., S. 50-73.
- [2] Davies, Philip (2013): Container Terminal Reservation Systems Design and Performance. In: 5th METRANS International Urban Freight Conference. METRANS: Long Beach.
- [3] Davies, Philip (2009): Container Terminal Reservation Systems. In: 3th Annual METRANS National Urban Freight Conference, METRANS: Long Beach.
- [4] Tioga Group (2011): Truck Drayage Productivity Guide. Transportation Research Board: Washington, D.C.
- [5] Hagenlocher, Stefan; Wilting, Frank; Wittenbrink, Paul (2013): Schnittstelle Rampe - Lösungen zur Vermeidung von Wartezeiten. Schlussbericht hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH: Berlin.
- [6] Langley, John C.; Capgemini (2015): 2016 Third-Party Logistics Study. The State of Logistics Outsourcing. Results and Findings of the 20th Annual Study. Capgemini: Atlanta.
- [7] Phan, Mai-Ha et al. (2016): Collaborative Truck Scheduling and Appointments for Trucking Companies and Container Terminals. In: Transportation Research Part B. Methodological, Jg. 86, S. 37–50.
- [8] Maguire, Aleksandra et al. (2010): Relieving Congestion at Intermodal Marine Container Terminals: Review of Tactical / Operational Strategies. In: 51st Transportation Research Forum. Transportation Research Forum: Arlington.
- [9] Charwat, Hans (1994): Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation. 2. Aufl., Oldenbourg: München u. a
- [10] McCormick, Bruce H.; DeFanti, Thomas A.; Brown, Maxine D. (1987): Visualization in Scientific Computing. In: IEEE Computer Graphics and Applications, Jg. 7 (10), S. 69-69.
- [11] Friedhoff, Richard Mark; Benzon, William (1989): Visualization. The second Computer Revolution. Abrams: New York.
- [12] Möslein, Kathrin M. (2000): Bilder in Organisationen. Wandel, Wissen und Visualisierung. DUV: Wiesbaden.
- [13] Mazza, Riccardo (2009): Introduction to Information Visualization. Springer: London.
- [14] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012): Richtlinie über die Förderung der industriellen Gemeinschaftsförderung. In: Bundesministerium der Justiz (Hrsg): Bundesanzeiger.
- [15] Chen, Peter Pin-Shan (1976): The Entity-Relationship Model. Toward a Unified View of Data. In: ACM Transactions on Database Systems, Jg. 1 (1), S. 9-36.
- [16] W3Techs (2016): World Wide Web Technology Surveys. URL: <http://w3techs.com/technologies/details/pl-php/all/all>. Zuletzt abgerufen: 20.05.2016.
- [17] MacIntyre, Peter; Danchilla, Brian; Gogala, Mladen (2011): Pro PHP Programming. Apress: New York.
- [18] Powers, David (2014): PHP Solutions – Dynamic Web Design Made Easy. 3. Aufl., Apress: Berkeley.
- [19] Ammelburger, Dirk et al.: (2011): Webentwicklung mit CakePHP. 2. Aufl., O'Reilly: Köln.
- [20] Otwell, Taylor (2016): Laravel. The PHP Framework For Web Artisans. URL: <https://laravel.com/>. Zuletzt abgerufen: 20.05.2016.
- [21] Reenskaug, Trygve (2007): The Original MVC Reports. URL: <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/9621/Reenskaug-MVC.pdf>. Zuletzt abgerufen am 20.05.2016.
- [22] Hofmeister, Christine; Nord, Robert; Soni, Dilip (2000): Applied software architecture. Addison-Wesley: Reading.
- [23] Leff, Avraham; Rayfield, James T. (2001): Web-Application Development Using the Model / View / Controller Design Pattern. In: Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2001. Proceedings. Fifth IEEE International: Seattle, S. 118-127.
- [24] Cui, Wei et al. (2009): The Research of PHP Development Framework Based on MVC Pattern. In: Fourth International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology. IEEE: Seoul, S. 947-949.
- [25] Pitt, Chris (2012): Pro PHP MVC. Apress: Berkeley



# **MOBILITY EXPERIENCE – MOBILITÄT NUTZER- ORIENTIERT PLANEN!**

---

Prof. Dr. phil. Heidi Krömker  
Dipl.-Ing. Stephan Hörold  
Technische Universität Ilmenau

# LEBENSLAUF



Prof. Dr. phil. Heidi Krömker

Technische Universität Ilmenau, Institut für Medientechnik,  
Fachgebiet Medienproduktion,  
Institutsleiterin

1982	Studium der Soziologie an der Universität Regensburg.
1986	Promotion an der Universität Bamberg.
1987-2001	Siemens AG – Corporate Technology.
Seit 2001	TU Ilmenau – Lehrstuhl für Mensch-Technik-Interaktion Fachgebiet Medienproduktion.
Seit 2012	TU Ilmenau – Leitung des Instituts für Medientechnik.

# LEBENSLAUF



Dipl.-Ing. Stephan Hörold

Technische Universität Ilmenau, Institut für Medientechnik,  
Fachgebiet Medienproduktion,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

2009

Abschluss des Studiums der Medientechnologie (Dipl.-Ing.),  
Technische Universität Ilmenau.

2010

Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Medientechnik,  
Technische Universität Ilmenau.

2016

Promotion an der Technischen Universität Ilmenau.

Seit 2010

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Medienproduktion,  
Technische Universität Ilmenau.

# MOBILITY EXPERIENCE – MOBILITÄT NUTZERORIENTIERT PLANEN!

Prof. Dr. phil. Heidi Krömker, Dipl.-Ing. Stephan Hörold

## 1 Einleitung

Die Veränderung des Mobilitätsraums durch neue Mobilitäts- und Informationsangebote und die daraus resultierenden Möglichkeiten der Vernetzung einzelner Angebote zu individuellen Reiseketten stellen neue Anforderungen an eine nutzerorientierte Gestaltung der Mobilität. Um die Qualität der Mobilität zu verbessern und neue Angebote nahtlos in den bestehenden Mobilitätsraum einzupassen, können diese nicht mehr isoliert gestaltet werden werden, sondern ihr Beitrag zur Experience über die gesamte Reisekette muss analysiert und berücksichtigt werden. Entlang einer typischen Reisekette [1] [2] durchlaufen die Mobilitätsnutzer verschiedene Stationen, z. B. den Weg zur Haltestelle, die Fahrt im Fahrzeug sowie den Weg zum Ziel, an denen verschiedene Mobilitäts- und Informationsangebote zusammenwirken. Dabei sind für die Mobilitätsnutzung sowohl die individuellen Charakteristika der Mobilitätsnutzer [3] als auch die typischen Aufgaben [4] und Kontexte [5] entlang der Reisekette zu berücksichtigen. Die hohe Heterogenität des daraus resultierenden Nutzungskontextes [6] der Mobilität trägt zur beschriebenen Komplexität der Bestimmung und Verbesserung der Experience bei. Daher bedarf es eines übergreifenden nutzerorientierten Verständnisses und Modells, das die Vielschichtigkeit der nutzerorientierten Einflussfaktoren auf die Experience beinhaltet und dabei sowohl die Nützlichkeit als auch die Wahrnehmungen und Reaktionen der Mobilitätsnutzer beinhaltet und die Heterogenität des Nutzungskontextes abbilden kann.

## 2 Modell der Mobility Experience

Das Modell der Mobility Experience greift diese Komplexität auf und beschreibt auf vier Ebenen die Grundlagen für die nutzerorientierte Gestaltung der Mobilität. Grundlage für das Modell ist das Metamodell der Customer Experience für die Produktentwicklung [7], welches unter Integration des Nutzungskontextes für den Bereich der Mobilität adaptiert werden konnte. Die Verknüpfung von Utility (Nützlichkeit) [8], Usability (Gebrauchstauglichkeit) [6] und User Experience [6] bildet dabei die ersten drei Ebenen des Modells, die sich über die Reisekette zur Mobility Experience kombinieren lassen.

### 2.1 Utility

Die Utility ist definiert als die Fähigkeit des Systems, die für die Durchführung der Aufgabe notwendigen Funktio-

nen bereitzustellen [8]. Dabei ist nach Frese und Brodbeck das Zusammenspiel zwischen Nutzer, Aufgabe und System für die Gestaltung der Systeme ausschlaggebend [9]. Für den Mobilitätsbereich bedeutet dies, dass die Mobilitäts- und Informationsangebote neben dem grundlegenden Mobilitätsziel, also der Erreichung eines definierten Zielpunktes aus einem bestimmten Nutzungsgrund, auch die für die entlang der Reisekette entstehenden Aufgaben der Planung und Durchführung der Reise [4] notwendige Funktionalität bereitstellen müssen. Nach Nielsen ist die Utility zudem grundlegend für die Akzeptanz der Systeme verantwortlich und wird als Teil der praktischen Akzeptanz definiert [8].

### 2.2 Usability

Die DIN EN ISO 9241-210 definiert Usability als das »Ausmaß, in dem ein System, ein Produkt oder eine Dienstleistung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um festgelegte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.« [6], S. 7.

Die Erweiterung der Utility hinsichtlich der effektiven, effizienten und zufriedenstellenden Zielerreichung unter Einsatz der zuvor definierten Funktionen stellt die zweite Ebene des Modells dar. Dabei müssen die einzelnen Mobilitäts- und Informationsangebote entlang der Reisekette einfach nutzbar sein, um bspw. den eigenen Informationsbedarf [4], z. B. zur Planung der Mobilität oder Umgang mit Störungen, decken zu können.

### 2.3 User Experience

Die User Experience beinhaltet alle »Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren.« [6] S. 7. Die Verknüpfung mit der Usability erfolgt dabei über gemeinsame Kriterien sowie deren Beurteilung im Kontext der User Experience [6]. Allerdings werden der User Experience auch die Emotionen und Reaktionen sowie die Einflüsse, die u. a. aus dem Marketing und den eigenen Erfahrungen resultieren, zugeordnet [6]. Für den Mobilitätsbereich bedeutet dies, dass neben den funktionalen Aspekten auch die Erwartungen an die Mobilität und vorherige Erfahrungen unter Beachtung der Heterogenität der Mobilitätsnutzer integriert werden müssen.

## 2.4 Mobility Experience

Eine einheitliche Definition für die Mobility Experience hat sich noch nicht etabliert, obwohl das Zusammenspiel der Mobilitäts- und Informationsangebote im Mobilitätsraum, wie zuvor beschrieben, an Bedeutung gewinnt und einen hohen Einfluss auf die von den Mobilitätsnutzern wahrgenommene Qualität besitzt.

Die Mobility Experience kann über ihre Kernelemente definiert werden als [7] [10] [11]:

- Summe aller Erlebnisse der Mobilitätsnutzer mit den Mobilitätsanbietern und Mobilitätssystemen
- Ergebnis der an allen Touchpoints zwischen Mobilitätsanbietern und Mobilitätsnutzern generierten Experience
- Wirkung, die über die gesamte Dauer der Beziehung zwischen Mobilitätsanbieter und Mobilitätsnutzer entsteht
- Gesamtheit aus objektiven und subjektiven Charakteristika.

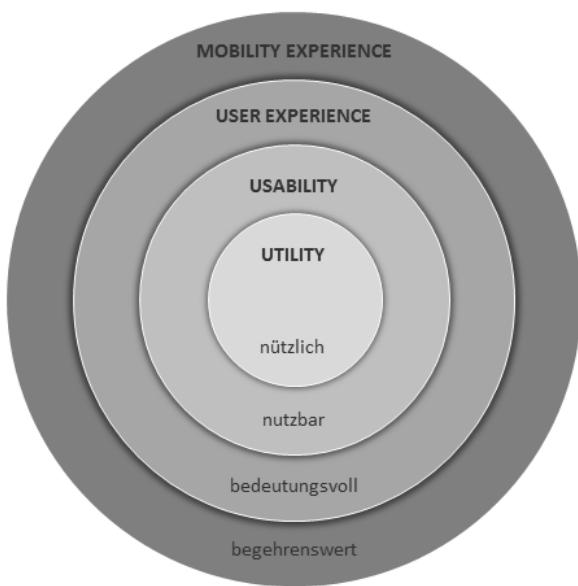


Abbildung 1: Metamodell der Mobility Experience in Anlehnung an [7] (eigene Darstellung)

Abbildung 1 zeigt das Metamodell der Mobility Experience mit den Ebenen Utility, Usability und User Experience sowie der Mobility Experience.

Dabei werden entlang des Modells die verschiedenen Bedürfnisse, Wahrnehmungen und Reaktionen nutzerorientiert abgebildet. Tabelle 1 zeigt diese Abbildung auf die vier Ebenen des Modells. Auf Seite der Anbieter müssen die Ebenen entlang der Abteilungen und Prozesse, u.a. von der Forschung und dem Engineering der Systeme über das Design bis hin zum Marketing, Vertrieb und Kundenservice, verankert werden, um eine durchgängige Mobility Experience zu gewährleisten.

Entlang der Reisekette etabliert sich das Modell an den Stationen und über die gesamte Reisekette hinweg. So tragen die einzelnen Stationen der Reisekette über die Ebenen der Utility, Usability und User Experience zur Mobility Experience als Summe aller Erlebnisse bei. Die Stationen der Reisekette stellen dabei die Touchpoints dar, an denen die Experience über den Kontakt zwischen Mobilitätsanbieter und -nutzer generiert wird.

## 3 Gestaltung der Mobility Experience

Die Gestaltung der Mobility Experience setzt die Kenntnis über die heterogenen Mobilitätsnutzer, ihrer Ziele und Anforderungen voraus. Nur so können Mobilitätsangebote in Zukunft flexibel gestaltet und auf die individuellen Bedürfnisse der Mobilitätsnutzer ausgerichtet werden. Einen wesentlichen Beitrag hierzu leisten auch Mobilitätsinformationssysteme, die den Mobilitätsnutzern einen einfachen Zugang zur individuellen Mobilität bereitstellen und zukünftig noch stärker vernetzt werden müssen.

### 3.1 Methoden

Für die Gestaltung der Mobility Experience können die Methoden der nutzerzentrierten Entwicklung eingesetzt werden. Diese beinhalten sowohl die systematische Analyse des Nutzungskontextes und die Ableitung der nutzerorientierten Anforderungen als auch die Entwicklung und Evaluation der Systeme.

	Utility	Usability	User Experience	Mobility Experience
Bedürfnis	funktional	nutzbar zuverlässig bequem	Angenehm bedeutungsvoll	begehrswert
Wahrnehmung	Funktion	Ergonomie	Symbolik Ästhetik	Marke Darstellung Kommunikation
Reaktion	physisch	kognitiv	emotional	Neugier Stimulation Motivation

Tabelle 1: Nutzerseitige Integration des Modells über Bedürfnis, Wahrnehmung und Reaktion in Anlehnung an [7]

Dabei müssen die Methoden u. a. entsprechend

- der konkreten Gestaltungs- und Untersuchungsziele,
  - des Untersuchungsgegenstandes sowie
  - des konkreten Anwendungskontextes
- ausgewählt werden.

Das zur Verfügung stehende Methodenset beinhaltet

u. a. die folgenden Methoden:

- Contextual Inquiry,
- Beobachtungen,
- Fokusgruppen,
- Personas,
- Szenarien,
- Storyboards,
- Prototyping,
- Walkthroughs,
- Usability-Testing,
- Expertenreviews,
- Heuristiken und Checklisten

Die klare Definition des Nutzungskontextes und Kommunikation im Entwicklungsteam sind Voraussetzung für die Gestaltung der Mobility Experience.

### 3.2 Fallbeispiel Fahrgastinformation

Der Nutzungskontext des öffentlichen Personenverkehrs ist durch eine hohe Heterogenität der Nutzer, Aufgaben und Systeme sowie der Umgebung entlang der Reisekette gekennzeichnet. Die Etablierung einer hohen Mobility Experience bedarf deshalb in einem ersten Schritte der nutzerzentrierten Analyse des Nutzungskontextes.

Für die Mobilitätsnutzer kann diese Analyse anhand der folgenden Charakteristika erfolgen [3]:

- Fähigkeiten und Eigenschaften, u. a. Orts- und Systemkenntnis sowie Mobilitätseinschränkungen,
- Nutzungsvoraussetzungen und -hintergrund, u. a. Nutzungsgrund, Ticket, Reisezeitpunkt,
- Nutzungsaktivität, u. a. Nutzungs frequenz, Flexibilität und Ablenkungsgrad und
- Einstellung, u. a. Präferenzen, Erwartungen und Erfahrungen.

Die Beschreibung der Mobilitätsnutzer entsprechend der analysierten Charakteristika kann u. a. in Form von Personas [12] [13] erfolgen, die für die Gestaltung der Systeme und Mobility Experience eine leicht verständliche Basis darstellen. Die Personas für den öffentlichen Personenverkehr von Mayas et al. zeigen eine Möglichkeit, wie dies für die Entwicklung neuer Systeme umgesetzt werden kann [14].

Die spezifische Kenntnis über die Aufgaben entlang der Reisekette sowie den daraus resultierenden Informations-

bedarf [4] in Kombination mit den statischen und dynamischen Umgebungs faktoren [5] erweitern die Analyse des Nutzungskontextes. Dabei sind für die Umgebung insbesondere die aus dem Ort, der Zeit, der Umwelt sowie der sozialen Umgebung resultierenden Einflüsse zu berücksichtigen, die zu einer Veränderung des Kontextes beitragen [5] und die Mobility Experience beeinflussen.

Auf dieser Basis kann die Gestaltung einzelner Systeme sowie deren Zusammenspiel entlang der Reisekette im Sinne der Mobility Experience erfolgen. Dabei zeigen Analysen der Nutzung von Informationssystemen im öffentlichen Personenverkehr auf, dass sich die Mobilitätsnutzer einer Vielzahl von Systemen bedienen, um den eigenen Informationsbedarf zu decken bzw. Informationen zu verifizieren [15]. Dies bedeutet, dass das Zusammenspiel der Einzelsysteme für die Gestaltung sowie die Mobility Experience eine hohe Relevanz besitzt. Die Integration neuer Systeme bedarf deshalb immer einer genauen Analyse der Wechselwirkung an den Stationen der Reisekette sowie über die gesamte Reisekette hinweg.

Die nutzerzentrierte Entwicklung von Systemen unter Berücksichtigung der beschriebenen Ansätze zur Steigerung der Utility, Usability, User Experience sowie Mobility Experience erfolgte u. a. in den Projekten zur elektronischen Aushanginformation [16], dynamischen Agenda planung [17] sowie flexiblen Dienstleistungssystemen [18]. Erste Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Akzeptanz neuer Mobilitätsinformationssysteme durch eine nutzerorientierte Fokussierung und die Integration der vier Ebenen des Metamodells gesteigert werden kann und dabei die Anforderungen der heterogenen Mobilitätsnutzer und unterschiedlichen Aufgaben systematisch berücksichtigt werden können.

## 4 Diskussion und Ausblick

Der Ansatz zur Definition eines Metamodells für die Mobility Experience zeigt, dass das Zusammenspiel der Utility, Usability und User Experience für die nutzerzentrierte Qualität der Mobilität eine hohe Relevanz aufweist. Die jeweilige Zielstellung für die einzelnen Bereiche kann zwar aus den Definitionen sowie den etablierten Verfahren und Methoden der nutzerzentrierten Entwicklung abgeleitet werden, die nutzerseitige Gewichtung der einzelnen Ebenen sowie das Zusammenspiel innerhalb der Mobility Experience muss jedoch noch weiter analysiert und spezifiziert werden.

Der aus der Customer Experience adaptierte Ansatz der Mobility Experience zeigt in ersten Studien im öffentlichen Personenverkehr bereits ein hohes Potenzial, um die hohe Komplexität des Anwendungsfeldes anhand des Metamodells sowie der Analyse des Nutzungskontextes zu strukturieren und sowohl die einzelnen Bestandteile der Reisekette als auch die Experience entlang der gesamten Reisekette nutzerorientiert zu fokussieren.

Weiterführende Arbeiten müssen die grundlegenden Anforderungen an eine hohe Mobility Experience definieren und die damit verknüpften Prozesse insbesondere auf Ebene der Mobilitätsinformation sowie der Mobilitätsservices analysieren, um Qualitätsmerkmale zu identifizieren und für die Gestaltung und Evaluation weiter zu operationalisieren.

## 5 Acknowledgement

Teile dieser Arbeiten wurde gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01FE14033 innerhalb des Forschungsprojektes Move@ÖV – Intelligentes Dienstleistungssystem »Elektromobilität«.

## 6 Literatur

- [1] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen: Telematik im ÖPNV in Deutschland, Alba Fachverlag, Düsseldorf, 2001.
- [2] Hörold, S.; Mayas, C.; Krömker, H.: User-oriented development of information systems in public transport. In Anderson, M. (Hrsg.): Contemporary Ergonomics and Human Factors 2013, CRC Press, Boca Raton, 2013, S. 160-167.
- [3] Mayas, C.; Hörold, S.; Krömker, H.: Meeting the Challenges of Individual Passenger Information with Personas. In Stanton, Neville A. (Hrsg.): Advances in Human Aspect of Road and Rail Transportation, CRC Press, Boca Raton, 2013, S. 822-831.
- [4] Hörold, S.; Mayas, C.; Krömker, H.: Identifying the information needs of users in public transport. In Stanton, N.A. (Hrsg.): Advances in Human Aspect of Road and Rail Transportation, CRC Press, Boca Raton, 2013, S. 331-340.
- [5] Hörold, S.; Mayas, C.; Krömker, H.: Analyzing varying environmental contexts in public transport. In Kurosu, M.. (Hrsg.): Human-Computer Interaction. Human-Centred Design Approaches, Methods, Tools, and Environments. Lecture Notes in Computer Science Volume 8004, Springer, Heidelberg (2013), S. 85-94.
- [6] DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010), Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010.
- [7] Schulze, K., Krömker, H.: Customer Experience und User Experience interaktiver Produkte - ein Metamodell für die Produktentwicklung. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Vol. 67, No. 2, 2013 S. 105-111.
- [8] Nielsen, J.: Usability Engineering, Morgan Kaufmann, 1993.
- [9] Frese, M., Brodbeck, F. C.: Computer in Büro und Verwaltung: psychologisches Wissen für die Praxis, Springer Verlag, Berlin, 1989.
- [10] Meyer, C.; Schwager, A.: Understanding Customer Experience. In: Harvard Business Review, Vol. 85, No. 2, 2007, S. 116-126.
- [11] Bruhn, M.; Hadwich, K.: Customer Experience – Eine Einführung in die theoretischen und praktischen Problemstellungen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Customer Experience - Forum Dienstleistungsmanagement. Springer Gabler, 2012, S. 3-36.
- [12] Cooper, A.: The inmates are running the asylum. Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity. Macmillan, New York, 1999.
- [13] Cooper, A., Reimann, R., Cronin, D.: About face 3: the essentials of interaction design. Ind.: Wiley, Indianapolis, 2007.
- [14] Mayas, C.; Hörold, S.; Krömker, H. (Hrsg.): Internet Protokoll basierte Kommunikationsdienste im öffentlichen Verkehr: Das Begleitheft für den Entwicklungsprozess – Personas, Szenarios und Anwendungsfälle aus AK2 und AK3 des Projektes IP-KOM-ÖV. Elektronische Veröffentlichung: urn: nbn:de:gbv:ilm1-2012200028, 2012.
- [15] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen: VDV-Mitteilung 7035: Nutzerorientierte Gestaltungsprinzipien für mobile Fahrgastinformation, 2014.
- [16] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen: VDV-Mitteilung 7036: User Interface Design für die elektronische Aushanginformation, 2014.
- [17] DynAPSys - Dynamisches Agendaplanungssystem, URL: <http://dynapsys.de>, Stand: 05/2016.
- [18] Move@ÖV – Intelligentes Dienstleistungssystem »Elektromobilität«, URL: <http://move-at-oev.de>, Stand: 05/2016.



# **ANFORDERUNGEN VON PRODUKTIONSPLANERN AN DIE SIMULATION – DISCRETE- RATE-SIMULATION ALS ERGÄNZUNG ZUR EREIGNIS- DISKREten SIMULATION IN DER PRODUKTION- PLANUNG?**

---

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christian Schauf  
Volkswagen AG, Wolfsburg

# LEBENSLAUF



Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christian Schauf

Volkswagen AG Wolfsburg,  
Doktorand

- |         |   |
|---------|---|
| 10/2005 | Diplomstudium des Wirtschaftsingenieurwesens Maschinenbau an der TU Braunschweig mit der Fachrichtung Produktions- und Systemtechnik.   |
| 04/2010 | Ingenieurpraktikum im Bereich Digitale Fabrik bei der Shanghai Volkswagen Automotive Co., Ltd.  |
| 06/2011 | Praktikum und Diplomarbeit im Bereich Planungssteuerung bei der Volkswagen AG Wolfsburg.  |
| 05/2012 | Planungsingenieur mit Schwerpunkt Simulation bei der Voith Engineering Personnel Services GmbH & Co. KG.  |
| 10/2013 | Doktorand in der Abteilung Strategische Fertigungsflussplanung und -simulation der Volkswagen AG Wolfsburg und beim Institut für Logistik und Materialflusstechnik der Universität Magdeburg. |

# ANFORDERUNGEN VON PRODUKTIONSPLANERN AN DIE SIMULATION – DISCRETE-RATE-SIMULATION ALS ERGÄNZUNG ZUR EREIGNISDISKREten SIMULATION IN DER PRODUKTIONSPLANUNG?

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christian Schauf

## 1 Motivation

Ein Unternehmen hat aus praktischer Sicht drei Formalziele, welche aufeinander aufbauen [1], S. 11:

- Produktivität,
- Wirtschaftlichkeit und
- Rentabilität.

Jeder Bereich eines Unternehmens kann zu diesen Zielen seinen Beitrag leisten. Im Bereich der Produktionsplanung hat sich das Frontloading aufgrund signifikanter Vorteile etabliert, bei dem Prozesse der Planung in die Anfangsphase eines Projektes vorverlegt werden. Dies lässt sich durch die Methoden der Digitalen Fabrik unterstützen, zu denen auch die Simulation gehört [2], S. 377. Die daraus resultierenden Änderungen werden so früh wie möglich abgesichert und digital beschrieben, sodass zukünftige Kosten vermieden werden können [3], S. 182, [4], S. 119. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass dieser ideale Prozess nicht immer möglich ist. Damit die Simulation die Entscheidungsfindung unterstützen kann, müssen die Ergebnisse zu bestimmten Meilensteinen vorliegen. Durch Parallelisierung und dem der Planung innenwohnenden kreativen Prozess ergeben sich spontane Fragestellungen, welche sich kurzfristig nicht mit Simulationen beantworten lassen, da deren Erstellung einen zu hohen Zeitbedarf erfordert.

Weiterhin kann es innerhalb der Phasen einer Simulationsstudie zu Verzögerungen kommen. Beispielhaft seien hier die Zieldefinition, Daten und Simulationsdurchführung genannt. Ein klar formuliertes und von allen Beteiligten akzeptiertes Ziel der Simulationsstudie ist von großer Bedeutung um eine einheitliche Basis für zukünftige Arbeiten zu schaffen. Missverständnisse oder unkonkrete Formulierungen zeigen im Verlauf der Studie Auswirkungen, hierfür sind wiederholte Diskussionen und Mehrarbeit Beispiele. Die Datensammlung und -auswertung kann eine längere Zeit in Anspruch nehmen als ursprünglich geplant wurde, falls bestimmte Daten nicht in der erwarteten Qualität vorliegen und zunächst eigene Erhebungen durchgeführt werden müssen. Zusätzlich können sich die angewandten Algorithmen und die zugrunde liegende

Datenbasis signifikant auf die Dauer der Simulationsläufe auswirken.

In diesen Fällen gilt es abzuwägen, inwiefern die Weiterführung der Simulationsstudie sinnvoll ist bzw. durch welche Maßnahmen sich das Ziel noch erreichen lässt. Ziel sollte es jedoch sein, potentielle Verzögerungen im Vorhinein zu identifizieren um geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Eine Möglichkeit hierfür besteht in der Anwendung eines Simulationsparadigmas, das auf die geschilderte Fragestellung zugeschnitten ist und dabei die Anforderungen der Produktionsplaner berücksichtigt. Die Integration von unterschiedlichen Detaillierungsgraden kann hierbei die erforderliche Zeit zur Vorbereitung und Durchführung der Simulationsstudie erheblich reduzieren.

## 2 Simulation

Bei der Simulation handelt es sich um das Nachbilden eines real existierenden oder geplanten Systems in einem Modell. Der Erkenntnisgewinn in der virtuellen Umgebung kann auf die Planung und Realität übertragen werden [5], S. 3.

### 2.1 Simulation in der Automobilindustrie

In der Automobilindustrie beschreibt der Begriff »Werksimulation« die Abbildung der gewerkeübergreifenden Prozesskette innerhalb der Fabrik. Diese umfasst neben den Gewerken Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei, Montage und verbindender Fördertechnik auch die Auftragsentstehung und -fertigung. Somit lassen sich sowohl ganzheitliche als auch detaillierte Fragestellungen zum Karosserie- und Auftragsfluss untersuchen [6], S. 5-8. In Abbildung 1 sind die Phasen innerhalb einer Simulationsstudie dargestellt [7], S. 6.

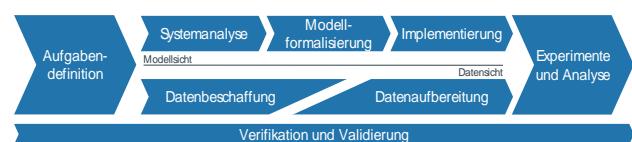


Abbildung 1: Vorgehensmodell einer Simulationsstudie  
(eigene Darstellung)

Nach der Aufgabendefinition, bei der die Ziele der Simulationsstudie festgelegt werden, erfolgt die parallele Bearbeitung der Bereiche Modell und Daten. Diese stehen in Wechselwirkung zueinander. So ist beispielsweise für die Systemanalyse oft ein Layout notwendig bzw. es ergibt sich aus der Analyse ein zusätzlicher Bedarf an Daten. Abschließend erfolgen Experimente und Analysen im simulierten System. Parallel bestätigt eine fortlaufende Verifikation und Validierung der jeweiligen Phasenergebnisse die Glaubwürdigkeit des Modells [8], S. 2-7.

## 2.2 Simulationsparadigmen

Die Discrete-Event-Simulation (DES) oder Ereignisdiskrete Simulation wird im Bereich der Logistik am häufigsten angewendet. Durch die Abbildung von einzelnen Objekten werden der Materialfluss und die Ressourcennutzung dargestellt. Die Änderungen des Systemzustandes werden durch Ereignisse hervorgerufen. Dadurch ist ein beliebiger Detaillierungsgrad möglich, der zu umfangreichen Modellen mit hohem Aufwand für die Modellerstellung und -berechnung führen kann [9], S. 22.

Die Discrete-Rate-Simulation (DRS) als relativ junger Ansatz bildet Materialflussprozesse eines realen Systems durch lineare kontinuierliche Prozesse ab. Zustandsänderungen werden wie bei der DES durch Ereignisse realisiert [9], S. 27f. Da keine einzelnen Objekte abgebildet werden, reduziert sich die Simulationsdauer, sodass die DRS in Logistiknetzwerken mindestens genauso schnell wie die DES ist [10], S. 2067f. Ob sich dieser Effekt auf die Werkssimulationen in der Automobilindustrie übertragen lässt wird im Folgenden diskutiert.

## 3 Umfrage

Die Simulationsstudien sind im Bereich der Produktionsplanung Teil eines Planungsprojektes und werden bedarfsoorientiert durchgeführt. Somit ist das Ziel der Umfrage die Ermittlung von Anforderungen der Produktionsplaner an die Simulation.

### 3.1 Aufbau und Durchführung der Umfrage

Es handelt sich um eine schriftliche Umfrage mit einem Umfang von drei DIN A4 Seiten. Die Schriftlichkeit wurde gewählt, um Verfälschungen durch den Interviewer zu vermeiden [11], S. 90. Die relevanten Forschungsthemen wurden in neun Fragen präzisiert, um eine hohe Rücklaufquote zu erzielen. Die Umfrage enthält sowohl Multiple Choice Antworten als auch freie Antwortmöglichkeiten. Leichte und geschlossene Fragen sind vor schweren und offenen Fragen angeordnet. Den Abschluss des Fragebogens bildet die einzige offene Frage, bei welcher der Produktionsplaner zusätzliche, noch nicht erwähnte, Aspekte angeben kann [12], S. 27, [13], 11.3.1.

Der Fragebogen gliedert sich in die folgenden Bereiche:

- Aktueller Einsatz der Simulation,

- Anforderungen bei Simulationsstudien,
- Relevante Fragestellungen aus Planungssicht und
- Wünsche für zukünftige Simulationsstudien.

Von 50 versendeten Fragebögen innerhalb der Planung Marke Volkswagen wurden 29 vollständig ausgefüllt, sodass eine Rückläuferquote von 58 % vorliegt.

### 3.2 Ergebnisse der Umfrage

Zunächst ist die Frage zu klären, ob Simulation aus Sicht der Produktionsplaner ein wichtiges Planungswerkzeug ist. Erst wenn die Akzeptanz bei den Auftraggebern vorhanden ist, kann die Simulation im Rahmen des Frontloadings sinnvoll angewendet werden.

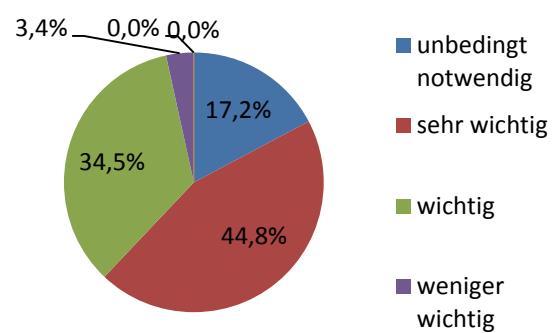


Abbildung 2: Frage: »Für wie bedeutend halten Sie die Integration der Simulation in die Planungsabläufe?« (eigene Darstellung)

Mit insgesamt 96,6 % der Nennungen wird die Simulation als mindestens wichtig für die Planungsabläufe eingestuft (vgl. Abbildung 2). Somit stellt die Simulation ein essentielles Werkzeug für die Produktionsplanung der Marke Volkswagen dar.

Eine weitere wesentliche Frage bezieht sich auf die Dauer der Simulationsstudien, die bisher in der Produktionsplanung bei Volkswagen durchgeführt wurden (vgl. Abbildung 3).

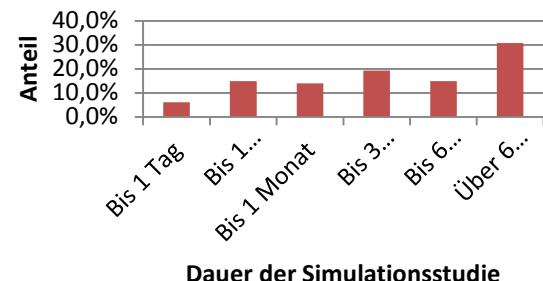
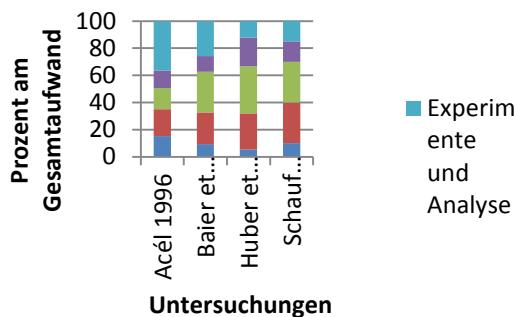


Abbildung 3: Frage: »Wie häufig wurden Simulationsstudien mit einer unten genannten Dauer durchgeführt?« (eigene Darstellung)

Einen geringen Anteil haben Studien mit einer Dauer von einem Tag. Diese sind erfahrungsgemäß sehr grobe Abbildungen von Fabriken mit einfachen Repräsentationen der Produktionsbereiche Karosseriebau, Lackiererei und Montage oder kleine ausgewählte Bereiche, z. B. zur

Ermittlung der Ausbringung in Abhängigkeit der Anlagenverfügbarkeit. Des Weiteren können hierunter die reinen Simulationsläufe mit neuen Parametersets bei vorhandenen Simulationsmodellen verstanden werden. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass die häufigsten Simulationsstudien eine Dauer von über einem Monat haben. Dabei lässt sich hervorheben, dass Simulationsstudien am häufigsten einen Zeitraum von über sechs Monaten beanspruchen.

Um einen genaueren Einblick in die Simulationsdauer zu erhalten, wurden die Zeiten der einzelnen Phasen einer Simulationsstudie ermittelt und mit vorhergehenden Untersuchungen in Abbildung 4 miteinander verglichen [14], S. 29.



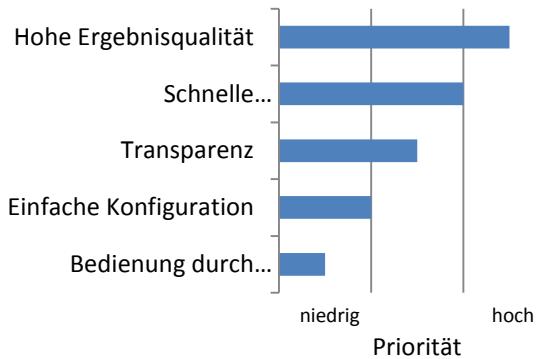
*Abbildung 4: Frage: »Wie ist die zeitliche Aufwandsverteilung in Prozent?« (eigene Darstellung)*

Seit Mitte der 1990er Jahre ist der relative Anteil der Experimente und Analysen einer Simulationsstudie am Gesamtaufwand zurückgegangen; mit der vorliegenden Umfrage ist nur eine leichte Erhöhung dieses Anteils zu verzeichnen. Dieser Anteil entspricht der eigentlichen Wertschöpfung der Simulation und sollte daraus folgend möglichst hoch sein [15], S. 16. Weiterhin entspricht der Anteil der Datensammlung, -aufbereitung und Modellerstellung mittlerweile 60% des Gesamtaufwandes einer Simulationsstudie. Eine lange Datensammlung spricht aber nicht zwangsläufig für eine gute Datenqualität. Darüber hinaus kann das Sammeln von vielen Daten auch dazu führen, dass der Aufwand der Modellerstellung durch die Implementierung zusätzlicher Informationen steigt. Eine sehr gute Kenntnis über das zu modellierende System kann weiterhin dazu führen, dass der Detaillierungsgrad des Modells steigt, da sich möglichst genau an die Realität angenähert werden soll. Dabei bleibt außer Acht, dass eine Erhöhung des Detaillierungsgrades ab einem gewissen Punkt kaum mehr positive Auswirkungen auf die Ergebnisqualität hat. Vielmehr wird das Modell genauso schwer zu verstehen und zu beherrschen sein wie der reale Prozess, sodass die Ergebnisqualität sinkt [16], S.135, [17].

Weiterhin ergeben sich bei der Datensammlung Wartezeiten, falls Daten zunächst erhoben werden müssen oder der Lieferant zunächst identifiziert werden muss und diese Daten für das Weiterarbeiten notwendig sind.

Hier gibt es dementsprechend Handlungsbedarf bei der Identifikation tatsächlich notwendiger Daten für eine spezielle Fragestellung.

Bei der folgenden Frage handelt es sich um die Priorisierung der Anforderungen von Produktionsplanern an ein Simulationsmodell (vgl. Abbildung 5). Hierbei zeigt sich die praktische Relevanz der Auseinandersetzung mit dem Thema Ergebnisqualität.

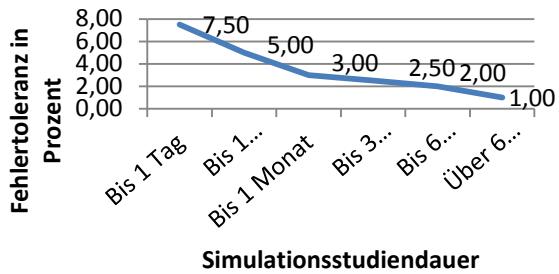


*Abbildung 5: Frage: »Bitte priorisieren sie ihre Anforderungen an ein Simulationsmodell!« (eigene Darstellung)*

Durch die niedrige Priorisierung von »Bedienung durch Fachplaner« und »Einfache Konfiguration« wird ersichtlich, dass die Simulationsdurchführung weiterhin ein Expertenthema ist, während für die anfragenden Produktionsplaner die Ergebnisse primär von Bedeutung sind. Die mittlere Einstufung der Transparenz macht jedoch deutlich, dass die Möglichkeit bestehen muss, die Modellierung und die Ergebnisse mit vertretbarem Aufwand zu überprüfen. Als wichtigste Anforderungen wurden »Schnelle Ergebnisbereitstellung« und »Hohe Ergebnisqualität« genannt. Dies sind in der Regel konkurrierende Anforderungen.

Mit der Frage zur Fehlertoleranz soll ein erster Ansatz zur Lösung gegeben werden. Abbildung 6 zeigt, dass erwartungsgemäß bei geringer Studiendauer die Fehlertoleranz am größten ist und mit zunehmender Dauer sinkt. Die hohe Fehlertoleranz bei kurzen Studiendauern kann dem Fakt entsprechen, dass eine tendenzielle Einschätzung besser angesehen wird als keine. Die Fehlertoleranz fällt auch bei einer Studiendauer von über sechs Monaten nicht auf den Wert Null, sodass Wissen über die Natur der Modellbildung vorhanden ist: »All models are wrong, but some are useful.« [18], S. 247.

Bei der Ermittlung von bereits durch die Simulation beantworteten Fragestellungen wird eine Klassifikation nach der DIN 3633 gewählt [5], S. 4f, deren Anwendung mit ausgewählten Klassen in Abbildung 7 aufgeführt ist. Die weitere Gliederung ist selbstgewählt. Neben diesen Klassen ist eine weitere notwendig, um Fragestellungen im Bereich der Reihenfolgeuntersuchungen abzubilden. Hierfür sind Perlenkettengüte und Tagesscheibentreue beispielhaft [19], S. 452.



**Abbildung 6:** Frage: »Welche Fehlertoleranz ist aus ihrer Sicht in Abhängigkeit der Zeitspanne akzeptabel?« (eigene Darstellung)

Die häufigsten Nennungen haben Fragestellungen zur Dimensionierung von Speichern, Produktionsanlagen und Lastaufnahmemitteln erhalten. Darüber hinaus sind Untersuchungen zum Durchsatz von Produktionsanlagen oder ganzen Fabriken sowie Steuerungsstrategien von Bedeutung. Des Weiteren wurden Fragestellungen ermittelt, die in Zukunft aus Sicht der Produktionsplaner von besonderer Bedeutung sein werden. Folgende Aufzählung soll einen ersten Eindruck ermöglichen:

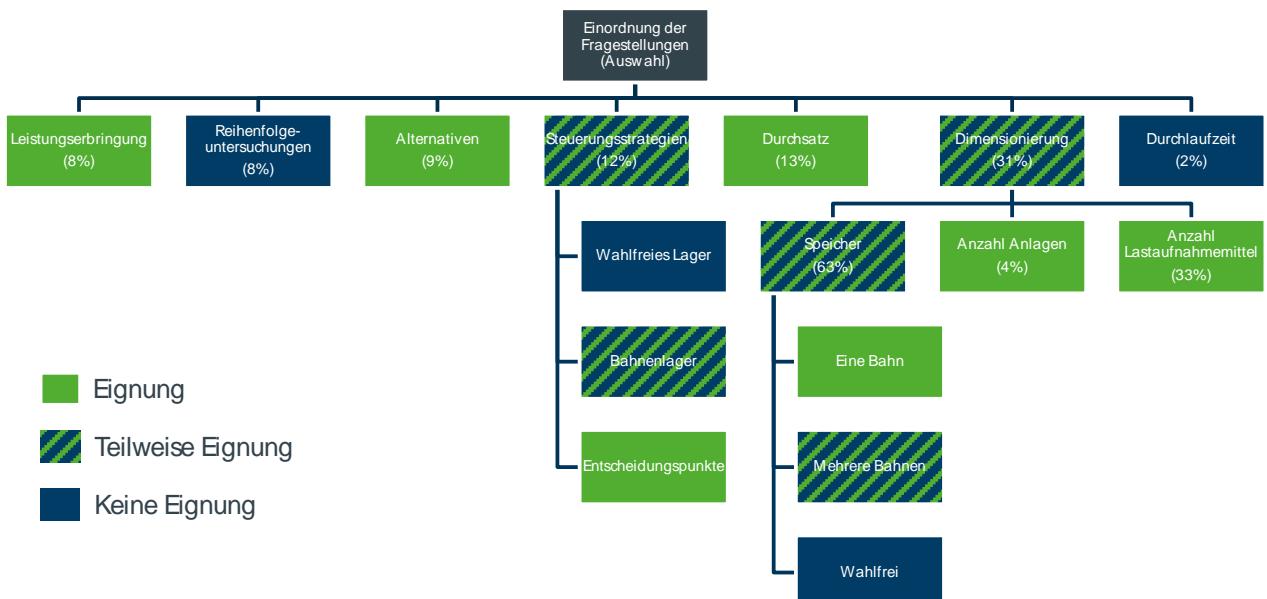
- Reihenfolgeuntersuchungen,
- Steuerungsstrategien,
- Dimensionierung und
- Durchsatz.

Weitere Wünsche umfassen die Bereitstellung von zusätzlichen Ressourcen für Simulationsprojekte, die Erhöhung der Ergebnisqualität und die schnelle Ergebnisbereitstellung.

#### 4 Eignung der Discrete-Rate-Simulation für die Produktionsplanung

In wird eine erste Einschätzung zur Eignung der Discrete-Rate-Simulation für die Produktionsplanung gegeben. Dabei bedeutet »Eignung« zunächst, dass die Bearbeitung dieser Klasse an Fragestellungen grundsätzlich möglich ist. Es wird kein Anspruch darauf erhoben, dass jede denkbare Fragestellung oder Kombinationen aus verschiedenen Klassen an Fragestellungen mit der DRS bearbeitet werden können.

Reihenfolgeuntersuchungen und die Bestimmung der Durchlaufzeit sind aufgrund der DRS zugrunde liegenden Methodik nicht durchführbar, da dies die Auswertung von jedem einzelnen Fahrzeug erfordern würde. Für die Steuerungsstrategien eines wahlfreien Lagers und für dessen Dimensionierung sind umfangreiche Informationen über die Eigenschaften des Fahrzeugs sowie der physischen und informationstechnischen Gegebenheiten des Lagers notwendig. Dies ist zurzeit mit dem Ansatz der Discrete-Rate-Simulation nicht sinnvoll abbildbar. Dagegen ist es bei der Modellierung eines Lagers mit mehreren Bahnen von der Fragestellung und Steuerung abhängig, ob die DRS eingesetzt werden kann. Bei einer Durchsatzbetrachtung ohne besondere oder mit einfachen Steuerstrategien wie einer gleichverteilten Gassenwahl ist es indes möglich. Bei komplizierten Strategien auf Basis von mehreren Eigenschaften der Fahrzeuge werden die Grenzen des Ansatzes hingegen erreicht.



**Abbildung 7:** Frage »Welche Fragestellungen werden bereits durch Simulation beantwortet?« sowie Eignung der Discrete-Rate-Simulation für den jeweiligen Fragenkomplex (eigene Darstellung)

Für Fragestellungen im Rahmen der Durchsatzuntersuchungen eignet sich der Ansatz, wie die folgenden Ausführungen zeigen.

Bei Beispiel eins (Abbildung 8) handelt es sich um ein einfaches System aus Quelle, Senke und einer Produktionsanlage mit Taktzeit und Verfügbarkeit. Hierbei soll die Geschwindigkeit der Simulation in Abhängigkeit der Anlagenstörungen ermittelt werden. Verglichen wird die Discrete-Rate-Simulation mit der Discrete-Event-Simulation mit und ohne dem in der Automobilindustrie häufig genutzten VDA Automotive Baustein (VDA BSK).

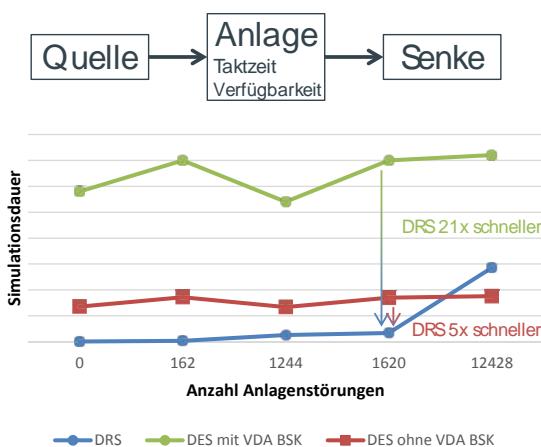


Abbildung 8: Vergleich der Simulationsdauern in Abhängigkeit der Anlagenstörungen (eigene Darstellung)

Der Abbildung 8 ist zu entnehmen, dass die Dauer eines Simulationslaufes beim Einsatz der DRS stärker von der Anzahl der Anlagenstörungen abhängt als bei der DES. Die Eignung der DRS für einen Bereich ist somit abhängig von der Anzahl der Objekte mit Verfügbarkeit und der Zusammensetzung ebendieser aus mittlerer Reparaturzeit und mittlerer Betriebsdauer zwischen den Ausfällen. In Bereichen wie der Montage können so signifikante Geschwindigkeitsgewinne gegenüber der DES erzielt werden.

Das Beispiel zwei (Abbildung 9) beschreibt ein System mit Quelle, Senke und einem Anlagenbereich mit Taktzeit. Hierbei wird der Anlagenbereich um einen Skidkreislauf ergänzt, sodass die Ausbringung der Anlage sowie die Simulationsdauer in Abhängigkeit der Skidanzahl bestimmt werden können. Da für die Modellierung eines Skidkreislaufs ein eigener Baustein für die DRS entwickelt wurde, werden in diesem Beispiel nur die Simulationsparadigmen mit dem jeweiligen Baustein verglichen.

Der Abbildung 9 ist zu entnehmen, dass die Simulationsdauer der DES kontinuierlich mit der Anzahl der Skids ansteigt und bei 15 Skids den Höchststand erreicht, um danach leicht zurückzugehen.

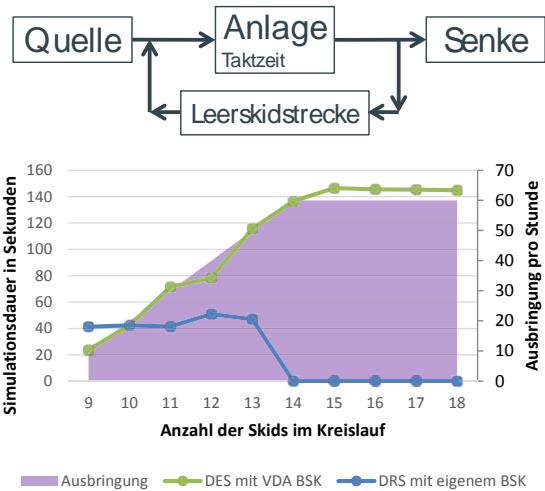


Abbildung 9: Vergleich der Simulationsdauern in Abhängigkeit der Skidanzahl (eigene Darstellung)

Die Simulationsdauer der DRS ist zu Beginn annähernd konstant und sinkt bei Erreichen der minimal benötigten Skidanzahl für die Sollausringung stark ab. Die Ergebnisse der Ausbringung unterscheiden sich um weniger als 1 Promille, wobei die Discrete-Rate-Simulation die exakten Werte berechnete. Somit eignet sich die DRS sehr gut für die Simulation von Skidkreisläufen.

An Hand der Beispiele wird deutlich, dass die Discrete-Rate-Simulation bei kontinuierlichen Materialflüssen wesentlich schneller als die Discrete-Event-Simulation zu akzeptablen Ergebnissen führt.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Simulation wird in der Produktionsplanung als sehr wichtiges Werkzeug angesehen. Dabei ist festzustellen, dass die Simulationsdurchführung weiterhin ein Expertenthema ist; für Produktionsplaner sind primär schnelle und gute Ergebnisse von Bedeutung. Hierbei wird je nach Schnelligkeit der Ergebnisbereitstellung eine Fehlertoleranz von bis zu 7,5 % akzeptiert. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Discrete-Rate-Simulation signifikante Geschwindigkeitsvorteile bei geeigneten Fragestellungen ermöglicht.

In den folgenden Schritten sind weitere Einsatzgebiete der DRS zu ermitteln. Darauf aufbauend wird eine Entscheidungshilfe zur Auswahl eines Simulationsparadigmas entwickelt. Hierbei werden sowohl die zu bearbeitende Fragestellung als auch projektabhängige Entscheidungskriterien berücksichtigt.

## 6 Literatur

- [1] Beyer, Horst-Tilo: Einführung zur Betriebswirtschaftslehre für Existenzgründer. Online verfügbar unter [http://www.economics.phil.uni-erlangen.de/lehre/bwl-archiv/exist\\_gr/uziele.pdf](http://www.economics.phil.uni-erlangen.de/lehre/bwl-archiv/exist_gr/uziele.pdf), zuletzt geprüft am 31.01.2015.
- [2] Bracht, Uwe; Wenzel, Sigrid; Geckler, Dieter (2009): Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. Berlin: Springer.
- [3] Hab, Gerhard; Wagner, Reinhard (2013): Projektmanagement in der Automobilindustrie. Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der Wertschöpfungskette. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer.
- [4] Ovtcharova, Jivka; Häfner, Polina; Katicic, Jurica; Häfner, Victor; Vinke, Christina (2015): Innovation braucht Resourceful Humans - Aufbruch in eine neue Arbeitskultur durch Virtual Engineering. In: Alfons Bothof und Ernst Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Aufl. 2015. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 111–124.
- [5] Norm VDI 3633 Blatt 1 (1993): Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen.
- [6] VDA Empfehlung 4810 (2011): Ausprägung der Logistiksimulationen.
- [7] Wenzel, Sigrid; Collisi-Böhmer, Simone; Pitsch, Holger; Röse, Oliver; Weiß, Matthias (2008): Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik. Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Berlin Springer.
- [8] Wenzel, Sigrid; Rabe, Markus; Spieckermann, Sven (2006): Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Vorgehensmodelle und Techniken. Berlin: Springer.
- [9] Reggelin, Tobias (2011): Mesoskopische Modellierung und Simulation logistischer Flusssysteme. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität.
- [10] Terlunen, Sebastian; Horstkemper, Dennis; Hellingrath, Bernd (2014): Adaption of the discrete rate-based simulation paradigm for tactical supply chain decisions. In: Tolk, Andreas, et al (Hg.): Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference.
- [11] Helten, Elmar; Koolwijk, Jürgen; Albrecht, Günter (1974): Statistische Forschungsstrategien. München: Oldenbourg.
- [12] Schulz, Marlen; Renn, Ortwin (2009): Das Gruppendelphi. Konzept und Fragebogenkonstruktion. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- [13] Butz, Andreas (2012): Mensch-Maschine-Interaktion. München: Oldenbourg.
- [14] Huber; Wenzel, Sigrid (2011): Trends und Handlungsbedarfe der Ablaufsimulation in der Automobilindustrie. In: Industrie Management 27 (5), S. 27–30.
- [15] Mayer, Gottfried; Pöge, Carsten (2013): Quo vadis Ablaufsimulation – Eine Zukunftsvision aus Sicht der Automobilindustrie. In: Wilhelm Dangelmaier, Christoph Laroque und Alexander Klaas (Hg.): Simulation in Produktion und Logistik 2013. Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Inst. Univ. Paderborn (ASIM-Mitteilung, 147), S. 11–20.
- [16] Koch, Markus; Schenk, Michael; Tolujew, Juri (2014): Objektanalysen für die Modellierung und Simulation von logistischen Systemen. 1. Aufl. Magdeburg: Univ. ILM.
- [17] Starbuck, William H. (1973): Organizations and their environments. Berlin: IIM.
- [18] Law, Averill M. (2015): Simulation modeling and analysis. 5. Aufl. (International Student edition). New York: McGraw-Hill.
- [19] Kotzab, Herbert; Vahrenkamp, Richard (2012): Logistik. Management und Strategien. 7 Auflage. München: Oldenbourg.

# **SIMULATIONSMODELLE IN DEN NATURWISSEN- SCHAFTEN – ÜBERTRAGBAR- KEIT AUF DIE LOGISTIK- SIMULATION?**

---

Dipl.-Phys. Bastian Sander M. Sc.  
Fraunhofer-Institut für Fabrikplanung und -automatisierung IFF, Magdeburg

# LEBENSLAUF



Dipl.-Phys. Bastian Sander M.Sc.

Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

10/2001 – 09/2007	Universität Potsdam, Studium der Physik.
01/2004 – 06/2004	Blekinge Institute of Technology (Schweden), Studium der Mathematik.
03/2006 – 12/2006	Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam, Forschungsaufenthalt.
10/2007 – 12/2011	Universität Wien, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Astrophysik.
01/2010 – 05/2010	Jacobs University Bremen, Forschungsaufenthalt.
09/2011 – 03/2013	Universität Wien, Dozent am Institut für Astrophysik.
03/2012 – 09/2012	Universität Wien, Assistent des Dekans der Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie.
10/2012 – 08/2014	Zürich Versicherungs-AG, Analyst im Aktuariat.
Seit 09/2014	Fraunhofer-Institut für Barikbetrieb und -automatisierung IFF, Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsfeld Logistik- und Fabriksysteme.

# SIMULATIONSMODELLE IN DEN NATURWISSENSCHAFTEN – ÜBERTRAGBARKEIT AUF DIE LOGISTIKSIMULATION?

Dipl.-Phys. Bastian Sander M. Sc.

## 1 Einleitung

Die Abbildung komplexer Systeme durch Idealisierungen, um ihrer quantitativ habhaft zu werden, sowie die Lösung ihrer inhärenten Dynamik mit dem Computer hat in sämtlichen Wissenschaftsdisziplinen Einzug gehalten. So ist die Simulation seit vielen Jahrzehnten ein integraler Bestandteil des Forschungsprozesses in den Naturwissenschaften. Sie bildet dort ein Bindeglied zwischen analytischer Theorie und realer Naturbeobachtung bzw. Messung im Experiment. So können Zugänge zum Verständnis der Entwicklung von Systemen geschaffen werden, die sich aus sehr vielen Elementen zusammensetzen, in denen Prozesse auf sehr langen Zeitskalen ablaufen und/ oder deren komplizierte, zeitabhängige Wechselwirkungen analytisch nur unzureichend erfasst werden können. Aufgrund der spezifischen Fragestellungen in den einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen haben sich ganz eigene Simulationsansätze herausgebildet. Allen natürlichen Systemen wohnt eine kontinuierliche Dynamik inne, obwohl Zustandsänderungen auch sprunghaft auftreten können (z.B. Kristallisation, Phasenübergänge, Stoßfronten in Überschallströmungen, spontane Magnetisierung unterhalb der Curie-Temperatur). Aus diesem Grund ist der Beschreibungsansatz über Zustandsgrößen, die sich durch Systeme aus algebraischen und (partiellen oder gewöhnlichen) Differenzialgleichungen entwickeln und über Zustandsgleichungen korrelieren, sehr verbreitet. Die Lösung dieser Systeme erfolgt auf Großrechenclustern (CPUs und GPUs), auf denen entsprechende Codes parallelisiert auf mehreren tausend Prozessoren ausgeführt werden.

In der Logistik hingegen ist der ereignisdiskrete Ansatz sehr populär, mit dem sich die unterscheidbaren Objekte sowie die einzelnen Logistikprozesse gut repräsentieren lassen. Eine Zustandsänderung des Systems beruht allein auf eintretenden Ereignissen. Diametral dazu wird der kontinuierliche Ansatz verwendet, der von einzelnen Ereignissen und Objekten auf Ensemblemittelwerte abstrahiert. Auch sind kombinierte Simulationsansätze in Gebrauch, mit denen sich gemischte diskret-kontinuierliche und nicht-lineare Prozesse hinreichend beschreiben lassen [1]. Eher seltene Verbreitung findet die Discrete-Rate-und die agentenbasierte Simulation. Die Parallelisierung der verwendeten Softwarepakete zur Ausführung auf Großrechenanlagen ist kein vordergründiges Entwicklungsthema. Gerade in der Logistik ist es ein großer Vorteil von Simulationen, Szenarien für alternative

Strategien durchspielen und auswerten zu können, ohne dafür ein reales System bauen oder den Betrieb eines bestehenden Systems unterbrechen zu müssen (z.B. verschiedene Lager-, Kommissionier-, Transport- oder Warenaumschlagstrategien). Simulationsstudien dienen somit der Entscheidungsunterstützung in allen Planungsphasen.

Der nachfolgende Beitrag versucht, eine Brücke zwischen den numerischen Ansätzen in den Naturwissenschaften und den Simulationserfordernissen der Logistik zu schlagen. Aufgrund vorhandener Analogien zwischen natürlichen und logistischen Systemen wird zur Diskussion gestellt, ob Simulationsansätze übertragen werden können. Es werden dabei insbesondere solche Ansätze diskutiert, die noch nicht auf logistische Systeme angewendet werden.

## 2 Logistische Systeme und ihre Charakteristika

Die Frage, was ein logistisches System ist und was es ausmacht, wird, je nach Blickwinkel, unterschiedlich beantwortet, wobei jedoch eine gewisse Kongruenz zwischen den Antworten existiert. Hat man eher den Systembegriff analog eines Körpers in der Mathematik im Sinn, d.h. Elemente, die über Beziehungen miteinander verknüpft sind, so bietet sich die Einteilung in Produktions-, Verpackungs-, Lager-, Kommissionier- und Transportsystem an. Die Ware ist dabei nacheinander Element einer dieser fünf infrastrukturellen Teilsysteme von ihrer Herstellung bis zum Kunden und steht mit anderen Elementen in Beziehung [94].

Äquivalent bietet sich die flussorientierte Beschreibung an, hat man die Ware im Fokus: diese ist Bestandteil eines Materialflusses, der die o.g. Teilsysteme durchläuft. Parallel dazu existiert ein synchronisierter Informationsfluss, der alle relevanten Daten, die mit der Ware verknüpft sind, speichert und ebenfalls zwischen den Teilsystemen transportiert. In diesem letzten Sinne bemerkt Reggelin, dass »logistische Systeme künstliche, offene, dynamische und stochastische Systeme« [1], S. 7 sind, wobei er sich u.a. auf [3,4] beruft.

Für volks- und betriebswirtschaftliche Sichtweisen ist die Unterteilung in mikro- und makrologistische Systeme gebräuchlich, wobei die ersten die Unternehmen (Einzelwirtschaft) und die letzteren die Verkehrssysteme »einer Region, einer Volkswirtschaft oder der Weltwirtschaft« [5], S. 4 (Gesamtwirtschaft) darstellen. In diesem Beschreibungsansatz spielen logistische Dienstleistungs-

unternehmen und unternehmensübergreifende Logistiksysteme eine ausgezeichnete Rolle.

Weiterhin kann nach den Objekten/ Systemelementen klassifiziert werden: »Man unterscheidet dann die (Sach-)Güterlogistik, die Personenverkehrslogistik und die IK-Logistik.« [5], S. 4.

Eine bei vielen Unternehmen akzeptierte Kategorisierung, das Supply-Chain-Operations-Reference-Modell (SCOR), bildet einen Referenzrahmen konkret für Supply Chains [95]. Ziel dieser Bestrebung ist es, sämtliche prozessualen Elemente zu beschreiben und zu bewerten. Es werden u.a. Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik unterschieden.

## 2.1 Abbildung logistischer Systeme

Die Fragestellungen, die Simulationen motivieren, beziehen sich in erster Linie auf die optimale Auslegung des betrachteten Systems. Während sämtlicher Phasen einer Neuplanung von Infrastruktur sowie Neuordnung von Prozessen sind Unterstützungen für Entscheidungen zu Kapazitäten, Durchlaufzeiten oder Flächenanordnungen gefragt. Das oftmals komplexe und multikausale Wechselspiel der einzelnen Material- und Informationsflüsse unter noch nicht existenten, und daher nicht eindeutig zu bestimmenden Randbedingungen erfordert eine genauere Erfassung der zu erwartenden Dynamik, als mittels analytischer Abschätzungen aufgrund historischer Daten oder aufgrund der Erfahrung beteiligter Akteure je möglich ist. Sowohl stochastisch auftretende Störereignisse [6] als auch Skalierungseffekte [7] oder zeitlich variable Randbedingungen [8,9] können im Modell berücksichtigt und in der Simulation analysiert werden.

Bei der Bewertung bestehender Systeme (Umlaufungsmaßnahmen) tritt oft die Frage nach der Optimierung ablaufender Prozesse oder der räumlichen Strukturierung der Infrastruktur hinsichtlich systembestimmender Aspekte auf, wie Personal- [10,11,12,13,14,15,16] und Resourceneinsatz [17,18], Ergonomie [19,20,21], Prozessreihenfolgen [22,23], Prioritätsregeln [24], Bestimmung von Produktionsplanungsparametern [25], Maschinenbelegungspläne [26,27], Integration des Unternehmens in Supply Chains [28,29,30,31,32,33], Planung und Bewertung der Energieeffizienz [34] oder Lagerstrategien [35,36,37,38]. Simulationsstudien dienen oft als Ausgangspunkt für Optimierungen. Mitunter werden sie an heuristische Optimierungsstrategien gekoppelt (sog. »Simheuristik«, siehe z.B. [2]). Die simulationsbasierte Optimierung erfährt gerade im Themenfeld von Industrie 4.0 einen höheren Stellenwert [39]. Die Richtlinien 3633, Blatt 12, und 4499 des VDI beschreiben die standardisierte Vorgehensweise bei der Verknüpfung von Simulation und Optimierung [40,41,42].

Hingegen spielt die Simulation in der Realisierungsphase von Projekten bislang eine untergeordnete Rolle [43].

Die Abbildung eines realen Systems in einem (Simulations-)Modell muss dessen zugrundeliegenden, spezifischen Eigenschaften (charakteristische Zeit- und Längenskalen, die Dynamik bestimmende Bestandteile) gerecht werden. Der intuitivste und häufigste Ansatz in der Logistik ist die mikroskopische Beschreibung. Sie wird durch die ereignisdiskrete Simulation verwirklicht [44,45,46,47]. Hierbei erfolgen Zustandsänderungen auf eintretenden Ereignissen basierend und damit zu abzählbar endlichen Zeitpunkten. Jedes Element des Systems ist zu jedem Zeitpunkt eindeutig identifizierbar. Das Abstraktionsniveau ist niedrig und der Detailgrad hoch [1].

Demgegenüber steht am oberen Ende der Abstraktions- und am unteren Ende der Detaillierungsskala die makroskopische Sichtweise, deren häufigster numerischer Lösungsansatz die System-Dynamics-Simulation ist [48,49]. Hierbei werden abzählbare Objekte durch Flussraten ersetzt. Zustandsänderungen erfolgen aufgrund der Integration von Differentialgleichungen in bestimmten Zeitintervallen (Integrationsschrittweite) und es können Erhaltungssätze für dynamische Variablen (z.B. Erhaltung der Flussdichte durch die Kontinuitätsgleichung) formuliert werden. Er wird jedoch wesentlich weniger verwendet als die ereignisdiskrete Formulierung, da die aggregierte Ebene viele logistische Fragestellungen nicht adäquat widerspiegelt.

Eine weitere, jedoch laut [1] sehr selten verwendete Möglichkeit der Systembeschreibung ist die Discrete-Rate-Simulation [50]. Sie wird zur Simulation von linearen Flusssystemen und hybriden Systemen genutzt, in denen lineare kontinuierliche Prozesse mit diskreten Start- und Endzeiten ablaufen. Die Flussraten (kontinuierlich) ändern sich aufgrund eintretender Ereignisse (diskret) und sind zwischen Ereignissen konstant. Beschreibende Variablen wie die Flussdichte werden durch stückweise stetige Funktionen repräsentiert.

Ein Konsens, der die Detailgenauigkeit der mikroskopischen und die geringe Rechenzeit der makroskopischen Simulation vereint, findet sich im mesoskopischen Ansatz wieder [50,51]. Auch erfüllt er die Anforderung an »eine einfache und intuitive Simulation.« [1] S. 34 Hier werden eigene, »mesoskalige« Variablen definiert. Dies sind unabhängige Objekteigenschaften, die für jedes Objekt einen individuellen, zeitlich variablen Wert haben (z.B. Orientierung, Farbe). Sämtliche andere Eigenschaften (z.B. Fördergeschwindigkeit, Größe, Masse) werden als für alle Objekte identisch angenommen. Man kann nun eine Anzahldichtefunktion (ADF) einführen, die von den mesoskaligen Variablen abhängt. Die ADF selbst wird durch eine Bestimmungsgleichung (z.B. eine Differentialgleichung) ermittelt, die das mikroskopische Modell so genau wie möglich approximieren muss. Integriert man die ADF über den von den mesoskaligen Variablen aufgespannten Phasenraum, so erhält man die Momente der ADF (z.B. entspricht das Nullte Moment der Anzahl aller Objekte mit einer Realisierung in einem bestimmten Teilgebiet des

Phasenraums). Diese Momente sind identisch mit den makroskopischen Variablen, die durch Integration o.g. Erhaltungsgleichungen berechnet werden. Von eher akademischem Interesse ist die agentenbasierte Simulation [52,53,54,55,56,57].

Die hauptsächlichen Probleme liegen im Spannungsfeld zwischen größtmöglicher Detailtreue des abzubildenden Systems und einem geringen Aufwand bei der Erstellung und Implementation des Modells sowie einer schnellen Rechenzeit für die Simulationsstudien. Die Wahl eines Ansatzes (mikro-, meso- oder makroskopisch) ist daher ein Kompromiss zwischen seinen Vorteilen und den Fragestellungen an die Simulationsstudie. Die mikroskopische Sichtweise wird bei großen Systemen, die aus vielen Konstituenten bestehen, schnell unhandlich. Auch wird eine Menge überschüssiger Daten produziert, da die Detailtreue (Objektpermanenz) nicht adaptiv, sondern in allen Teilebereichen des Simulationsmodells gleich hoch ist, auch dort, wo eine gröbere Sicht ausreichend wäre. Hingegen kann der makroskopische Ansatz bei sehr stark ausdifferenzierten Systemen dazu führen, dass Heterogenität durch die Ensemblemittelung verloren geht und die Aussagen zu ungenau werden.

Allen Ansätzen ist jedoch gemein, dass zum Zeitpunkt der Planung die Anfangs- und Randbedingungen für das System unzureichend bekannt sind und die Eingabedaten aus unvollständigen Datensätzen bestehen [58], wodurch Annahmen bedingt werden, welche die Interpretation der Simulationsergebnisse erschweren.

Zu den gebräuchlichsten Software-Produkten gehören kommerzielle Angebote wie AnyLogic, PlantSimulation (z.B. zur simulationsbasierten Optimierung [59]), ExtendSim, VISSIM, Arena, Enterprise Dynamics [60,61], IBM Cplex [62] (für Optimierungsprobleme). In diese bestehenden Entwicklungsumgebungen werden spezifische Fragestellungen implementiert. Sehr beliebt sind auch Simulationsbaukästen, z.B. VDA Automotive Bausteinkästen [63,64]. Seltener werden auch selbstentwickelte Werkzeuge benutzt [56,65,66]. Die Eingangsdaten sind meistens standardisiert, z.B. CAD [67].

### 3 Natürliche Systeme und ihre Charakteristika

Grundsätzlich haben sich natürliche Systeme ohne das Zutun von Menschen entwickelt und sind sog. stochastische Systeme erster Art, d.h. Aussagen über diese Systeme verändern deren Dynamik nicht (z.B. ist der tatsächliche Wetterverlauf unabhängig von der Wettervorhersage). Natürliche Systeme befinden sich in einem Gleichgewicht oder streben darauf zu, können jedoch durch äußere Umstände (Änderung der Umgebungsbedingungen finden schneller statt als die Reaktionszeit des Systems) in einen Nichtgleichgewichtszustand gebracht werden und dort über lange Zeit existieren (z.B. Nichtgleichgewichts-

onisation im interstellaren Medium). Natürliche Systeme lassen sich durch algebraische und/ oder Differenzialgleichungen (Bewegungs-, Bilanz-, Zustands- und Reaktionsgleichungen) beschreiben. Sie können deterministisch-chaotisch (laminare Strömung, harmonischer Oszillator) oder stochastisch (Beta-Zerfall, Gammastrahlenblitze, Mutationen) sein. Auch können natürliche Systeme diskreter Natur sein, schaut man sich die Quantenmechanik an, in der jedes Quantensystem nur abzählbare Zustände annehmen kann, die sich in den Quantenzahlen (z.B. Haupt-, Neben-, Rotations-, Schwingungs-, magnetische Quantenzahl, Spin) äußern. Auch Zustandsänderungen geschehen nur in diskreten (gequantelten) Schritten. Die Freiheitsgrade von Systemen werden durch Zwangsbedingungen eingeschränkt. Mittels des Noether-Theorems können aus vorhandenen Symmetrien Erhaltungssätze abgeleitet werden (z.B. folgt aus der Isotropie die Drehimpulserhaltung), aber nur dann, wenn sich eine Lagrange-Funktion für dieses System aufstellen lässt. In jedem Fall ist es ein Wechselspiel von (tatsächlichen und scheinbaren) Kräften, die die Entwicklung eines natürlichen Systems bestimmen.

#### 3.1 Abbildung natürlicher Systeme

Während es bei den logistischen Systemen die Frage nach der Verbesserung bestimmter Systemausprägungen ist (ein Tuning des Systemverhaltens), so steht bei den in den Naturwissenschaften untersuchten Systemen das reine Verständnis der ablaufenden Prozesse, die zu bestimmten Beobachtungen führen, im Vordergrund. In diesem Kontext kommt der Simulation eine wichtige Schlüsselrolle als Bindeglied zwischen analytischer Theorie und Naturbeobachtung bzw. experimenteller Messungen zu. »Ein grundlegender Wesenszug der physikalischen Beschreibung von Phänomenen bzw. Eigenschaften der Materie besteht darin, dass es zwar meistens gelingt, Gleichungen zu diesem Zweck zu formulieren, aber exakte Lösungen dieser modellhaften Ansätze selten möglich sind.« [68] S. 26 Die Theorie ist oftmals zu idealisierten Näherungen gezwungen und kann daher nur Aussagen über eine kleine Teilmenge des gesamten Lösungsraumes liefern. Die Einbeziehung der Gesamtheit der beteiligten physikalischen Prozesse mit den jeweiligen realistischen Wechselwirkungen lässt sich nur mit der numerischen Herangehensweise verwirklichen. Simulationen erlauben es einerseits, festzustellen, welche Eigenschaften ein Modell tatsächlich besitzt, wo genau die Gültigkeitsgrenzen seiner Aussagen liegen und welche Güte eine analytische Näherung hat, die von genau diesem Modell ihren Ausgang nimmt. Andererseits kann ein Vergleich mit dem Experiment, mit der Naturbeobachtung gezogen und somit deduziert werden, ob die Observablen eines realen Systems in ihren Ausprägungen durch die berücksichtigten Prozesse reproduziert werden oder ob noch unbekannte physikalische Vorgänge für die zeitliche Entwick-

lung bestimmen sind. Durch die Variation von Anfangs- und Randbedingungen lassen sich sowohl das Maß der Bestimmbarkeit des Systemzustands (deterministisches, chaotisches oder stochastisches Verhalten) als auch die Antwort des Systems auf externe Einflüsse (z.B. dissipativ, symmetriebrechend) in viel mehr Fällen untersuchen, als dies bei einem Experiment oder einer Messung, welche ja immer nur »Schnapschüsse« des Systems zeigen, möglich ist.

Die in den Naturwissenschaften betrachteten Systeme werden durchgängig durch Differenzial- und/oder algebraische Gleichungen beschrieben. In der Thermo- und Hydrodynamik bestehen diese Systeme oft aus sehr vielen Objekten, so dass sinnvolle Aussagen nur aus Scharmittelwerten gewonnen werden können. Daher begegnet einem häufig der makroskopische Ansatz in Form von Anfangs- und Randwertproblemen, die als finite Differenzen entweder auf einem Gitter (hierbei gibt es äquidistante, adaptive, genestete, irreguläre Gitter, siehe [69]), in einem Teilchenformalismus (direkte Teilchensumination, Smoothed Particle Hydrodynamics, siehe [70,71]) oder durch eine Mischung aus beiden (Particle-Mesh-Ansätze vor allem in der Kosmologie, siehe [72]) gelöst werden. Bei einigen, durch Differenzialgleichungen beschriebenen Sachverhalten bieten sich Spektrale Methoden [73] an. In biologischen Systemen oder Festkörpern (atomistisch, viele Teilchen) spielen die Kräfte, die Atome oder Moleküle gegenseitig ausüben, eine bestimmende Rolle. Mit dem Ansatz der Molekulardynamik werden die Newtonschen Bewegungsgleichungen durch direkte Summation gelöst. Ein gebräuchliches Verfahren für die Diskretisierung ist der Verlet-Algorithmus [68,74].

Ein Vorgehen, um in hochdimensionalen Phasenräumen Integrationsstützstellen nur in einem relevanten Teilgebiet zu bestimmen (sog. Importance Sampling, z.B. zur Lösung der Diffusionsgleichung), ist durch Monte-Carlo-Methoden gegeben. Beispiele sind der Determinanten-Algorithmus [75] oder der Metropolis-Algorithmus [68,74,76,77].

Weiterhin gibt es die Ansätze der Large-Eddy- [78,79] und der Multiskalensimulation [79,80,81]. Letzterer Ansatz beschreibt die Kopplung von verschiedenen Methoden zur Simulation von Systemen, in denen Längen- und Zeitskalen in vielen Größenordnungen relevant sind. Quantenmechanische Systeme, in denen die sehr detaillierte Beschreibung einzelner Objekte interessiert, wie z.B. in der Molekulchemie [74] oder Festkörperphysik [80], werden mit sog. Ab-initio-Methoden simuliert. Zu diesen gehören u.a. die Dichtefunktionaltheorie [82,83], die Hartree-Fock- und Kohn-Sham-Theorie. Hier werden die elementaren Ursachen der Systemdynamik untersucht, ohne Annahme freier Parameter und ohne künstliche Anpassung an Experimente. Fragestellungen z.B. nach komplexen Elementumwandlungen bei endlichen Temperaturen kann somit nachgegangen werden. Numerisch

werden die Beschreibungsmodelle z.B. über die Car-Parrinello-Methode [84] realisiert. Da diese Simulationen sehr rechenintensiv und damit teuer sind, beschränken sie sich auf kleine Systeme mit kurzen Zeitskalen.

Bei manchen Sachverhalten ist die Wahl einer geeigneten Modellierung das Problem und es existieren mehrere, konkurrierende Ansätze. Die Simulationsergebnisse müssen daher immer mit dem Experiment, der Beobachtung verglichen werden, damit nicht die Auseinandersetzung des Forschers den Ausgang der Simulationsstudie bestimmt. Die simulierten Systeme besitzen in der Regel sehr unterschiedliche Längen- und Zeitskalen, auf denen relevante Prozesse dominieren. Oftmals befinden sich sehr viele (verschiedene) Konstituenten in einem System (mehrphasige Vielteilchensysteme), deren Dynamik aufgrund ihrer Eigenschaften (z.B. Masse, Ladung, Farbe) einer spezifischen Beschreibung bedarf. In der Astronomie ist zudem oft nur eine inverse Problemlösung möglich, da unzureichende Daten aus der Beobachtung von Strahlung, die nicht am Ort der sie erzeugenden Prozesse emittiert wird, vorliegen.

Bei der numerischen Behandlung dieser komplexen, natürlichen Systeme stellen die adäquate Diskretisierung der Zeit sowie des Raumes Herausforderungen dar. Die Integrationsschrittweite aufgrund der zeitlichen Diskretisierung muss aus Stabilitätsgründen bestimmten Bedingungen genügen (z.B. Bedingung von Courant, Friedrichs und Lewy) und die Verfahren sind entweder von geringer Genauigkeit und benötigen lange Rechenzeiten (Euler-Verfahren) oder ziehen einen sehr hohen Implementationsaufwand nach sich (semi-implizite Verfahren, z.B. das von Crank und Nicolson). Die räumliche Diskretisierung birgt die Gefahr, relevante Vorgänge entweder nicht aufzulösen (diese werden dann durch semi-analytische Beschreibungen approximiert) oder die Rechenzeit auf ein nicht mehr durchführbares Maß ansteigen zu lassen. Für solche Fälle wurden adaptive Gittermethoden entwickelt, die jedoch sehr sorgfältig implementiert werden müssen, da Lösungen zwischen den verschiedenen Auflösungsebenen extrapoliert werden und Rundungsfehler zur Verletzung von Erhaltungsgrößen führen können. Verschiedene Algorithmen können außerdem eine Verletzung von Nebenbedingungen (z.B. Divergenzfreiheit des magnetischen Flusses) bewirken. Einige Algorithmen besitzen eine hohe numerische Diffusivität, so dass Phänomene, wie z.B. Stoßwellen, nicht gut abgebildet werden (besonders beim Ansatz der Smoothed Particle Hydrodynamics). Hinzu kommen numerische Artefakte wie etwa Oszillationen der Lösung in der Nähe von Diskontinuitäten. In extremen Fällen kann das Ergebnis der Simulation in Abhängigkeit der verwendeten Methode zu entgegengesetzten Aussagen führen (siehe [70], S. 10 ff. und insb. Abb. 2.1).

In der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung kommen sehr häufig selbstgeschriebene, dem partikulären Problem angepasste Codes zum Einsatz. Diese werden entweder nur in einzelnen Instituten oder gar einzelnen Arbeitsgruppen genutzt oder durch eine Community von Wissenschaftlern gepflegt. Einige Beispiele sind: ZEUS, ART, NIRVANA, GADGET, FLASH, ENZO [85], RAMSES, PLUTO, ATHENA, AREPO, OpenFoam, DDSCAT. Um die in den einzelnen Forschungsgruppen erarbeiteten Resultate zu bündeln und der wissenschaftlichen Gemeinschaft zentral zur Verfügung zu stellen, gibt es Aktivitäten wie z.B. die Datenbank CosmoSim<sup>1</sup> (für kosmologische Simulationen).

Selten werden die Solver bestehender Produkte durch eine selbstgeschriebene Middleware verknüpft [86]. In der industriellen Forschung werden vorwiegend kommerzielle Produkte, wie z.B. Comsol Multiphysics, Mathematica, ANSYS oder TRNSYS, benutzt.

## 4 Analogien

Ebenso wie in der Simulation logistischer Systeme steht in den Naturwissenschaften eine größtmögliche Detailtreue bei gleichzeitiger Minimierung der Rechenzeit im Vordergrund der numerischen Bestrebungen. Hier wie dort bedient man sich des mikro-, meso- und makroskopischen Beschreibungsansatzes.

Logistische Systeme sind in ihrer allgemeinsten Form künstlich, offen, dynamisch und stochastisch.

Das bedeutet, dass die Dynamik logistischer Systeme nicht auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten beruht, sondern auf künstlich festgelegten Regeln, z.B. ordnen sich Güter in einem Warenlager nicht aufgrund eines effektiven Wechselwirkungspotenzials an, sondern werden aufgrund einer definierten Lagerstrategie (z.B. chaotisch, getrennt nach A- und B-Artikeln etc.) platziert. Durch den Einfluss des Menschen auf diese Regeln sind logistische Systeme im Allgemeinen stochastische Systeme der zweiten Art, d.h. Aussagen, die der Mensch über das System tätigt, beeinflussen das System (z.B. Börsenkurse, Supply Chains). In natürlichen Systemen ist dies nicht der Fall. Doch werden Warenströme sehr gut durch den makroskopischen Ansatz beschrieben, der auch in den Naturwissenschaften immer dann Anwendung findet, wenn Ensemblemittelwerte die einzige sinnvollen Beschreibungsgrößen sind. Die flussorientierte Herangehensweise ermöglicht die Aufstellung von Erhaltungssätzen und die Ausnutzung von Symmetrien. Hier sind durchaus äquivalente Sichtweisen denkbar.

Ebenso ist die Formulierung offener Randbedingungen in beiden Systemwelten notwendig. Während in der Logistik die reinen Ein- und Ausstrombedingungen ausreichen (hier nur die passiven, wenn Flussraten nahezu konstant sind), werden in den Naturwissenschaften auch halboffe-

ne, periodische, Dirichlet-, von-Neumann- und Cauchy-Randbedingungen genutzt. Somit halten numerische Entwicklungen in den Naturwissenschaften eine breite Palette an Formulierungen bereit, die prinzipiell auf logistische Systeme übertragen werden können.

Isolierte natürliche Systeme streben einem Gleichgewichtszustand entgegen, in dem sie verharren wollen. Äußere Einflüsse können dem System Kräfte aufprägen, so dass sie sich stetig in einem Nichtgleichgewicht befinden und der momentane Systemzustand zeitabhängig ist. Eine Dynamik ist damit die Regel und stationäre Lösungen entsprechen starken Idealisierungen. Von den sowohl längeren und kürzeren Zeitskalen als auch kleineren und größeren Längenskalen abgesehen, die in natürlichen Systemen auftreten, ist auch in logistischen Systemen eine Dynamik die Regel, die, außer bei Störfällen oder Wartezeiten, nahe an einem Gleichgewichtszustand verläuft. Stochastische Ereignisse können in beiden Systemwelten durch die Wahl der Anfangsbedingungen (z.B. Monte-Carlo-Methoden) oder entsprechende Verteilungen (z.B. Poisson-Verteilung) berücksichtigt werden.

### 4.1 Übertragung naturwissenschaftlicher Simulationsansätze

Der Übertragung naturwissenschaftlicher Simulationsansätze auf die Logistiksimulation steht formal offenbar nichts entgegen. Einige erfolgreiche Beispiele aus der Praxis:

- dynamische, biologische Prozessmodelle in Rennnetzen (eine Unterklasse von Petrinetzen) [87],
- Analyse von Wartungsstrategien im maschinellen Tunnelbau durch Prozesssimulation [88],
- Hydrodynamik in der Simulationen von Lackierprozessen [89],
- Simulation einer selbstorganisierenden Fertigungssteuerung durch Ant-Colony Optimization [90],
- Optimierung von Modellparametern für komplexe Materialflusssysteme durch einen Ameisenalgorhythmus [91],
- Lösung des Problem des Handelsreisenden durch DNA-Sequenz-Rechnen [92],
- kybernetische Methoden zur automatischen Navigation von Schiffen, Beschreibung komplexer Vorgänge in Zellorganismen und Optimierung logistischer Abläufe (Fahrpläne, Energienetze)<sup>2</sup>,
- Beschreibung von Supply Chains mit Methoden der nichtlinearen Dynamik [93],

<sup>1</sup> Siehe <https://www.cosmosim.org/>

<sup>2</sup> Studiengang »Technische Kybernetik« an der TU Ilmenau: <http://www.tu-ilmenau.de/studieninteressierte/studieren/bachelor/technische-kybernetik-und-systemtheorie/>

- der Neurobayes-Algorithmus in der prädiktiven Instandhaltung<sup>3</sup> (entwickelt am CERN zur Verbesserung der Erkennungsrate von b-Quarks),
- genetische Algorithmen (z.B. das OPTSYS Framework<sup>4</sup> der TU Chemnitz).

Diese beispielhafte Auflistung motiviert und erregt natürlich den Forschergeist dahingehend, die Liste durch andere vielversprechende Simulationsansätze zu erweitern. Hier könnte die Verknüpfung von mikro-, meso- und makroskopischen Modellen, wie sie in der Turbulenzsimulation von Mehrphasenströmungen [127] genutzt wird, die äquivalenten Beschreibungsansätze in der Logistiksimulation auf natürliche Weise fortsetzen. Die verschiedenen Ansätze der Astrophysik (Teilchenbeschreibung, z.B. Smoothed Particle Hydrodynamics) oder Hydrodynamik (Gittermethoden, z.B. geordnete oder irreguläre Gitter, äquidistant oder adaptiv) könnten gerade für die meso- bis makroskopische Systemmodellierung in der Logistik interessante Werkzeuge darstellen. Der mikroskopische Ansatz in der Logistik kann nur bedingt durch die Simulationsansätze der Molekulardynamik (z.B. Car-Parrinello-Methode oder Ab-Initio-Pfadintegralmethode [74.81]) realisiert werden. Hier bilden die weiter oben besprochenen Ursachen (effektive Potenziale, Newtonsche Bewegungsgleichungen etc.) die direkte Grundlage für die Modellierung, welche, im Gegensatz zur Natur, in der Logistik durch ein künstliches Regelwerk gegeben ist.

## 5 Schlussfolgerungen

Schließend kann gesagt werden, dass lediglich die Ursachen für die dynamikbestimmenden Regeln (physikalische Gesetzmäßigkeiten mit einer gewissen Verallgemeinerungsfähigkeit hier und durch Menschen festgelegte, durchaus lokal verschiedene, spezifische Regelwerke dort) für beide Systemwelten komplementär sind. Aus diesem Grund eignen sich Ab-Initio-Methoden (z.B. Dichtefunktionaltheorie, Car-Parrinello-Molekulardynamik-Methode, Ab-initio-Pfadintegralmethode), d.h. die Simulation der Systementwicklung »from first principles«, nicht für die Logistiksimulation. Da diese unterschiedlichen Ursachen jedoch Systemausprägungen bedingen, die einer mathematisch ähnlichen Beschreibung folgen, können logistische Systeme als reine Untermenge natürlicher Systeme durch auf sie angepasste meso- und makroskopische Simulationsansätze (beinhalten ein hinreichend hohes Aggregationslevel) aus den Naturwissenschaften numerisch beschrieben werden.

## 6 Literatur

- [1] Reggelin, T., Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, ISBN 978-3-940961-63-1, 2011
- [2] Pfeilsticker, L., Rabe, M. & Juan, A.A., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [3] Schenk, M. & Wirth, S., Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, Springer Verlag, Berlin, 2004
- [4] Bossel, H., Systeme, Dynamik, Simulation, Books on Demand, Norderstedt, 2004
- [5] Arnold, D., Isermann, H. & Kuhn, A. et al., Handbuch Logistik, Furmans, K. (Hrsg.), ISBN: 978-3-540-72928-0, 2008
- [6] Le, H.H. & Bargstädt, H., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [7] Barbey, H., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [8] Canyakmaz, C., Özakici, S. & Karaesmen, F., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [9] Marx, A. & König, M., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [10] Zülch, G., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [11] Gamber, T. & Zülch, G., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [12] Mutzke, H. & Blauermel, G., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015

<sup>3</sup> Siehe <http://www.blue-yonder.com/>

<sup>4</sup> Siehe <https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl7/optsys/framework/>

- [13] Fuchs, G., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [14] Gamber, T. & Zülch, G., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [15] Leupold, M., Stock, P. & Schmidt, D. et al., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [16] Koruca, H.I., Ozdemir, G. & Aydemir, E. et al., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [17] Ng, A.H.C., Skoogh, A. & Lämkull, D., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [18] Kaffka, J., Mest, L. & Deymann, S. et al., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [19] Wiegmann, D. & Brüggemann, H., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [20] Müller, U., Feller, N. & Schiffmann, M. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [21] Golabchi, A., Han, S. & AbouRizk, S., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [22] Heger, J. & Hildebrandt, T., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [23] Dammasch, K., Kaupp, H. & Rabuser, M., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [24] Hildebrandt, T. & Freitag, M., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [25] Felberbauer, T., Schnirzer, R. & Altendorfer, K., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [26] Nahhas, A., Aurich, P. & Reggelin, T. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [27] Selmaier, M., Herrmann, F. & Claus, T. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [28] Klaas, A. & Klibi, K., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [29] März, L., Angelidis, E. & Ohmann, L., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [30] Rabe, M. & Scheidler, A.A., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [31] Terlunen, S., Horstkemper, D. & Wölck, M. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [32] Heckmann, I. & Nickel, S., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [33] Witthaut, M., Kamphues, J. & Hegmanns, T., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [34] Peter, T. & Wenzel, S., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [35] Dietz, T., Böttcher, L. & Bernhard, J., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [36] Elbert, R., Franzke, T. & Glock, C.H. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015

- [37] Galka, S., Ulbrich, A. & Günthner, W.A., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [38] Zellerhoff, J. & ten Hompel, M., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [39] Dunke, F. & Nickel, S., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [40] Hanschke, T. & Zisgen, H., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [41] Wenzel, S., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [42] Mutzke, H., Rabe, M. & Wiener, K., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [43] Ailland, K. & Bargstädt, H., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [44] Feist, M. & Fernández Alcalde, A.M., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [45] Rabe, M. & Deininger, M., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [46] Fanghänel, C., Schlegel, A. & Stoldt, J. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [47] Rank, S., Hammel, C. & Schmidt, T. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [48] Donath, U. & Pullwitt, S., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [49] Boyaci, P. & Wenzel, S., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [50] Tolujew, J., Reggelin, T. & Kaiser, A., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [51] Reggelin, T., Mesoskopische Modellierung und Simulation logistischer Flusssysteme, Dissertation, 2011
- [52] Wenzler, F. & Günthner, W.A., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [53] Güller, M., Karakaya, E. & Hegmanns, T., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [54] Bergmann, M., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [55] Juan, A.A., Marull, J.M. & Jorba, J. et al., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [56] Lanza, G. & Book, J., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [57] Daniluk, D. & ten Hompel, M., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [58] Steinhauer, D., Lödding, H. & Friedewald, A. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [59] Völker, S. & Schmidt, P., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010

- [60] Schuh, G., Kampker, A. & Potente, T. et al., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [61] Latki, B., Pitsch, H. & Greinert, C. et al., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [62] Bargstädt, H. & Feine, I., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [63] Mayer, G. & Pöge, C., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [64] Lödding, H., Friedewald, A. & Wagner, L., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [65] Kaffka, J., Clausen, U. & Miodrag, Z. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [66] Schönherr, O., Winter, E. & Fabig, C. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [67] Kugler, M. & Franz, V., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [68] Binder, K., Physik Journal 3, Nr. 5, 2004
- [69] Teyssier, R., 2015, ARA&A, 53, 325
- [70] Heß, S., 2011, Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München
- [71] Price, D.J., 2012, ASPC, 453, 249
- [72] Knebe, A., 1999, Dissertation, Universität Potsdam
- [73] Arnold, B., 2009, Spektrale Methoden in der numerischen Hydrodynamik, in: Seminar Numerische Methoden der Astrophysik, Universität Wien
- [74] Marx, D., Physik Journal 3, Nr. 5, 2004
- [75] Lavalle, C., Rigol, M., Muramatsu, A., Physik Journal 3, Nr. 5, 2004
- [76] Drasdo, D., Physik Journal 12, Nr. 11, 2013
- [77] Metropolis, N., Rosenbluth, A.W. & Rosenbluth, M.N., 1953, JChPh, 21, 1087
- [78] Hillebrandt, W. & Müller, E., Physik Journal 3, Nr. 5, 2004
- [79] Fox, R.O., 2012, Annu. Rev. Fluid Mech., 44, 47
- [80] Elsässer, C. & Gumbesch, P., Physik Journal 4, Nr. 1, 2005
- [81] Besold, G. & Kremer, K., Physik Journal 3, Nr. 5, 2004
- [82] Hohenberg, P. & Kohn, W., 1964, Phys. Rev., 136, 864
- [83] Kohn, W., & Sham, L.J., 1965, Phys. Rev., 140, 1133
- [84] Car, R. & Parrinello, M., 1985, Phys. Rev. Lett., 55, 2471
- [85] Bryan, G.L. et al., ApJS, 211, 19, 2014
- [86] Bleicher, F., Dür, F. & Leobner, I. et al., 2014, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 63, 1; S. 441 - 444.
- [87] Pettigrew, L., Hubert, S. & Groß, F. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [88] Conrads, A., Scheffer, M. & König, M. et al., Simulation in Production and Logistics, Rabe M. und Clausen U. (eds.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015
- [89] Bracht, U., Pfluger, F. & Roller, S., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [90] Stock, P. & Zülch, G., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010

- [91] Laroque, C. & Krimmer, S., Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal, Zülch G. und Stock P. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- [92] Liu, Q., Wang, L. & Frutos, G.A. et al., Nature, 403, 175, 2000
- [93] Scholz-Reiter, B., Freitag, M. & Schmieder, A., Veröffentlichung im Rahmen des Projektes I/77366 der Volkswagen Stiftung, 2002
- [94] Koether, R. (Hrsg.), Taschenbuch der Logistik, Carl Hansen Verlag, München, ISBN 3-446-22247-2, 2004
- [95] Poluha, R.G., Anwendung des SCOR-Modells zur Analyse der Supply Chain: Explorative empirische Untersuchung von Unternehmen aus Europa, Nordamerika und Asien, 5. Auflage, EUL Verlag, ISBN 978-3-89936-968-7, 2010

# **MIKROSKOPISCHE UND MESOSKOPISCHE SIMULATIONSMODELLE IM VERGLEICH AM BEISPIEL DER WÄSCHEREILOGISTIK**

---

David Weigert M. Sc.  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

David Weigert M. Sc.

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

10/2009 – 10/2013	Studium des Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbaus (B. Sc.) an der Hochschule Magdeburg-Stendal.
03/2010 – 09/2010	Praktikum in der Projektplanung und dem Qualitätsmanagement bei Bentley Motors Limited, Crewe, Cheshire.
10/2012 – 03/2013	Praktikum in Distribution und Vertrieb Mercedes-Benz Cars bei der Daimler AG, Stuttgart-Möhringen.
10/2013 – 05/2015	Studium Wirtschaftsingenieurwesen Logistik (M. Sc.) an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
01/2014 – 01/2015	Werkstudent in der Logistik, Fabrikplanung und Produktion des NCV 3 bei der Daimler AG, Ludwigfelde.
04/2014 – 05/2015	Wissenschaftliche Hilfskraft der Institutsleitung am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg.
Seit 05/2015	Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Logistik und Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg.
Seit 06/2015	Projekt-Assistent am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg.

## 1 Einleitung und Problemstellung

Industrielle Großwäschereien in Deutschland erbringen umfassende Dienstleistungen zur Bereitstellung, Reinigung und Aufbereitung waschbarer Textilien. Mit zunehmendem Wettbewerb und ausgeprägter Kundenorientierung steigen die Anforderungen an die Wäschereien. Der Umgang mit der komplexen Kunden- und Produktstruktur erfordert eine hohe Flexibilität in Planung, Verwaltung und Steuerung der Wäschereien [1]. Individuelle Kundenwünsche im Gesundheitswesen und Hotelgewerbe fordern eine termingerechte und zügige Reinigung und Auslieferung von Wäsche zu niedrigen Preisen. Durch die historische Entwicklung vieler Wäschereien sind deren Planung, Steuerung und Überwachung vom Erfahrungswissen der Mitarbeiter geprägt. Diese geprägten Strukturen führen unter anderem zu intransparenten Prozessschritten, unzureichenden Aussagen zum Verbesserungspotenzial der Anlage, steigende Abhängigkeit und steigende Kosten bei der Personalplanung. Ein Ansatz um diese Problempunkte zu entschärfen beschreibt eine Simulationsstudie, welche durch die Modellierung und Simulation von realen Problemstellung Aussagen über das veränderbare, zukünftige Logistiksystem geben kann. Die Durchführung von Simulationsstudien wurde in der Literatur und Praxis für herkömmliche Produktionssysteme zahlreich dargestellt [2–4], jedoch sind keine Anwendungen für den Bereich der industriellen Großwäschereien zu finden.

Die in diesem Beitrag durchgeführte Simulationsstudie behandelt verschiedene Konzepte zur Umstrukturierung eines Wareneingangs und Warenausgangs einer existierenden Großwäscherei. Dem verwendeten mikroskopischen Simulationsansatz wurde der mesoskopische Simulationsansatz gegenübergestellt. Die Vorteile des mikroskopischen Ansatzes in Gegensatz zum mikroskopischen Ansatz [5–7]:

- schnellere Modellerstellung durch einfache und universelle Abbildung der Systemstruktur,
- variable Detailierungsgrade ermöglichen eine Fokussierung auf wesentliche Elemente,
- durch die Arbeit mit variablen Zeitschritten wird die Rechenleistung verbessert und
- ermöglicht kurzfristige Prognosen zur Implementierung von Verbesserungsmöglichkeiten.

Die Simulationsstudie beinhaltete die Untersuchungen verschiedenartiger Konzepte für Neu- oder Umbau von Wareneingang und Warenausgang. Hierzu konnten Aussagen über die Durchlaufzeit, Flächenbelegung von Wareneingang und Warenausgang, Maschinenauslastung, Personaleinsatzplanung sowie potentielle Investitionskosten gegeben werden. Die Simulationsstudie ist Teil eines laufenden Projektes. Auf eine konkrete Ergebnisauswertung muss aus Gründen der Geheimhaltung verzichtet werden.

## 2 Wäschereikreislauf

Der geschlossene Prozessablauf einer Wäscherei unterscheidet sich von einem produzierenden Unternehmen dadurch, dass das Produkt, die Wäsche, nicht aus vorhandenen Ressourcen hergestellt wird, sondern einen Wäschekreislauf durchläuft. Das eigentliche Logistiksystem Wäschereikreislauf besteht daher aus den beiden Subsystemen Wäscherei und Kunde, die sich in beliebig viele Subsysteme untergliedern lassen. Im betrachteten System gibt es keinen klassischen In- oder -Output, da es sich um einen Kreislauf handelt und so der Output des Subsystems Wäscherei gleichzeitiger Input des Subsystems Kunde und umgekehrt ist (s. Abbildung 1).



Abbildung 1: Logistiksystem Wäschereikreislauf  
(eigene Darstellung)

Die Kernprozesse wie Waschen und Aufbereiten (Mangeln, Trocknen, Falten, Stapeln) sind hoch automatisierte Prozesse, deren Schnittstellen häufig noch manuell ausgeführt werden. Durch eine gestiegene Komplexität in der Kunden- und Produktstruktur wird innerhalb der Wäschereien eine vielfältige Anzahl von Wäschestücken behandelt. Der Wareneingang und Warenausgang bildet eine der wichtigsten Bereiche innerhalb einer Großwäscherei ab. Hier greifen die Tourenplanung, Waschauftragsrei-

henfolge, Kapazitätsauslastung und Maschinenbelegung ineinander. Eine fehlende Planung und Übersicht über die eingesetzten Ressourcen und Kapazitäten führt unweigerlich zu hohen Umlaufbeständen an Wäsche, schlechter Maschinenauslastung, verspäteten Auslieferungen und einer erhöhten Störanfälligkeit im Prozessablauf. Sind die Aufträge im Wareneingang zusammengestellt, durchlaufen sie die festgelegte Prozessschritte von Waschen und Aufbereiten. Ein Eingriff in die Zusammensetzung der Aufträge und Taktung der Maschinen ist zu diesem Zeitpunkt nur noch mit hohem zeitlichem Aufwand verbunden. Es ist daher notwendig die Art und Anzahl der vorhandenen Eingangsgrößen im Wareneingang und Warenausgang zu kennen um vorausschauend und optimal planen zu können. Aufgrund der aktuellen Markt- und Wettbewerbssituation ist es für Großwäschereien zukünftig von großer Bedeutung schnell, zuverlässig und kostengünstig zu Arbeiten.

### 3 Gewählte Simulationsansätze

#### 3.1 Mikroskopischer Simulationsansatz

Der mikroskopische Ansatz kann auch als ereignisdiskrete oder ereignisorientierte Simulation bezeichnet werden [8]. Ereignisdiskrete Modelle werden überwiegend bei logistischen Systemen eingesetzt, denn die meisten Produktions- und Logistikprozesse bilden diskrete Zustände ab [4, 9, 10]. In der diskreten, ereignisorientierten Simulation werden Ereignisse erfasst, bei denen sich der Zustand des betrachteten Systems diskontinuierlich ändert. Diskrete Modelle beschreiben daher sprunghafte Änderungen der Zustandsvariablen zu diskret verteilten Zeitpunkten (s. Abbildung 2) [11–13]. Somit werden diskrete Modelle auch als ereignisorientierte Modelle bezeichnet. Im Gegensatz zur kontinuierlichen Simulation, in der sich die, den Systemzustand beschreiben Variable kontinuierlich mit der Zeit ändert [14], ändert sich ebenso der Systemzustand in ereignisdiskreten Modellen nur dann, wenn Ereignisse ausgelöst werden [15, 16]. Demnach wird in diesem Simulationsansatz eine endliche Anzahl von Zustandsänderungen, die zu bestimmten Ereigniszepunkten stattfinden, in einer ebenso endlichen Zeitspanne aufgerufen [12, 17]. Ein weiterer gebräuchlicher Begriff für die ereignisdiskrete Simulation ist Discrete Event Simulation (DEVS).

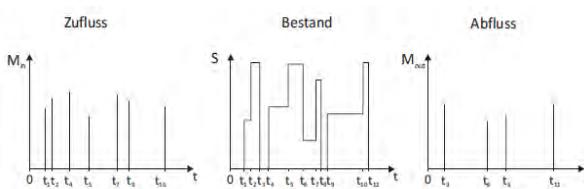


Abbildung 2: Prozessmodell der mikroskopischen Simulation  
(eigene Darstellung)

#### 3.2 Mesoskopischer Simulationsansatz

Der mesoskopische Simulationsansatz beschreibt die Forderung nach einer schnelleren Modellerstellung und -berechnung sowie eine hinreichend genaue Aussagefähigkeit des untersuchten Systems zu geben [7, 18]. Der Ansatz kombiniert die Eigenschaften der Discrete-Rate-Simulation und der ereignisdiskreten Simulation. Mesoskopische Simulationsmodelle arbeiten mit stückweise konstanten Flussraten und impulsförmigen Mengen [19] (s. Abbildung 3).

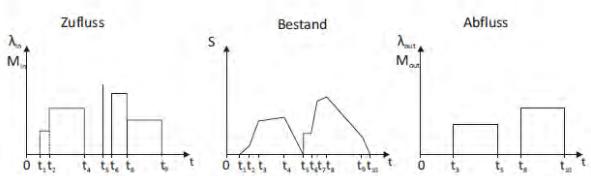


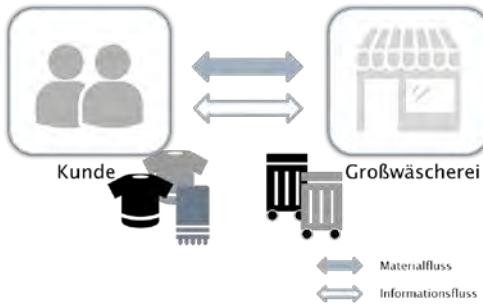
Abbildung 3: Prozessmodell der mesoskopischen Simulation  
(eigene Darstellung)

Der Verlauf der Bestandsgrößen (Zufluss, Bestand, Abfluss) ist stückweise linear mit sprunghaften Veränderungen, welche durch die impulsförmigen Flüsse entstehen. Die lineare Entwicklung des Systemzustands ermöglicht bei der Planung zukünftiger Ereignisse Vorteile hinsichtlich Rechenaufwand, Modellierungsaufwand und Abbildungsgenauigkeit gegenüber der klassischen kontinuierlichen und ereignisdiskreten Simulation [6–8, 18]. Durch die Arbeit mit aggregierten Daten reduziert sich ebenfalls der Aufwand für die Datenanalyse und Modellerstellung sowie die eigentliche Durchführung der Simulation [7]. Die Anwendung der mesoskopischen Modellierung und Simulation eignet sich für die Betrachtung innerhalb der Betriebsphase von logistischen Systemen. Da der Ansatz schneller als die ereignisdiskrete Simulation ist und genauer als flussbasierte Simulation zusätzlich ist die Umsetzung einfacher und bietet eine intuitive Verwendung durch den Anwender.

### 4 Simulationsstudie der Großwäscherei

#### 4.1 Zieldefinition und Systemabgrenzung

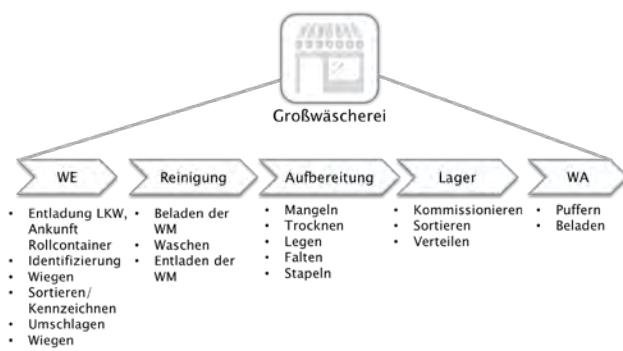
Das logistische System einer Großwäscherei beschreibt sich im Allgemeinen durch die Abgabe der Schmutzwäsche vom Kunden, Reinigung durch die Großwäscherei und Rückgabe der gesäuberten Wäsche an den Kunden (s. Abbildung 4). Kunden können private Haushalte als auch Geschäftskunden (u.a. Hotel, Pension, Krankenhaus, Pflegeheim, Schule) sein. Die Kundenstruktur in der untersuchten Wäscherei besteht zu 40 % aus privaten Haushalten und Hotelkunden. Der größte Anteil mit 60 % der aufkommenden Schmutzwäsche entfällt jedoch auf regionale Pflegeheime. Die Sammlung der Kleidung erfolgt nach täglichen Tourenplänen.



*Abbildung 4: Systemabgrenzung.  
(eigene Darstellung)*

In den Heimen wird die Bewohnerwäsche in Wäschetaschen gepackt, welche bis zu 12 kg Wäsche aufnehmen können. Diese Wäschetaschen werden bei Mitnahme der Schmutzwäsche wiederholt in Rollcontainer umgeschlagen. Die Zuladung der Rollcontainer beträgt in der Regel zwischen 50 kg und 60 kg. Die Besonderheit der Wäsche aus Pflegeheimen ist die individuelle Kleidung der Bewohner. Die Artikel besitzen unterschiedliche Größen, Formen, Materialien und Farben.

Die Anforderungen an die Wäscherei sind die korrekte Waschung der Kleidung sowie die eindeutige Zuordnung der Kleidungsstücke. Um die Kleidungsstücke nach dem Reinigungsprozess dem Heim und dem Bewohner zuordnen zu können, werden Kennzeichnungen an der Wäsche vorgenommen. Die Abbildung 5 zeigt die stärkere Detaillierung des Teilsystems Großwäscherei. Der Wareneingang mit der Entladung, Identifizierung, Sortierung und Kennzeichnung der ankommenden Artikel bildet die umfangreichsten Prozesse ab. Die nachgelagerten Prozesse wie Reinigung, Aufbereitung, Lager können an den im Wareneingang eingeschleusten Waschaufrägen nur noch marginale Änderungen vornehmen. Der Warenausgang als einer der größten Pufferflächen ist von weiterer Bedeutung. Hier existieren nicht nur kapazitive Restriktionen sondern auch kommissionierte Kundenaufträge, die vollständig und zeitnah zugestellt werden müssen.



*Abbildung 5: Subsysteme der Großwäscherei.  
(eigene Darstellung)*

Die Problemstellungen der Ist-Situation der untersuchten Wäscherei können wie folgt zusammengefasst werden:

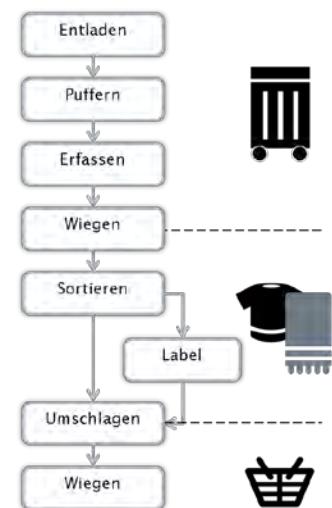
- Inhalt der Container ist durch geschlossenen Transport nur schwer einsehbar,
- Planung der Waschaufragsreihenfolge basiert auf unsicheren Daten,
- Aufwändige Umplanungen im operativen Betrieb und
- wenig Lagerfläche, An- und Neubau ist in den seltensten Fällen möglich.

Die Anforderungen und Ziele der durchgeföhrten Simulationsstudie beinhalten:

- Modellierung und Simulation der Ist-Situation,
- Ermittlung der Auslastung der Lagerflächen/Lagerbereiche im Wareneingang, vor den Waschmaschinen, im Warenausgang und
- Neuplanung einer Lagerhalle für Wareneingang/Warenausgang durch mehrere Konzepte unterstützen.

## 4.2 Datenanalyse und Konzeptionierung

Ein weiterer Schwerpunkt der Simulationsstudie liegt in der Analyse und Plausibilität der Input-Daten als auch die Konzeptionierung der untersuchten Teilsysteme. In der Abbildung 6 wird das konzeptionelle Modell vom Wareneingang beschrieben. Bis zum Wiegen verbleibt die ankommende Wäsche im Rollcontainer. Danach wird sie sortiert und gegebenenfalls gekennzeichnet und somit vereinzelt. Nach der Bearbeitung werden die einzelnen Wäschestücke in Wäschekörbe umgeschlagen. Diese Körbe dienen der Zwischenlagerung und Vorsortierung. Sie stehen vor den Waschmaschinen und beinhalten den kommenden Waschaufrag für die Maschine.



*Abbildung 6: Konzeptmodell Wareneingang.  
(eigene Darstellung)*

Für das aufzustellende Modell mussten Informationen zu relevanten Input- und Output-Größen des Systems erfasst werden. Fehlende Datensätze konnten durch Expertenbefragungen, Mitarbeiterbefragungen und eigene Prozess- und Zeitaufnahmen ergänzt werden. Die Angaben über die Anteile der einzelnen Kunden der Wäscherei waren jedoch unzureichend vorhanden. Es war dennoch bekannt, dass in etwa die Hälfte der Kunden der Wäscherei Pflegeheime sind. Hieraus war nicht erkennbar, welche unterschiedlichen Sorten an Wäsche die Pflegeheime generieren. Die Anteile der einzelnen Sorten in der Wäsche wirken sich jedoch auf den Wäschestrom und die benötigte Durchlaufzeit aus. Die Informationsdefizite konnten mit umfangreichen Recherchen und daraus entwickelten Berechnungen aufgelöst werden. Tabelle 1 zeigt die empfohlenen Artikel und deren Anzahl für einen Heimbewohner bei zweiwöchentlicher Reinigung.

Artikel	Ø Gewicht [g]	Ø Anzahl [St]
Unterhose	50	23
Unterhemd	100	18
Nachthemd / Schlafanzug	150	13
Röcke	350	8
Sweat-Shirt / Pullover	500	13
Jogginghose / -jacke	550	8
Kleider / Hemden	250	8
Anzüge / Sakkos	1200	4
Stümpfe / Socken (Paar)	70	13
Strumpfhosen	50	13
Morgenmantel	1000	2
Sommerjacke / - mantel	650	2
Winterjacke / - mantel	1300	2
Hausschuhe, waschbar	200	2
Jeans/Hose	800	4

Tabelle 1: Empfohlene Artikel und Anzahl pro Bewohner

Ergänzt durch die Einteilung einer Farbkategorie (hell; dunkel) und einem Temperaturbereich (30 °C; 60 °C; 90 °C) konnten umfassende und realitätsnahe Berechnungen zu Waschhäufigkeiten und Gewichtsverteilung bis auf Artikelebene berechnet werden. Aus einer errechneten Wäschemenge pro Tag lassen sich ebenso auch Wäschetasche pro Tag, Container pro Tag und schließlich die benötigten LKW als größte Aggregationsebene pro Tag ableiten. Diese Werte wurden über eine ermittelte Normalverteilung mit gewissen natürlichen Schwankungen versehen, sodass das System später realen Bedingungen unterliegen kann. Mithilfe dieser Angaben, sowie mit verschiedenen weiteren Parameterübergaben konnten in einer Tabellenkalkulation Inputströme in unterschiedlichster Ausprägung für einen Simulationstag erstellt werden. Die Ergebnisse der einzelnen Tage stellen somit beliebig viele Inputgrößen für die betrachteten Tage zur Verfügung.

Die Parametrisierung aus der Vorbetrachtung der Tabellenkalkulation umfasst:

- Ankunftszeiten von LKW im Wareneingang [in min],
- Mengen pro Container pro LKW [in kg],
- Anzahl der Wäschetasche pro Container [in St],
- Anteil von Bewohnerbekleidung und sonstiger Wäsche aus Pflegeheimen [in %] und
- Anteil von Schmutzwäsche aus privaten Haushalten, Hotels, Schulen etc.) [in %].

Ein Vorteil der erstellten Tabellenkalkulation ist die fast vollständige Parametrisierung aller Einflussgrößen. Zukünftige Änderungen von Parametern aufgrund von Systemänderungen müssen lediglich an nur einer Stelle geändert werden, wodurch sich der gesamte Inputstrom automatisch und unmittelbar ändert. Dadurch besteht die Möglichkeit auch Wäscheströme anderer Wäschereien in Zukunft, ohne erneuten Aufwand für die Erstellung von Input-Daten abzubilden.

## 5 Mikroskopische und mesoskopische Ansätze der Simulationsstudie im Vergleich

### 5.1 Konzeptmodelle

Im Gegensatz zum mikroskopischen Simulationsansatz verringert die Modellierung und Simulation mit dem mesoskopischen Ansatz primär die Anzahl an betrachteten Modellelementen. Der daraus resultierende flexible Detailierungsgrad ermöglicht nicht nur eine schnellere Modellerstellung sondern auch die Reduzierung der Performance. Beide Simulationsansätze innerhalb der Simulationsstudie bilden die Teilbereiche Wareneingang, Waschvorbereitung, Waschmaschinen, Nachbereitung und den Warenausgang ab. Exemplarisch für den Wareneingang der Großwäscherei wird dem konzeptionellen Modell aus Abbildung 6 das mesoskopischen Konzeptmodell vergleichend gegenübergestellt (s. Abbildung 7).



Abbildung 7: Konzeptvergleich mikroskopisch - mesoskopisch (eigene Darstellung)

Im mesoskopischen Konzept vereint das Elemente »Entladen« das aus dem mikroskopischen Konzeptmodell entstandene »Puffern«, »Erfassen«, »Wiegen« und bezieht sich auf die aggregierte Anzahl an ankommenden Rollcontainern, welche gleichzeitig Aufschluss über die ankommenden Masse an Artikeln gibt. »Sortieren« befasst sich mit der Entladung Aufteilung der Artikelflüsse nach unterschiedlichen Einteilungen und bildet hierbei die Ströme im »Sortieren« und »Labeln« ab. Das Element »Umschlagen« vereint wiederum die unterschiedlichen Flüsse zum »Wiegen« und löst die Ströme im weiteren Verlauf in das »Waschen« und »Aufbereiten« der Wäsche auf. Die daraus abgeleiteten stückweisen Flussraten und impulsförmigen Mengen bieten sich vor allem dann an, wenn homogene Ströme existieren die sich zum einen über die Zeit gleichverteilt abbilden lassen und zum anderen eine geringe Veränderlichkeit über die Zeit besitzen. Eine erste Kontrollfunktion der aufgestellten Konzeptmodelle ermöglicht eine Vergleichsrechnung der beiden Ansätze. Grundlage der Überschlagsrechnung bildet die Ankunft von einem LKW, darin enthalten 12 Rollcontainer. Die Zuladung der Rollcontainer beträgt 45 kg. Beispielhaft soll die Vergleichsrechnung für das Element »Entladen« im Wareneingang vorgenommen werden (s. Abbildung 8).

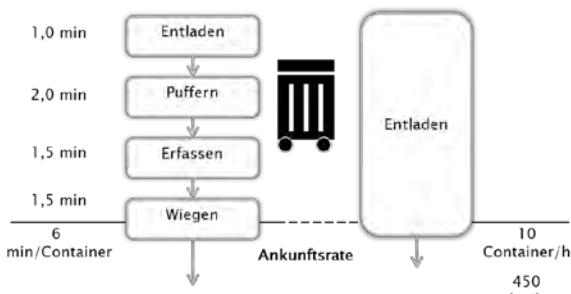


Abbildung 8: Vergleichsrechnung »Entladen«  
(eigene Darstellung)

Grundlage für die Zeiten von »Entladen«, »Puffern«, »Erfassen« und »Wiegen« bilden eigene Prozess- und Zeitaufnahmen in der betrachteten Wäscherei. Die feine Gliederung der Zeitbedarfe im linken Bildbereich entspricht der mikroskopischen Modellierung. Die Einzelzeiten entsprechen der Bearbeitungszeit eines Rollcontainers pro Element. Die Durchlaufzeit von 6 Minuten pro Container entsteht durch das Summieren der einzelnen Zeitbedarfe. Der mesoskopische Ansatz gibt eine Ankunftsrate der Rollcontainer von 10 Rollcontainern pro Stunde an. Diese Zahl entsteht durch die Division von einem Rollcontainer durch 6 Minuten, multipliziert mit 60 min. Eine weitere Möglichkeit ist die Berechnung der ankommenden Wäschemasse pro Stunde. Hierzu werden die 10 Rollcontainer pro Stunde mit der ankommenden Masse von 45 kg multipliziert. Die restlichen Berechnungen für das Gesamtsystem wurden analog des angegebenen Beispiels durchgeführt.

Aus diesem Abschnitt der Vergleichsrechnung wird ersichtlich, dass für die mesoskopische Betrachtung:

- weniger Elemente benötigt werden,
- weniger Rechenschritte notwendig sind,
- die Skalierbarkeit der Ergebnisse verbessert und
- die Prozessabbildung und -beschreibung realitätsgetreuer wird.

## 5.2 Simulationsmodelle

Im Folgenden soll anhand der mesoskopischen Modellierung die Umsetzung der Simulationsstudie und die Unterschiede der beiden benutzten Ansätze erläutert werden. Die Simulationsstudie wurden mit dem Simulationswerkzeug Siemens Tecnomatix Plant Simulation durchgeführt. Weitere vergleichende Modelle wurden mit der Software ExtendSim der Firma Imagine That Inc. erstellt.

Die aus der Tabellenkalkulation variierten Parameter werden als Inputstrom in das Modell eingelesen. Der Inputstrom wird im Simulationsmodell in eine Quelle übergeben und als Container erzeugt. Danach wird der Inhalt in einen Puffer zeitlos umgelagert, welcher den Laderaum des LKWs darstellt.

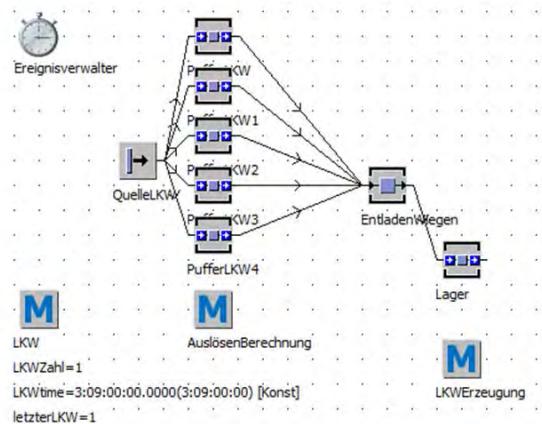


Abbildung 9: Wareneingang in Plant Simulation  
(eigene Darstellung)

Alsdann beginnt der eigentliche Entladeprozess. Die Entladung eines Containers nimmt 1 Minute und das Wiegen eines Containers 20 Sekunden in Anspruch. Die Zeiten lassen sich zusammen an einer Station abbilden, da die Entladung und das Wiegen von einem Mitarbeiter durchgeführt werden. Hierdurch laufen auch das Entladen und das Wiegen hintereinander ab. Von dem Baustein »EntladenWiegen« werden die Container in das Lager umgelagert, welches über eine definierte Kapazität von 30 Containern verfügt. Die Auslastung und die Kapazität des Lagers ist unter anderem ein Ziel der der Untersuchung. Mit verschiedenen Szenarien sollen anhand neugeplanter Wareneingangsgrößen Kapazitätsbeschränkungen des Lagers untersucht werden.

Den modellierten Vorgängen »Entladen«, »Puffern«, »Erfassen« und »Wiegen« schließen sich das »Sortieren« und »Labeln« an. Der zweite Abschnitt umfasst unterschiedliche Artikel mit unterschiedlichen Eigenschaften wie Farbe, Temperatur, Aufbereitung und Materialzusammensetzung. Daher wird dieser Schritt flussratenbasiert modelliert. Die Sortierung betrachtet als Aggregationsebene ein einzelnes Wäschestück. Ein Wäschestück wird im Mittel ca. 700 g wiegen, was auf den Tag gesehen, bis zu 4.000 Wäschestücke bedeutet. Diese 4.000 Wäschestücke passieren eine von zwei Sortierstationen und werden zu Mengen von ca. 40 kg sortiert nach folgenden Eigenschaften portioniert:

- Farbe: hell und dunkel und
- Temperatur: 30 °C, 60 °C und 90 °C

Für die Modellierung der Prozesse »Sortieren« und »Labeln« eignet sich eine mesoskopische Betrachtung besonders gut, da die errechnete Flussrate über einen längeren Zeitraum konstant bleibt. Auch ist die Homogenität des Flusses gegeben. Es wird lediglich eine Differenzierung von sechs Flussattributen vorgenommen. Die Geschwindigkeit der Sortierung und Etikettierung ist vorwiegend abhängig vom Inhalt des Containers. Besonders schnell werden Container sortiert, welche sortenrein aus Hotelwäsche bestehen, da Hotelwäsche über großflächige Artikel verfügt (Laken, Kissenbezüge, Bettdecken etc.) und überwiegend aus 90 °C Wäsche besteht. Ein Container mit sortenreiner Hotelwäsche liefert die beste Rate. Eine vergleichbar schlechte Rate liegt immer dann vor, wenn der Anteil an Kleidung sehr hoch ist, da zum einen die Wäschezusammensetzung sehr viel kleinteiliger ist und zum anderen müssen die Wäschestücke häufiger etikettiert werden.

Es wird im Modell angenommen, dass die Rate sich immer dann ändert, wenn ein neuer Container geöffnet und entleert wird. Es wird stets ein Container nach dem anderen entleert und nie mehrere gleichzeitig. Auf dem Sortiertisch werden keine Wäschestücke überholt. Wäschestücke mit unterschiedlichen Attributen befinden sich gleichverteilt im Wäschestrom wieder. Die Umsetzung dieser schon bereits vereinfachten Annahmen erweist sich als schwierig in Plant Simulation und bedarf zunächst einer besonderen Erklärung. Die Flüssigkeitssymbole in Plant Simulation (s. Abbildung 10) sollen die physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Medien beschreiben. Ein möglicher flussratenbasierter Simulationsansatz wie in Kapitel 3 beschrieben ist daher nicht vorhanden.

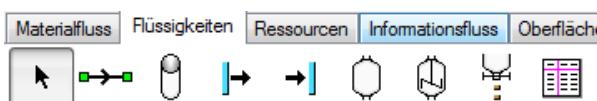


Abbildung 10: Flüssigkeitssbibliothek in Plant Simulation  
©Plant Simulation

Dadurch leitete sich kein direkter Ansatz aus den Grundfunktionen und Bausteinen der Flüssigkeitssbibliothek ab. Daher ist auch eine Weitergabe von Attributen für die eingesetzten Flüsse nur schwer möglich. Das bedeutet für den Fall der Wäscherei, dass auf herkömmliche Weise keine Informationen über den Fluss durch den Fluss weitergegeben werden können. Der Fluss an sich ist informationslos. Soll jedoch ein Fluss trotzdem bestimmte Attribute mit sich führen, so ist es erforderlich gemäß der Anzahl der Attribute auch die Anzahl an Flüssen zu erzeugen. Abstrahiert bilden diese Flüsse einen homogenen Strom ab. Darüber hinaus ist es in diesem Werkzeug nicht vorgesehen mehr als zwei Flussobjekte miteinander zu verknüpfen. Soll beispielsweise eine Quelle einen Fluss erzeugen, der von dort zunächst in einen Tank und von dort in einen Portionierer fließt, so ist dies nur möglich, wenn die Rate stets gleich bleibt. Dies widerspricht jedoch dem Grundgedanken der mesoskopischen Betrachtung, wo gerade die Flussratenänderung notwendig ist.

Das Beispiel mit einer Quelle, einem Tank und einem Portionierer verdeutlicht die Problemstellung. Wird zunächst eine Rate von 10 kg/sec für alle drei Objekte festgelegt, so fließt der Strom mit 10 kg/sec durch das modellierte Drei-Komponenten-System (Flüssigkeitssquelle - Tank/Portionierer - Senke). Soll nun die Rate des Tanks nach einer gewissen Zeit auf 5 kg/sec abfallen, so läuft der Tank unweigerlich voll, was zu Fehlern und falschen Modellen führt. Dieser Fehler trat in der Studie immer dann auf, wenn die Flussraten des ersten und dritten Objekts sich unterscheiden. Eine Regulierung des Tanks im Sinne eines Ventils zwischen zwei Objekten war scheinbar unmöglich. Außerdem ist es nicht möglich, Methoden an Tanks oder Quellen auszulösen. Auch hier waren die Grundfunktionen von Plant Simulation begrenzt, da keine bereits implementierte Möglichkeit besteht bei Ratenänderung am Tank oder bei bestimmten Tankbeständen Methoden auszulösen.

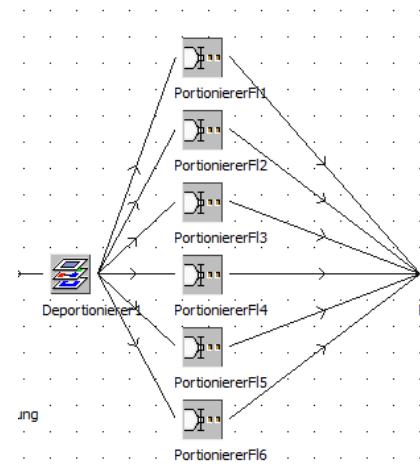


Abbildung 11: Sortieren und Labeln in Plant Simulation  
(eigene Darstellung)

Trotz der problematischen Gegebenheiten wurde der mesoskopische Simulationsansatz in Plant Simulation umgesetzt. Die Prozesse von »Sortieren« und »Labeln« wird im nächsten Schritt flussratenbasiert implementiert (s. Abbildung 11). Dafür werden die Attribute des zu leerenden Containers in einer Station ausgelesen. Anhand der Anteile und Eigenschaften (Farbe, Temperatur) sowie Herkunft (Kleidungswäsche, Restwäsche des Heims, Restwäsche von Hotels etc.) der Artikel werden die Mengen der einzelnen Wäschekörper berechnet und die entsprechenden Tanks befüllt. Die Rate der Sortierung berechnet sich aus herkunftsunabhängigen und herkunftsabhängigen Parametern. Diese berechnete Rate gilt für die gesamte Sortierdauer eines Containers. Anteilig davon werden die einzelnen Raten für die Tanks berechnet, sodass eine Gesamtrate entsteht die zur Homogenisierung des Stroms beiträgt (s. Abbildung 12). Die erzeugten Flüsse laufen in entsprechende Wäschekörbe, dargestellt durch Portionierer. Diese Körbe können in etwa 40 kg aufnehmen. Ist ein Portionierer blockiert, stoppt auch automatisch der Wäschestrom. Der nächste Container wird erst dann entladen sobald jegliche Wäsche des vorherigen Containers in den Wäschekörben gelandet ist.

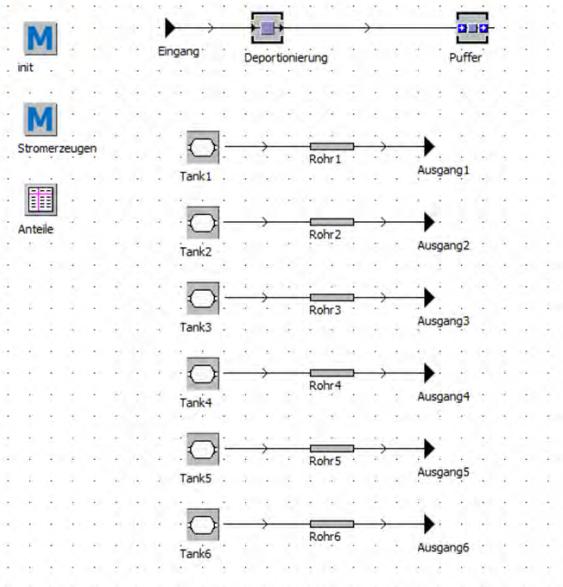


Abbildung 12: Modellierung der Sortierung  
(eigene Darstellung)

Die aufgezeigten Prozesse wurden somit durch einen flussratenbasierten Modellabschnitt erfolgreich implementiert. Ebenso umfangreich zu implementieren wie die Sortierung, ist das Warten. Falls ein weiterer Container deportiert werden möchte lässt sich kein Füllstand eines Tanks, sondern nur dessen Abflussrate beobachten. Fällt diese auf null, muss dies nicht zwangsläufig bedeuten, dass der Tank bereits geleert ist. Auch ein Stau führt zu einer Abflussrate von null. Das entwickelte »Türsteher«-Konzept kontrolliert ob ein Container in die Warteschlange gerät.

Ist dies der Fall, lässt eine Schleife solange die Methode warten bis die Abflussrate null beträgt und der Tank vollständig geleert ist. Erst dann ist für eine weitere Berechnung die Tür geöffnet.

Sind die Artikel in Waschaufrägen zusammengefasst, gelangen die Wäschestücke gesammelt in Pufferplätze vor den Waschmaschinen. Die Kapazität und Auslastung Pufferplätze vor den Maschinen bilden ebenso wie das Eingangslager einen wesentlichen Fokus der Studie. In den Waschmaschinen werden die Wäschestücke gewaschen, wobei die Dauer des Waschvorgangs abhängig von der Temperatur ist. Hier greift eine ereignisorientierter Betrachtung, da der Waschvorgang genau eine aggregierte Waschladung enthält. Die Waschmaschinen bilden eine Engstelle im untersuchten System, da dort Rückstauungen oder Störungen auch Auswirkungen auf die vorgelagerten Prozesse haben (s. Abbildung 13).

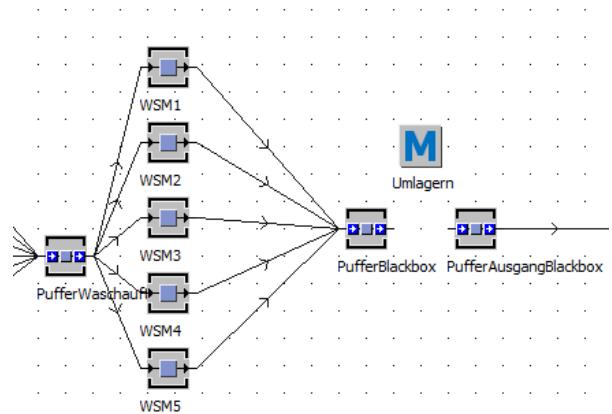


Abbildung 13: Modellierung der Waschscheidermaschinen  
(eigene Darstellung)

Nach dem Teilprozess »Waschen« werden die Wäschestücke in die »Aufbereitung« gegeben. Durch die Fokussierung auf den Wareneingang, den Waschmaschinen und dem Warenausgang sowie die jeweiligen Kapazitäten, Auslastungen und Zeiten der Prozesse und Maschinen wird die »Aufbereitung« als Blackbox modelliert. Die Vorgehensweise der Blackbox ist formalisiert beschrieben und beinhaltet die Annahmen, dass 90 °C Wäsche gemangelt und 30 °C /60 °C Wäsche zum Großteil getrocknet und gebügelt wird. Anschließend werden die Teile automatisiert oder manuell gefaltet und gelegt. Für die Umsetzung der Teilprozesse »Mangeln«, »Bügeln« und »Falten« wurde eine flussratenbasierte Betrachtung verwendet, um den Teilefluss ganzheitlich abzubilden. Dabei werden die Flussraten ähnlich wie bei der Sortierung erstellt und in unterschiedliche Behälter gefüllt. Eine Möglichkeit die hier zusätzlich modelliert wurde ist das nachträgliche Ändern der Flussrate. Es wurde beispielsweise angenommen, dass wenn 70 % der Menge für das Trocknen abgearbeitet wurde, die Rate auf 70 % der ursprünglichen Flussrate zurückfällt.

Eine Verschlechterung der Umschlagsleistung resultiert aus der Abnahme des Zwischenlagerplatzes und somit einer Erhöhung des Organisationsprozesse oder aber auch Abnahme der Arbeitsbereitschaft. Der Hintergrund der Implementierung beschreibt allerdings die Prüfung der Umsetzbarkeit einer veränderlichen Rate im laufenden Simulationsmodell.

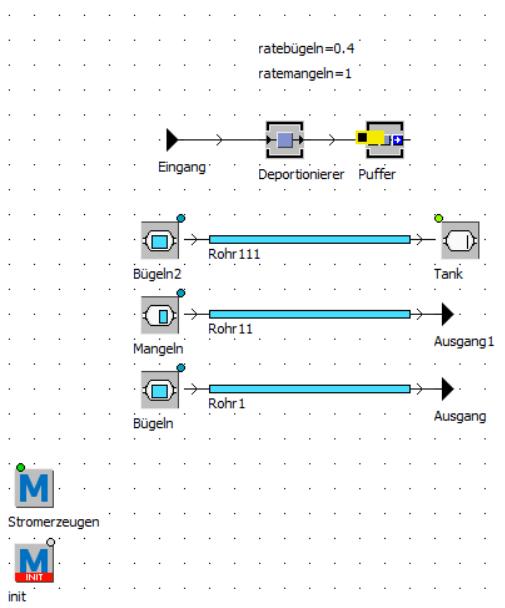


Abbildung 14: Modellierung des Bügelprozesses (eigene Darstellung)

Die Umsetzung der füllstandsbasierten Änderung wurde durch eine Duplizierung vorgenommen (s. Abbildung 14). Der erste Strom fließt zur weiteren Bearbeitung weiterhin in das System, wohingegen der zweite Strom in einen Tank fließt, welcher 70 % der erzeugten Flussmenge entspricht. Ist dieser Tank gefüllt, so wird eine Methode ausgelöst welche die Rate neu berechnet. Diese Methodik bedarf in diesem Simulationswerkzeug viel Rechenzeit, da der Strom dupliziert wird und eine Methodik, die den Tank überprüft nach Erzeugung des Stroms solange läuft, bis der entsprechenden Werte generiert wurden.

Die Flüsse von »Bügeln« und »Mängeln« laufen anschließend zusammen und werden wieder zu den ursprünglichen Containern gemäß der Liste aus dem Wareneingang formiert. Das Zusammenlaufen von Strömen erwies sich als komplizierte Modellierung im Simulationswerkzeug. Der vorgesehene Baustein »Portionierer« kann nur einen Vorgänger verwerten. Dies bedeutet, dass zwei Ströme nicht zusammengeführt werden können. Aus diesem Grund wurde ein Tank verwendet der immer wenn er voll ist, geleert wird. Das Volumen des Tanks entspricht der Größe des zu füllenden Containers. Es lässt sich die Erkenntnis daraus ableiten, dass immer dann wenn Tanks voll oder leer sind, Abflussraten der Vorgänger geändert werden. Sind diese einmal geändert, steigen sie nicht

wieder auf ihre ursprünglich vorgesehene Rate an. Flussraten müssen daher als lokale oder globale Variable abgespeichert werden. Diese werden dann bei jeder Änderung des Nachfolger-Tanks erneut gesetzt.

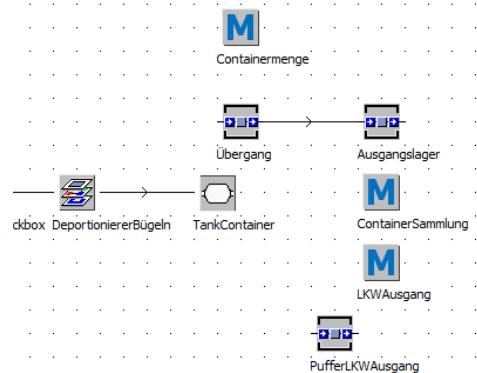


Abbildung 15: Modellierung des Warenausgangs (eigene Darstellung)

Anschließend werden die Container gepuffert und auf die LKW entsprechenend des Inputstroms verladen (s. Abbildung 15).

## 6 Vergleich

Anhand der Simulationsstudie für konzeptionelle Änderungen am Wareneingang und Warenausgang einer bestehenden Wäscherei ergeben sich viele Ansatzpunkte für die mesoskopische Simulation. Sie ergänzt eine rein mikroskopische Sicht durch die vereinfachte Zusammenfassung von Artikeln und Waschprozessen zu Flüssen. Es können daher wegweisende Erkenntnisse für die mesoskopische Betrachtung von Wäschereien als auch Verwendungsmöglichkeiten des Paradigmas innerhalb von Plant Simulation gewonnen werden.

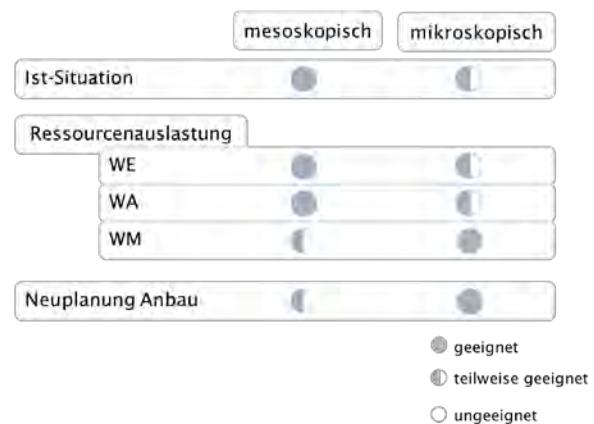


Abbildung 16: Vergleich der Ansätze für gegebene Zielstellung (eigene Darstellung)

Anhand eines Vergleiches zwischen den aufgestellten Zielkriterien wie die Abbildung der Ist-Situation, Ressourcenauslastung und Kapazitätsbeschränkungen im Warenausgang, Warenausgang und der Kapazität der Sammel-

flächen vor den Waschmaschinen und Auslastung der Waschmaschinen selbst sowie die Neukonzeptionierung eines Anbaus für Wareneingang und Warenausgang konnten erste Erfahrungen für geeignete und ungeeignete Anwendung der Ansätze gefunden werden. Da die Modellierung und Simulation der Studie für die beiden Ansätze innerhalb eines Werkzeuges vorgenommen wurden wurde die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verbessert. Die Bewertung der beiden Simulationsansätze innerhalb der Simulationsstudie (s. Abbildung 16) begründet sich daher auf folgenden Kriterien:

- Komplexität der Modellerstellung,
- Umfang der Programmierung bestehender Element,
- Auslastung der Rechenleistung,
- Dauer der Realzeit für Berechnungsvorgänge,
- Plausibilität der ermittelten Ergebnisse und
- Umsetzbarkeit der ermittelten Ergebnisse.

Es wird ersichtlich, dass die Ist-Situation einer Wäscherei mit beiden Ansätzen abbildbar ist. Jedoch ist aufgrund der komplexen Kunden- und Produktstruktur der mesoskopische Ansatz vorteilhafter. Die Komplexität der Modellerstellung ist geringer als die mikroskopische Sichtweise, da nicht für jeden Prozessschritt eine Modellierung vorgenommen werden muss. Die Abbildung der Prozess für die Waschmaschinen kann mesoskopisch als auch mikroskopisch abgebildet werden, dies steht doch in Abhängigkeit der technologischen und organisatorischen Eigenschaften der Maschine und der Waschprozesse. Mit den Ergebnissen beider Ansätze konnte die Plausibilität der Ist-Situation nachgewiesen werden. Bei der Neuplanung und der damit verbundenen Untersuchung von neuen Konzepten für Wareneingang und Warenausgang lassen sich mesoskopische Modelle durchaus für erste, weniger umfangreiche Konzepte umsetzen. Aufgrund der gewünschten Detaillierung von geplanten Prozessen und deren Auswirkung auf eventuell bestehende Prozesse ist die Wahl des mikroskopischen Ansatzes zielführender.

Zwar kann es zu einer umfangreichen Modellierung mit hohem Rechenaufwand kommen, doch liefern die detaillierten Ergebnisse umfangreiche Erkenntnisse zur Plausibilität und Umsetzbarkeit geplanter Konzepte.

Darüber hinaus ist es ebenso von entscheidender Bedeutung welches Simulationswerkzeug verwendet wird. Der Einsatz von Plant Simulation, als Standardwerkzeug für die ereignisdiskrete Simulation verlangt umfangreiche Kenntnisse im Bereich der Modellierung und Simulation von mesoskopischen Problemstellungen. Die Umsetzung erwies sich häufig als umfangreich, da sehr nachhaltig gearbeitet werden musste. Es ist ein tiefes Verständnis notwendig, zu welchen genauen Zeitpunkten Raten und Mengen erzeugt und geändert werden sollen. Nur wenn das konzeptionelle Modell detailliert ausgearbeitet ist, kann eine umfangreiche Modellierung nach den Zielkriterien erfolgen. Zusätzlich sind die Besonderheiten des Simulationswerkzeuges zu beachten.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der ausgewählten Simulationsstudie lassen sich für den Vergleich zwischen mikroskopischen und mesoskopischen Simulationsansatz wegweisende Erkenntnisse gewinnen. Großwäschereien verfügen über eine komplexe und individuelle Kunden- und Produktstruktur. Die vorherrschenden Prozesse verlangen je nach Prozessschritt einen stetigen Wechsel der Aggregationsebene. Ist im Wareneingang die zeitliche Verteilung und Anzahl der ankommenden LKW und der Rollcontainer pro LKW von Bedeutung, liegt die Detaillierung in der folgenden Sortierung sofort auf dem Wäschestück. Die Verteilung und Zusammenfassung des Wäschestückes ist wiederum abhängig von seinen umfassenden Eigenschaften.

Ein Ziel des angestellten Vergleiches ist es zukünftig auch Problemstellungen andere Wäschereien mithilfe des mesoskopischen Ansatzes zu lösen.

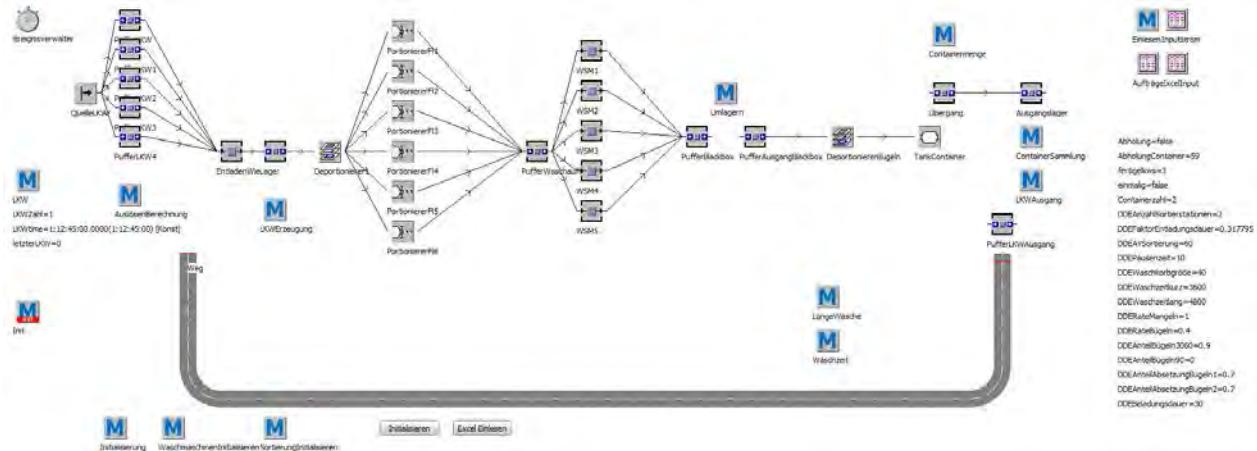


Abbildung 17: Vollständiges mesoskopisches Modell (eigene Darstellung)

Um eine Wäscherei, welche selbst individuelle Anforderungen an eine Simulationsstudie besitzt, skalierbar und veränderbar zu gestalten lassen sich verschiedene Parameter automatisiert aus einer Tabellenkalkulation in das Simulationsmodell übergeben.

Weitere Entwicklungsmöglichkeiten für die Modellierung und Simulation von industriellen Großwäschereien stellen Baukästen für standardisierte Prozessschritte der Wäschereien dar. Gleichermaßen gilt für die Erstellung von umfangreichen Analysen für die Inputgrößen (Tourenplanung, Eingangsmengen und Ankunftszeiten). Darüber hinaus ist die stärkere automatisierte Modelerstellung des Netzwerks der Sortierung gemäß der Anzahl der Flussattribute geplant. Bereits zum jetzigen Zeitpunkt ermöglicht die Ausarbeitung eine gute Skalierbarkeit und Parametrisierung der Wäscherei. Die Entwicklung der beschriebenen Ansätze wird zurzeit erforscht. Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass im Fall der vorgestellten Simulationsstudie der mesoskopische Ansatz eine durchsetzungstarke Alternative zur klassischen mikroskopischen Simulation darstellt. Ebenso ermittelt der mesoskopische Ansatz erste, aussagefähige Abschätzungen über das Systemverhalten in der betrachteten Großwäscherei. Somit erfüllt der Ansatz nicht nur die erwarteten Zielkriterien der Wäscherei, sondern kann durch variable und flexible Modellierung verlässliche Ergebnisse für Kapazitätsplanung, Maschinenauslastung, Personaleinsatzplanung und Kostenabschätzungen der industriellen Großwäschereien geben.

## 8 Danksagung

Für die lebhaften Diskussionen rund um Planung und Datenermittlung der mesoskopischen Modellierung und Simulation im Rahmen seiner Bachelorarbeit an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg möchte ich Herrn Tilmann Schwenzow herzlich danken.

## 9 Literatur

- [1] Brandau, A.; Weigert, D. Tolujew, J.: Anwendungen von Simulation zur Verbesserung von Prozessabläufen in Industriewäschereien. In: Simulation in production and logistics 2015: 16. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik. Stuttgart: Fraunhofer Verl.; 2015: S. 289–298.
- [2] Kuhn, A.; Rabe, M. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung. Berlin, Heidelberg: Springer; 1998.
- [3] Dangelmaier, W., Laroque, C.; Klaas, A. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2013: [Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung ; 15. ASIM Fachtagung] ; Paderborn, 09. - 11. Oktober 2013. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Inst. Univ. Paderborn; 2013.
- [4] Scholz-Reiter, B.; Freitag, M.; Beer, C. et al.: Modelling Dynamics of Autonomous Logistic Processes: Discrete-event versus Continuous Approaches. CIRP Annals - Manufacturing Technology; DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60134-6.
- [5] Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference : December 11 - 14, 2011, Phoenix, Arizona, U.S.A ; Piscataway, NY: IEEE Service Center; 2011.
- [6] Reggelin, T., Tolujew, J.: A mesoscopic approach to modeling and simulation of logistics processes. In: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference : December 11 - 14, 2011, Phoenix, Arizona, U.S.A ; Pis-cataway, NY: IEEE Service Center; 2011: 1513–1523.
- [7] Reggelin, T.; Schenk, M.: Mesoskopische Modellierung und Simulation logistischer Flusssysteme [Univ., Fak. für Maschinenbau, Diss.-Magdeburg, 2011]. Magdeburg: docupoint; 2011.
- [8] Schenk, M.; Tolujew, J.; Reggelin, T.: Mesoskopische Modellierung und Simulation von Flusssystemen: Mezoskopicheskoe modelirovanie potokobych sistem. Logistics collaboration : proceedings of the 2nd German-Russian Logistics Workshop, Saint Petersburg, DR-LOG '07 2007: 40–49.
- [9] Nyhuis, P.: Beiträge Zu Einer Theorie Der Logistik. Dordrecht: Springer; 2008.
- [10] VDI 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. Berlin: Beuth; 2000.
- [11] Page, B.; Liebert, H.: Diskrete Simulation: Eine Einführung mit Modula-2. Berlin [u.a.]: Springer; 1991.
- [12] Banks, J.: Discrete-event system simulation. 4 Aufl. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall; 2005.
- [13] Banks, J.: Handbook of simulation: Principles, methodology, advances, applications and practice. New York: Wiley; 1998.

- [14] Gilbert, G.; Troitzsch, K.: Simulation for the social scientist. 2 Aufl. Maidenhead, England, New York, NY: Open University Press; 2005.
- [15] Feldmann, K.; Reinhart, G.: Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion: Modellaufbau, Simulationsexperimente, Einsatzbeispiele. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg; 2000.
- [16] Cellier, F.: Continuous system modeling. New York, Berlin: Springer; 1991.
- [17] Windt, K.; Hülsmann, M.: Understanding autonomous cooperation and control in logistics: The impact of autonomy on management, information, communication and material flow. Berlin, New York: Springer; 2007.
- [18] Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2 Aufl. Berlin: Springer Vieweg; 2014.
- [19] Wagner, R.: Stock-Flow-Thinking und Bathtub Dynamics: Eine Theorie von Bestands- und Flussgrößen. Universität Klagenfurt; 2006.



# **KOMBINATION VON ANALYTISCHEN- UND SIMULATIONS- MODELLEN ZUR LEISTUNGS- BEURTEILUNG VON KOMMISSIONIERSYSTEMEN**

---

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Willibald A. Günthner  
Technische Universität München

# LEBENSLAUF



Dipl.-Wirt.-Ing. Stefan Galka

Technischen Universität München,  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

09/1997 – 12/1999

Lehre zum Speditionskaufmann – Hellmann-Nicolai Worldwide Logistics GmbH & Co.KG Osterweddingen.

01/2000 – 10/2000

Disponent – Hellmann-Nicolai Worldwide Logistics GmbH & Co.KG  
Osterweddingen.

10/2000 – 09/2005

Studium zum Wirtschaftsingenieur für Logistik  
an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

04/2002 – 09/2004

Hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut Fabrikbetrieb und –  
automatisierung IFF Magdeburg, Abteilung Prozess und  
Informationsmanagement.

10/2005 – 02/2006

Projektingenieur bei der SWJ Engineering GmbH  
(Schwerpunkte: Lager- und Prozessplanung, Anlaufmanagement).

Seit 02/2006

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss  
Logistik der Technischen Universität München  
(Schwerpunkte: Lager- und Kommissioniersystemplanung, Produktionslogistik).

Seit 06/2009

Mitglied des Lenkungskreises des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss  
Logistik der Technischen Universität München.

Seit 03/2010

Selbstständiger Unternehmensberater  
(Schwerpunkte: Lager- und Kommissioniersystemplanung, Fabrikplanung).

# KOMBINATION VON ANALYTISCHEN- UND SIMULATIONSMODELLEN ZUR LEISTUNGSBEURTEILUNG VON KOMMISSIONIERSYSTEMEN

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Willibald A. Günthner

## 1 Herausforderungen bei der Planung von Kommissioniersystemen

In Deutschland werden laut dem Center for Digital Technology and Management pro Jahr knapp 2,8 Mrd. Euro für das Picken von Artikeln aus Warenlagern ausgegeben [1]. Es ist damit zu rechnen, dass durch das Wachstum des Onlinehandels [2] und den Trend zu kleineren Beschaffungsmengen bei gleichzeitig immer höher werdenden Lieferfrequenzen [3] die Bedeutung von Kommissioniersystemen weiter zunehmen wird.

Dabei ist die Kommissionierung einer der arbeitsintensivsten Prozesse in der Logistik, dessen Kosten 50-70 Prozent der Logistikkosten ausmachen [4, 5]. Trotz der hohen Kosten ist der Automatisierungsgrad im Vergleich zu anderen Bereichen der Logistik gering [6]. Gründe hierfür liegen z.B. in den hohen Anforderungen an die Flexibilität und dem meist sehr heterogenen Sortiment, was eine vollständige Automatisierung schwierig macht. Um den Anforderungen, die sich aus dem heterogenen Sortiment und den teilweise stark unterschiedlichen Auftragsstrukturen ergeben besser gerecht zu werden, bestehen größere Kommissioniersysteme nicht selten aus verschiedenen Bereichen, in denen auf unterschiedliche Art und Weise kommissioniert wird. Solche Systeme werden auch als heterogene Kommissioniersysteme bezeichnet [7, 8].

Die Planung von Kommissioniersystemen zählt zu den schwierigsten Planungsaufgaben in der Logistik [8–10]. Begründen lässt sich diese Aussage zum einen durch die zahlreichen Gestaltungsmöglichkeiten, die für einzelne Kommissionierbereiche bestehen, wie z.B. die Auswahl des Kommissionierverfahrens, die Gestaltung des Layouts und die Auswahl geeigneter Betriebsstrategien. Hinzu kommt, dass zwischen den Gestaltungsmöglichkeiten Wechselwirkungen bestehen, wie z.B. zwischen der Wegstrategie (Teil der Betriebsstrategie) und der Layoutgestaltung. Bei heterogenen Kommissioniersystemen nimmt die Komplexität der Planung weiter zu, da in diesen Systemen z.B. auch die Aufteilung des Sortiments auf die Bereiche und die Reihenfolge, in der Aufträge in den einzelnen Bereichen bearbeitet werden, die Leistungsfähigkeit der Systeme beeinflussen.

Die Leistungsfähigkeit des Kommissioniersystems muss sich an den gesetzten Anforderungen und Zielen messen lassen. Die Zielsetzungen sind dabei sehr

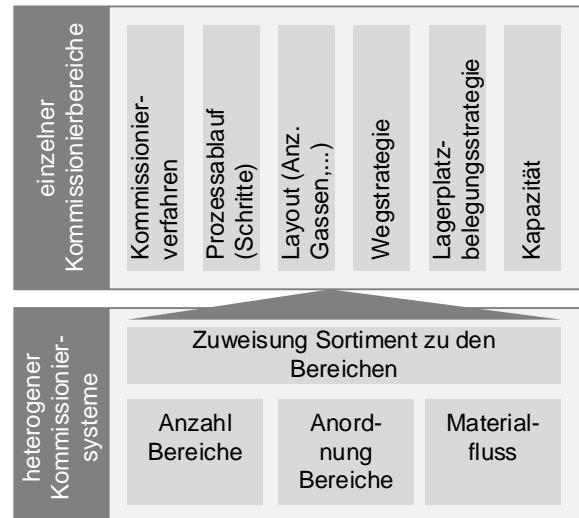


Abbildung 1: Bereiche an Gestaltungsmöglichkeiten für einzelne Kommissionierbereiche und heterogene Systeme (eigene Darstellung)

vielfältig, in den meisten Fällen steht aber eine hohe Wirtschaftlichkeit, ein hoher Durchsatz und kurze Durchlaufzeiten im Mittelpunkt, flankiert von Anforderungen hinsichtlich der Flexibilität, Transparenz und der Ergonomie.

Vor allem der Durchsatz und die Durchlaufzeit von Aufträgen in einem heterogenen Kommissioniersystem unterliegen dem Einfluss von zahlreichen Wechselwirkungen zwischen den Systembestandteilen. Beispielhaft sei hier auf Aufträge verwiesen, die zuerst in einem Bereich bearbeitet werden und dann in einem anderen Bereich vervollständigt werden. Die Leistung des zweiten Bereiches hängt damit von der Leistung des ersten Bereiches ab. Für eine 1:1-Beziehung ist dies noch überschaubar, doch liegen oft n:m-Beziehungen in heterogenen Kommissioniersystemen vor. In solchen Fällen lässt sich die Leistung mit den bekannten analytischen Durchsatzberechnungsmethoden nur noch annähernd bis gar nicht bestimmen.

Im folgenden Absatz 2 soll kurz der typische Planungsablauf für Kommissioniersysteme mit den einzelnen Planungsaufgaben vorgestellt werden. Zum Abschluss des Absatzes wird dargestellt, welche Hilfsmittel heute in der Planung eingesetzt werden und welche Vor- und Nachteile die Hilfsmittel haben. Im Absatz 3 wird ein neu entwickelter Ansatz vorgestellt, der analytische Berechnungsmethoden und Simulationsmodelle kombiniert.

## 2 Planung von Kommissioniersystemen

Wie jede Planungsaufgabe lässt sich auch die Planung von Kommissioniersystemen in fünf Phasen unterteilen, wobei die Planung mit der Definition von Zielen und Anforderungen (Phase 1) beginnt, danach die Plandaten analysiert werden (Phase 2) und im Anschluss verschiedene Konzepte entwickelt und miteinander verglichen werden (Phase 3). Die Konzeptauswahl (Phase 4) bildet den Abschluss der Konzeptplanung. Im Anschluss beginnt die letzte Planungsphase, die Systemplanung und Ausschreibung (Phase 5) (vgl. [11]). Gudehus [12] und Gu [13] konkretisieren die Tätigkeiten in den benannten Phasen, was in Abbildung 2 dargestellt ist. Dieser Beitrag konzentriert sich dabei vor allem auf den abgegrenzten Bereich in der Abbildung, der sich mit der Leistungsbewertung für unterschiedliche Systementwürfe (Gestaltungsmöglichkeiten) befasst.

In der Praxis beruhen die Entscheidungen bei der Systemgestaltung zumeist auf der Kreativität und der Erfahrung des Planers [14, 15]. Für spezielle Fragestellungen sind zahlreiche unternehmensspezifische Softwarewerkzeuge im Einsatz. Dabei handelt es sich zumeist um Excel-Tabellenkalkulationen, die um Makros erweitert wurden. So finden sich bei Fischer und Dietrich [16] zahlreiche kleine Excel-Kalkulationsprogramme, die den Planungsprozess unterstützen können. Auch Gudehus [12] und Hoffbauer [5] verweist auf Datenverarbeitungstools für die Lagerplanung. Dabei nutzen die meisten Tools in der Literatur publizierte analytische Berechnungsmethoden. Die in der Literatur publizierten Methoden befassen sich in Bezug auf das konventionelle Kommissionieren (Person-zur-Ware) mit der Bestimmung von Wegstrecken bei der Kommissionierung. Dabei werden die Lagerplatzbelegungs-, die Bewegungsstrategie und das Layout berücksichtigt [9]. Deutlich weniger Modelle lassen sich für das Kommissionieren im Regallager (Person-zur-Ware mit vertikalen Bewegungsanteilen) finden. Die Modelle konzentrieren sich auf die Bestimmung der Fahrzeiten im Lager. Ähnlich sieht die Situation für Ware-zur-Person-Systeme aus. Für solche Systeme finden sich zahlreiche Modelle für die Spielzeitberechnung der Regalbediengeräte des automatischen Lagers [17], nicht aber für die Leistungsbestimmung der Lagervorzone, die wesentlich die Leistung bei Ware-zur-Person-Systemen beeinflusst. Für alle angesprochenen Kommissionierverfahren bleibt festzuhalten, dass sich die publizierten Modelle bestimmten Aspekten widmen. Das gesamte Kommissioniersystem bildet keines der Modelle ab, dies gilt auch für heterogene Kommissioniersysteme. Dies liegt darin begründet, dass dynamische und stochastische Aspekte in den Modellen berücksichtigt werden müssen, die sich nur mit viel Aufwand in analytischen bzw. numerischen Modellen abbilden lassen. Aus diesen Gründen sind analytische Modelle nicht für die Abbildung des Gesamtverhaltens logistischer Systeme geeignet [18, 19].

Bei größeren Systemen erfolgt vor der Realisierung häufig eine Überprüfung mittels Ablaufsimulation. Diese Simulationsstudien sind meist sehr zeitintensiv, da die Abbildung eines bestimmten Kommissioniersystems entsprechend

aufwendig ist. Aus diesem Grund wird bisher die Simulation nur selten in der Konzeptphase eingesetzt. Ulbrich [20] und Venn [21] haben einen Planungsansatz für heterogene Kommissionieransätze entwickelt, der es erlaubt die Simulation bereits in der Konzeptentwicklung einzusetzen.

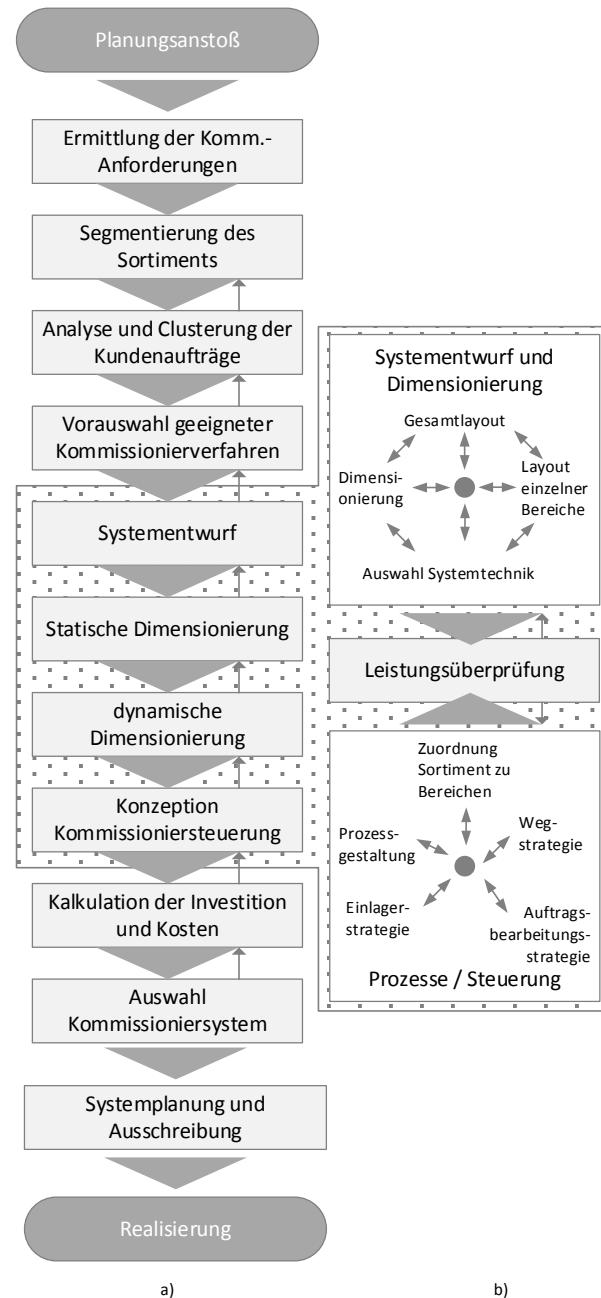


Abbildung 2: Typische Phasen bei der Planung von Kommissioniersystemen; eigene Darstellung in Anlehnung an a) [12] b) [13]

Der Ansatz basiert auf parametrierbaren Simulationsbausteinen, die zu einem Simulationsmodell für heterogene Kommissioniersysteme zusammengesetzt werden können. Ergänzt wird der Ansatz der genannten Autoren von einem Datenmodell, welches die notwendigen Ein- und Ausgangsdaten für die Simulationsstudien zur Verfügung stellt.

Um Daten für die Simulation bereitzustellen, müssen häufig Annahmen getroffen werden und die Daten an-

hand der Annahmen generiert werden. Dies verursacht auf der einen Seite einen nicht unerheblichen Aufwand in der Vorbereitung von Simulationsstudien. Auf der anderen Seite signalisieren die detaillierten Daten (Eingangsdaten und Ergebnisse) eine Planungsgenauigkeit, die oft nicht gegeben ist. Für die Generierung der Daten müssen häufig zahlreiche unterschiedliche Annahmen für bestimmte Aspekte, wie Artikelgewicht oder Anzahl Auftragspositionen, getroffen werden, die nicht selten auch eine gegenseitige Abhängigkeit aufweisen. Diese Abhängigkeiten werden dann bei der Generierung der Daten nicht berücksichtigt. Somit repräsentieren die generierten Daten nicht mehr die eigentlichen Eigenschaften des Sortiments und der Aufträge.

Ein bisher selten verfolgter Ansatz für die Leistungsbewertung von Kommissioniersystemen im Rahmen der Konzeptplanung ist die Kombination von analytischen Berechnungsmodellen mit Discrete-Rate Simulationsmodellen bzw. mesoskopischen Simulationsmodellen. Dabei sollen weitestgehend die analytischen Modelle für die Leistungsbestimmung der einzelnen Kommissionierbereiche im heterogenen System genutzt werden. Die dynamischen Aspekte und die Wechselwirkungen, die sich über die Zeit verändern können, werden mit Hilfe eines mesoskopischen Simulationsmodells untersucht. Damit kann der Aufwand für die Leistungsberechnung und Datenaufbereitung im Vergleich zur Ablaufsimulation (ereignisdiskreten Simulation) deutlich reduziert werden. Im Kapitel 3 wird das Vorgehen bei der Leistungsbestimmung für heterogene Kommissioniersysteme kurz erläutert. Der Schwerpunkt der Ausführungen liegt auf der Beschreibung der dynamischen Leistungsberechnung.

### 3 Leistungsbestimmung für heterogene Kommissioniersysteme

#### 3.1 Artikel- und Auftragsdaten analysieren

Als Datenbasis für die Planung dienen meist aktuelle Sortiments- und Auftragsdaten. Dies können durchaus große Datensätze mit mehreren hunderttausend Einträgen sein. Für die Planung ist es sinnvoll, diese Daten zu Artikel- und Auftragsgruppen zusammenzufassen, die das Spektrum des gesamten Sortiments bzw. der Aufträge wiedergeben. Für die Bildung der Artikel- und Auftragsgruppen wird eine multivariate Datenanalyse empfohlen, wobei z.B. Clusteranalysen zum Einsatz kommen können. Ergebnis sind repräsentative Aufträge und Artikel, die stellvertretend für den gesamten Datensatz die aktuellen Anforderungen an ein Kommissioniersystem wiederspiegeln. Diese aktuellen Anforderungen müssen auf die zukünftigen Anforderungen an das System übertragen werden. Aufbauend auf Informationen aus der Unternehmensplanung bzw. Marktstudien können die Anteile der Artikel- und Auftragsgruppen modifiziert sowie neue Gruppen hinzugefügt werden.

#### 3.2 Planungsvariante entwickeln

Für die beschriebenen Anforderungen gilt es denkbare Planungsvarianten für das Kommissioniersystem festzu-

legen. Dabei sei nochmals auf die Abbildung 2 verwiesen, die auf einem groben Niveau die Festlegungen bei der Beschreibung von Planungsvarianten aufzeigt. Den klassischen Planungsgrundsätzen folgend, sollten verschiedene Planungsvarianten entworfen und untersucht werden.

#### 3.3 Systemlast bestimmen

Die zukünftigen Anforderungen aus Kapitel 3.1 beschreiben unter anderem die Verteilung der Aufträge des Kommissioniersystems auf die Auftragsgruppen. In diesem Kontext werden die Anforderungen als Kundenauftrag beschrieben. Bei der Entwicklung der Planungsvarianten wird sowohl durch die Wahl der Kommissionierbereiche und deren Verknüpfung als auch durch die Zuordnung der Artikelgruppen zu den Bereichen der spätere Materialfluss bei der Auftragsbearbeitung festgelegt. Aus diesem Grund muss die Systemlast für jede Planungsvariante separat bestimmt werden. Dazu wird für jeden repräsentativen Kundenauftrag der Weg durch das Kommissioniersystem festgelegt. Dabei kann es durchaus notwendig sein, dass ein Kundenauftrag in mehrere Kommissionieraufträge zerlegt wird.

Dies ist z.B. der Fall, wenn in den Bereichen eine parallele Bearbeitung stattfinden soll und der Kundenauftrag Positionen von Artikelgruppen enthält, die unterschiedlichen Bereichen zugeordnet wurden. Somit kann für jeden repräsentativen Kommissionerauftrag festgelegt werden, in welchem Bereich die Bearbeitung beginnt und welche Bereiche anschließend folgen (vgl. Abbildung 3).

Da die Anzahl der in einem Kommissionierbereich zu bearbeitenden Aufträge über den Tag stark schwanken kann, wird die Systemlast in Abhängigkeit der Zeit beschrieben. Im vorliegenden Modellansatz wird immer ein repräsentativer Tag untersucht, der in Zeitscheiben unterteilt wird. Für jede Zeitscheibe wird die Systemlast bestimmt, wobei sich nur die Anzahl Aufträge pro Zeiteinheit verändert, nicht aber der Bereich, indem ein Auftrag gestartet wird.

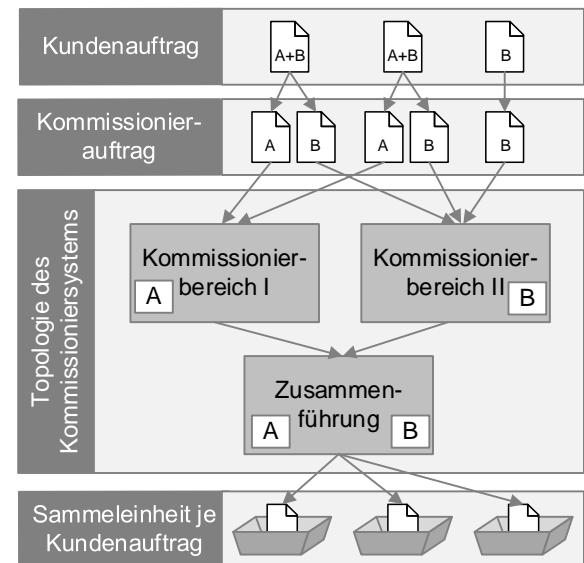


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Systemlastermittlung (eigene Darstellung)

### 3.4 Statische Leistungsberechnung

Die statische Leistungsberechnung ist weitestgehend unabhängig von der Systemlast. Im Rahmen der statischen Leistungsberechnung wird für jeden Kommissionierauftrag und jeden Kommissionierbereich die Auftragsbearbeitungszeit bestimmt. Entscheidend hierfür ist der Anteil der Auftragspositionen, der im betrachteten Bereich kommissioniert werden muss, was über die Zuweisung der Artikelgruppen zu diesem Bereich festgelegt wurde. Im Mittelpunkt der statischen Dimensionierung stehen dabei Prozessmodelle.

Aktuell wurden für das konventionelle Kommissionieren, das Kommissionieren im Hochregal und das Kommissionieren an Pickstationen (Ware-zur-Person) Prozessmodelle entwickelt. Dabei wird die Prozesszeit mittels parametrierbarer Methods-Time-Measurement (MTM)-Prozessbausteine bestimmt. Die Prozessbausteine können sich aus mehreren Prozessschritten zusammensetzen, wobei Prozessschritte in unterschiedlichen Bausteinen genutzt werden können (siehe Abbildung 4). Neu an diesen Prozessschritten ist, dass die Berücksichtigung von Einflussgrößen auf die Prozesszeit, wie z.B. dem Artikelgewicht oder den Abmessungen, innerhalb des Prozessschrittes erfolgt.

Um mit diesen universell nutzbaren Prozessschritten die Zeit für einen bestimmten Kommissionierauftrag zu bestimmen, müssen die Einflussgrößen bestimmt werden. Zum Teil können diese direkt aus den Eigenschaften des repräsentativen Artikels oder Auftrages abgeleitet werden. Andere Einflussgrößen ergeben sich aus den Beschreibungen der Planungsvariante, wie z.B. die Gassenlänge oder das eingesetzte Transportmittel. Für die Person-zur-Ware Kommissioniersysteme werden im Rahmen der Ermittlung der Einflussgrößen die in der Literatur publizierten Methoden zur Bestimmung der Laufwege genutzt. Bei Ware-zur-Person Systemen wird mittels der analytischen Berechnungsvorschriften und definierten Regelwerke (für die Vorzone) die mögliche Anzahl Bereitstelleneinheiten an einer Pickstation bestimmt und unter Berücksichtigung der Entnahmzeiten die Bearbeitungszeit für einen Auftrag bestimmt.

### 3.5 Dynamische Leistungsbestimmung

Die Auftragsbearbeitungszeit und die Systemlast bilden zusammen mit Parametern aus der Beschreibung der Planungsvariante die wesentlichen Eingangsgrößen für die dynamische Leistungsbestimmung, die mittels mesoskopischer Simulationsmodelle erfolgt. Das mesoskopische Simulationsmodell für ein heterogenes Kommissioniersystem besteht mindestens aus einem, meist aber aus mehreren Kommissionierbereichen.

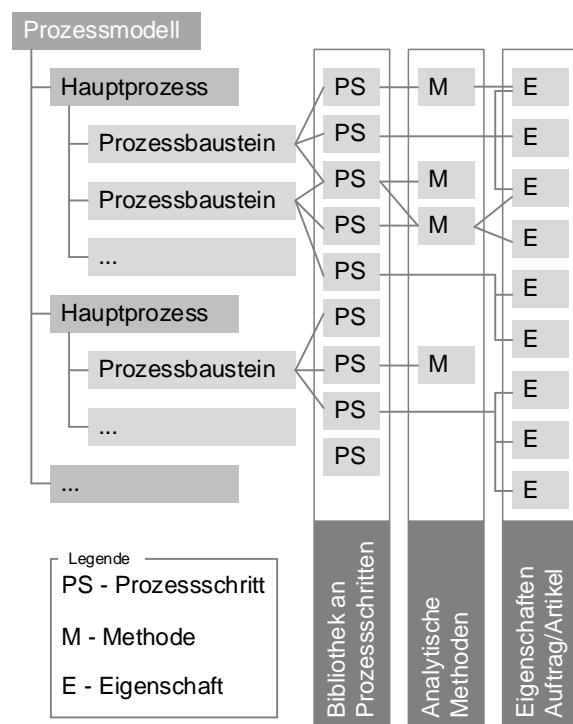


Abbildung 4: Schematischer Aufbau des Prozessmodells mit Hauptprozessen, Prozessbausteinen und Prozessschritten. Nicht dargestellt bei den Eingangsgrößen sind die Parameter aus der Beschreibung der Planungsvarianten. (eigene Darstellung)

Ein solcher Bereich lässt sich vereinfacht wie in Abbildung 4 ersichtlich mit zwei Trichtern beschreiben. Der obere Trichter repräsentiert dabei den Eingangspuffer. In diesem werden Sammeleinheiten gepuffert die bereits in anderen Bereichen bearbeitet wurden. Der Bestand in einem Trichter wird hinsichtlich der unterschiedlichen Kommissionieraufträge differenziert und kann in der Aufnahmekapazität beschränkt sein. Dies gilt nicht für Aufträge, die erst in diesem Bereich begonnen werden, aber auch im Trichter auf die Bearbeitung warten.

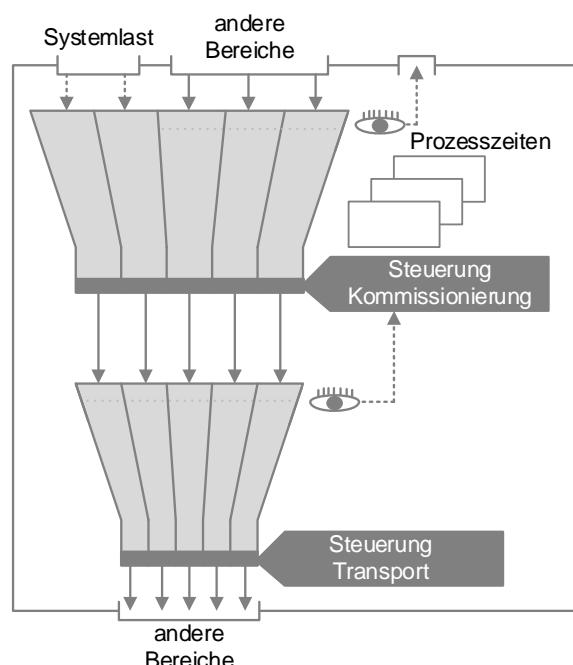


Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines Kommissionierbereiches (eigene Darstellung)

Der Grenzdurchsatz des Trichters ist zum einen von der Prozesszeit für jeden Kommissionierauftrag (der die Auftragsgruppe repräsentiert) abhängig (statische Leistungsberechnung) und zum anderen von der Verteilung der zur Verfügung stehenden Ressourcen auf die einzelnen Kommissionierauftragstypen.

Die Aufteilung erfolgt durch die Steuerung des Trichters. Für die Aufteilung der Kapazitäten können unterschiedliche Strategien genutzt werden. Die Festlegung erfolgt bei der Beschreibung der Planungsvarianten über einen Parameter. Bei der Bestimmung des tatsächlichen Durchsatzes werden der Grenzdurchsatz, der Zufluss und der Bestand im Trichter berücksichtigt. Dieser so bestimmte Durchsatz ist zugleich der Zufluss in den zweiten (unten) Trichter. Dieser stellt den Ausgangspuffer des Kommissionierbereiches dar, der hinsichtlich seiner Kapazität auch beschränkt werden kann. Wird die Kapazität des Trichters erreicht, können keine weiteren Aufträge (Sammeleinheiten) aufgenommen werden, was zwangsläufig dazu führt, dass der Durchsatz der Kommissionierung (oberer Trichter) den Wert null annimmt.

Der Durchsatz des zweiten Trichters repräsentiert im Modell die Kapazität des Transportprozesses zwischen den Bereichen. Analog zur eigentlichen Kommissionierung kann die zur Verfügung stehende Transportkapazität auf die unterschiedlichen Kommissionieraufträge aufgeteilt werden.

Neben den Kommissionierbereichen besteht das Modell eines heterogenen Kommissioniersystems aus mindestens einem Zusammenführungsbereich. Dieser funktioniert wie der obere Trichter des Kommissionierbereiches. Da das beschriebene Modell den Versandprozess nicht berücksichtigt, ist nach der Zusammenführung, die auch die Verpackung der Waren beinhaltet kann (Prozesszeit), der Kommissionierprozess beendet. Der zweite Trichter entfällt damit, weil es kein beschränkendes Element gibt, welches den Durchsatz beeinflussen kann.

Weitere Bestandteile sind die Transportelemente, die die Transportzeit zwischen zwei Bereichen abbilden, nicht aber die Transportkapazität, die innerhalb der Kommissionierbereiche Berücksichtigung findet. Weiterhin gibt es in jedem Modell noch eine Quelle (Auftragseinsteuerung) um ggf. die Auftragsfreigabe von Kommissionieraufträgen zu einem Kundenauftrag zeitlich zu verzögern und eine Senke. Die Senke dient dazu, den Durchsatz des Kommissioniersystems für jede Zeitscheibe zu erfassen, da das mesoskopische Simulationsmodell mit variablen Zeitschritten arbeitet und die Zeitscheiben nur für die Systemlastbeschreibung genutzt werden. Weiterführende Informationen zur Funktionsweise von mesoskopischen Simulationsmodellen finden sich in den Arbeiten von Reggelin [22].

Großer Vorteil des vorgestellten hybriden Ansatzes ist, dass sich das Simulationsmodell aus gleichartigen Elementen zusammensetzt. Dies bedeutet z.B., dass es nur eine Art von Kommissionierbereich gibt und nicht zwischen

den Bereichen unterschieden werden muss. Die Unterscheidung zwischen den Kommissionierverfahren erfolgt bereits in der statischen Leistungsberechnung durch die unterschiedlichen Prozessmodelle. Damit muss bei der Erstellung der Simulationsmodelle lediglich die Struktur (Topologie) des Systems abgebildet werden.

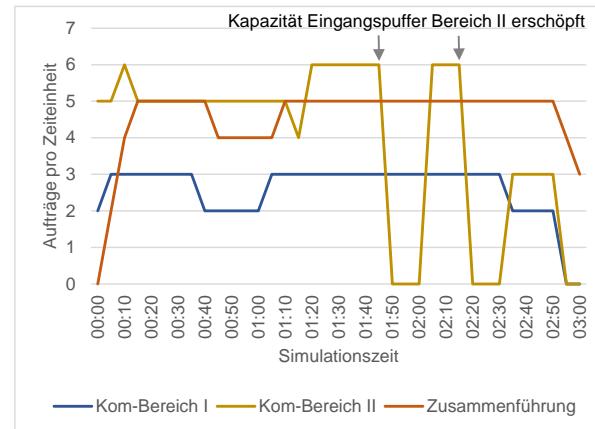


Abbildung 6: Durchsatz je Bereich (eigene Darstellung)

### 3.6 Bewertung der Ergebnisse

Die Simulationsergebnisse werden zu unterschiedlichen Kennzahlen und -linien zusammengefasst. Dies sind z.B. der mittlere Durchsatz pro Zeitscheibe oder die Durchlaufzeit je Zeitscheibe.

Mit Hilfe von Kalkulationskostensätzen in einer Datenbank können auf Grundlage der Beschreibungsparameter der Planungsvariante die Investitionen und Betriebskosten abgeschätzt werden. Damit sind auch Angaben über die erwarteten Kosten pro Pick oder Auftrag möglich.

### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Planung von heterogenen Kommissioniersystemen gibt es keine analytischen Berechnungsmethoden, die den gesamten Prozess bei der Auswahl geeigneter Systemkonfigurationen unterstützen. Die publizierten Methoden betrachten einzelne Aspekte, nicht aber das ganze Kommissioniersystem. Um die zahlreichen Wechselwirkungen in einem heterogenen Kommissioniersystem untersuchen zu können, wird in der Literatur auf die Ablaufsimulation verweisen, mit dem Nachteil, dass die für die Simulation notwendigen Daten aufwendig und unter zahlreichen Annahmen generiert werden müssen sowie dass die Erstellung der Simulationsmodelle zeitintensiv ist.

Eine Kombination von analytischen Berechnungsmethoden für die Bestimmung der Prozesszeiten der einzelnen Kommissionierbereiche und Simulationsmethoden hilft den Aufwand zu reduzieren, da das Simulationsmodell nicht mehr die Besonderheiten eines jeden Kommissionierbereich abbilden muss. Vielmehr wird jeder Kommissionierbereich durch ein gleichartiges Element repräsentiert, welches nur noch über wenige Parameter an die Überlegungen aus der Planung angepasst werden muss.

Die entwickelten Prozessmodelle für die Prozesszeitbestimmung eines Bereiches können ebenfalls über Parameter an die Vorstellungen des Planers angepasst werden. Das Prozessmodell ermittelt basierend auf den MTM-Bausteinsystemen UAS und Standarddaten Logistik die Prozesszeiten für die manuellen Tätigkeiten. In das Prozessmodell sind analytische Berechnungsmethoden für die Bestimmung von Wegstrecken oder Spielzeiten bei automatischen Lagersystemen integriert.

Eine erste Validierung der Ergebnisse hat gezeigt, dass es nur geringe Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Ablaufsimulation und dem hier vorgestellten hybriden Konzeptes gibt. Allerdings haben die Untersuchungen auch gezeigt, dass bei Kommissioniersystemen mit vielen Bereichen und stark schwankenden Systemlasten die Simulationszeit stark ansteigt, da der mesoskopische Simulationsansatz in diesem Fall zu vielen Zeitschritten führt, für die jeweils die Systemvariablen berechnet werden müssen. Daraus lässt sich bereits ableiten, dass der vorgestellte Ansatz für eine erste schnelle Untersuchung von heterogenen Kommissioniersystemen geeignet ist und damit den Anforderungen in der Konzeptplanung gerecht wird. Für tiefgehende Untersuchungen im Rahmen der Feinplanung bietet sich gegebenenfalls die ergebnisdiskrete Simulation an.

## 5 Literatur

- [1] Brantner, F.: eLab Project at Magazino – Projectreport. München 2015.
- [2] Bundesverband E-Commerce und Versandhandel (bevh): »Interaktiver Handel in Deutschland 2014«. Abrufdatum 05.06.2015.
- [3] Wehking, K.-H.: Vorbild Supermarkt. In: Logistik Heute (2009) 11, S. 31.
- [4] Tompkins, J. A.: Facilities planning, 4th ed. Hoboken, NJ, Chichester 2010.
- [5] Pulverich, M.; Schietinger, J.: Handbuch Kommissionierung. München 2009.
- [6] Straube, F.: Trends und Strategien in der Logistik. Ein Blick auf die Agenda des Logistik-Managements 2010. Hamburg 2005.
- [7] Arnold, D. (Hrsg.): Handbuch Logistik. Berlin 2008.
- [8] Hompel, M. ten; Beck, M.; Sadowsky, V.: Kommissionierung. Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin 2011.
- [9] Koster, R. de; Le-Duc, T.; Roodbergen, K. J.: Design and control of warehouse order picking: A literature review. In: European Journal of Operational Research 182 (2007) 2, S. 481–501.
- [10] Gudehus, T.: 10 Goldene Regeln der Logistikplanung. In: Wolf-Kulthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2006. Korschenbroich 2006.
- [11] Hompel, M. ten; Sadowsky, V.; Beck, M.: Materialflusssysteme. Berlin 2011.
- [12] Gudehus, T.: Netzwerke, Systeme und Lieferketten. Berlin 2000.
- [13] Gu, J.; Goetschalckx, M.; McGinnis, L. F.: Research on warehouse operation: A comprehensive review. In: European Journal of Operational Research 177 (2007) 1, S. 1–21.
- [14] Jobi, B., Neuhäuser, D., Sommer, T.: Ganzheitliche Planung logistischer Systeme. In: Scheid, W.-M. (Hrsg.): 5. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL). Ilmenau 2009.
- [15] Sommer, T.; Wunderle, A.: Erfahrung und Augenmaß zählen: Planung von Intralogistiksystemen. In: Fördern + Heben 54 (2014) 7-8, S. 428–30.
- [16] Fischer, W.; Dittrich, L.: Materialfluß und Logistik. Berlin 2004.
- [17] Roodbergen, K. J.; Vis, I. F. A.: A survey of literature on automated storage and retrieval systems. Rotterdam, Rotterdam 2008.
- [18] Law, A. M.; Kelton, W.: Simulation modeling and analysis, 4th ed. Boston 2007.
- [19] Hartberger, H.: Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme. Berlin, New York 1991.
- [20] Ulbrich, A. S.: Simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen. München 2010.
- [21] Venn, E.: Beitrag zur simulationsgestützten Konzeptplanung von heterogen strukturierten Kommissioniersystemen. Dortmund 2011.
- [22] Reggelin, T.: Mesoskopische Modellierung und Simulation logistischer Flusssysteme. Magdeburg 2011.

# **EMULATION ALS TEIL EINES MATERIALFLUSSLABORS**

---

Sebastian Langer B. Sc.  
Wladimir Hofmann B. Sc.  
Sebastian Lang B. Sc.  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

# LEBENSLAUF



Sebastian Langer B.Sc.

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg,  
Student

- |         |   |
|---------|---|
| 10/2011 | Beginn des Studiums zum Wirtschaftsingenieur Logistik (B.Sc.) –<br>Otto-von-Guericke Universität Magdeburg.                 |
| 10/2014 | Sammeln praktischer Erfahrung in der Kontraktlogistik im Dienste der DB<br>Schenker Australia PTY Ltd.                      |
| 05/2015 | Erstellen des Konzeptes des im Beitrag behandelten Materialflussmodells als<br>Abschlussarbeit am Fraunhofer IFF Magdeburg. |
| 10/2015 | Beginn des Masterstudiums Wirtschaftsingenieur Logistik –<br>Otto-von-Guericke Universität Magdeburg.                       |

# LEBENSLAUF



Wladimir Hofmann B. Sc.

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg,  
Student

- |         |   |
|---------|---|
| 10/2012 | Beginn Studium Wirtschaftsingenieurwesen Logistik (B. Sc.) – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. |
| 10/2015 | Praktikum Daimler AG Werk Wörth, Externe Materialflussplanung.  |
| 01/2016 | Abschlussarbeit Fraunhofer IFF Magdeburg.   |
| 04/2016 | Beginn Studium Wirtschaftsingenieurwesen Logistik (M. Sc.) – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. |

# LEBENSLAUF



Sebastian Lang B. Sc.

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg,  
Student

- |         |   |
|---------|---|
| 10/2010 | Beginn Studium Wirtschaftsingenieurwesen Logistik (B. Sc.) – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. |
| 10/2013 | Praktikum Daimler AG, International Supplier Management (Sindelfingen).                               |
| 04/2014 | Bachelor-Abschlussarbeit Fraunhofer IFF Magdeburg.  |
| 09/2014 | Studentische Hilfskraft am Lehrstuhl Logistische Systeme – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.   |
| 10/2014 | Beginn Studium Maschinenbau Produktionstechnik (M. Sc.) – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.    |
| 10/2015 | Beginn Studium Wirtschaftsingenieurwesen Logistik (M. Sc.) – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. |
| 03/2016 | Studentische Hilfskraft am Fraunhofer IFF Magdeburg.  |

# EMULATION ALS TEIL EINES MATERIALFLUSSLABORS

Sebastian Langer B. Sc., Wladimir Hofmann B. Sc., Sebastian Lang B. Sc.

## Abstract

Um den Erwartungen an die zukünftige Logistikausbildung gerecht zu werden, wird im Rahmen des LogCentre-Projektes eine integrierte Lernumgebung an der Deutsch-Kasachischen Universität Almaty implementiert. Diese Entwicklung der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wird es Studenten ermöglichen, Logistikprozesse entlang einer modellhaft dargestellten Supply Chain zu gestalten, zu implementieren und zu verifizieren. Die Lernumgebung umfasst ein miniaturisiertes und automatisiertes physisches Materialflusssystem mit speicherprogrammierbarer Steuerung und RF-Identifikation, eine selbstentwickelte, Excel-basierte Steuerungssoftware und damit verbundene Modelle zur computergestützten Materialflusssimulation.

Schwerpunkte dieses Papers sind die Entwicklung eines Ansatzes zur Prozessgestaltung mit vordefinierten Prozessbausteinen und zum anderen die Entwicklung eines Emulationsmodells zur digitalen Inbetriebnahme eben jener Prozesssteuerung.

## 1 Einführung

Individualisierung und Regionalisierung von Produkten sind bedeutende Trends für das produzierende Unternehmen von heute. Gemeinsam mit den gestiegenen Anforderungen hinsichtlich Servicequalität und Produktionsplanflexibilität führt die daraus resultierende Produktvielfalt zu einer Komplexität, die klassische Produktions- und Logistiksysteme überfordert [1]. Diese Entwicklung trifft im Besonderen die Schnittstellentechnologie Materialflusssystem und die damit verbundenen Steuerungssysteme. Das Konzept »Industrie 4.0« begegnet dieser Herausforderung mit der Digitalisierung und Vernetzung aller Elemente des Materialflusses [2]. Diese Entwicklung resultiert in dezentralisierten Materialflussteuerungen, die auf eine zuverlässige Identifikation zur Entscheidungsunterstützung angewiesen sind. RFID bietet die technologischen Voraussetzungen dafür.

Neben den genannten Herausforderungen auf technischer Seite erfordern auch die Veränderungen der Weltwirtschaft eine bessere Logistikausbildung in Kasachstan. Die Verlagerung der weltweiten Produktionsvolumina wird neue Transportwege und Umschlagszentren hervorbringen. Einer der profitierenden Orte wird Kasachstan sein, da der Binnenstaat auf der kürzesten Überlandroute zwischen Europa und Ostasien liegt.

In dem langfristig angelegten Entwicklungsplan »Kasachstan 2030« wurde dem Bau einer leistungsfähigen Logistikinfrastruktur eine hohe Priorität eingeräumt. Das Strategiepapier berücksichtigt dabei, dass neben den Investitionen in Straßen und Schienen die Ausbildung von Logistikspezialisten ein entscheidender Erfolgsfaktor ist. [3] Noch deutlicher wird dieser Bedarf, wenn man die bisherige Leistungsfähigkeit der kasachischen Unternehmen betrachtet: Die Weltbank bewertet die individuelle Logistikkompetenz der relevanten Personengruppe nur mit dem 81. Platz weltweit [4]. Um dieses brachliegende Potential zu nutzen, wurde im Jahr 2014 das LogCentre-Projekt gestartet. Diese Kooperation zwischen führenden Einrichtungen der deutschen Logistikforschung und -ausbildung (z.B. Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Fraunhofer IFF Magdeburg) und der Deutsch-Kasachischen Universität (DKU) zu Almaty ist die Keimzelle für up-to-date Logistiklehre, Beratung und industriennahe Forschung in Kasachstan. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert die Anlaufphase des LogCentres. Die Aus- und Weiterbildungsangebote des Projektes zielen auf die Studenten aus den Studiengängen Logistik und Telematik (als Wirtschaftsingenieurs-Ausbildung angelegt) und auf Fachleute aus der industriellen Praxis [5].

Um den Herausforderungen in modernen Materialflussystemen zu begegnen und die Industrie 4.0-Lösungen in die Logistiklehre zu integrieren, bedarf es eines praktischen und einfach zugänglichen didaktischen Konzeptes und einer geeigneten Lernumgebung. Die Lehre sollte das Hauptaugenmerk auf das genaue Verständnis der Intralogistikprozesse (inklusive Prozessgestaltung, -implementierung und -verifikation) und auf die verwendeten Technologien (Automatisierungstechnik, RFID, Materialflusssimulation und ERP-Integration) legen.

Die heutige Wirtschaftsingenieursausbildung versucht, der Schnittstellenfunktion der Logistik mit einem sehr breiten Ausbildungsprogramm gerecht zu werden. Es gibt Kurse zur Vermittlung von Grundwissen im klassischen Maschinenbau, für erste Einblicke in Steuerungssysteme, für das Erlernen der Anwendung von ERP-Software und für die Nutzung von Simulationswerkzeugen. All dieses Wissen wird dem Studenten mit Hilfe von abstrakten Aufgaben vermittelt – Synergien von Prozess und Technologie zu erkennen oder praktische Erfahrung zu sammeln bleibt ihm verwehrt.

Der im Folgenden beschriebene Ansatz kombiniert Computersimulation und Automatisierungstechnik zu einem innovativen Lernlabor, der Integrated Learning Environment (ILE). Die ILE ermöglicht es, Prozesse entlang der gesamten Supply Chain zu gestalten, umzusetzen, zu testen und zu bewerten. Der Student lernt, wie er Materialflusssystemsteuerungen auf verschiedenen Ebenen programmieren kann – von der Prozesssteuerung bis hin zur Sensor/Aktor-Ebene.

## 2 Integrated Learning Environment gestalten

Um komplexe Probleme zu verstehen und zukunftsorientierte Lösungen zu entwickeln müssen Studenten über die Grenzen des Curriculums hinausdenken. Das Zusammenbringen normalerweise separater betrachteter Technologiefelder kann das nötige grenzüberschreitende Denken anstoßen.

Das vorliegende Konzept vereint Zukunftstechnologie (z.B. RFID), ein physisches Materialflusslabor (wie es oft in der Ausbildung von Automatisierungstechnikern genutzt wird [6]) und Anwendungen der Computersiation, um diesen Denkprozessen eine Brücke zu bauen. Es nennt sich daher »Integrated Learning Environment«.

### 2.1 Eine Supply Chain abbilden

In der Logistik ist es allgemein akzeptiert, nicht nur über die Grenzen von Technologien und Lehrplänen hinweg zu denken, sondern auch über die Grenzen des einzelnen Unternehmens hinaus. Dies führt zu der Voraussetzung,

dass ein Modell für eine umfassende Logistikausbildung eine ganze Supply Chain inklusive der Inter- und Intralogistikprozesse vom Zulieferer bis zum Kunden abbilden muss.

Das folgende Prozess-Layout wurde den Nutzungsmöglichkeiten der RFID-Technologie entsprechend gestaltet. Alle Flussobjekte (Güter, Ladehilfsmittel und LKW) im System sind mit Transpondern versehen und können entlang der Supply Chain mit Tracking und Tracing verfolgt werden.

Die Bestände in den verschiedenen Supply Chain Ebenen werden erfasst und können zur Steuerung des Systems (zum Beispiel in Form von automatischen Nachbestellungen) genutzt werden.

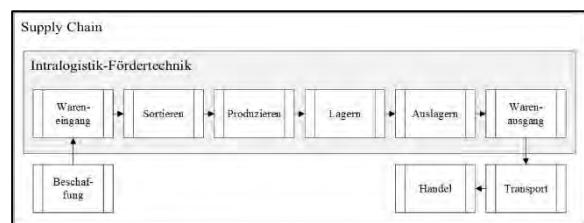


Abbildung 1: In ILE abgebildete Prozesse (eigene Darstellung)

### 2.2 Intralogistik-Fördertechnik

Der Hauptteil der ILE ist die Fördertechnik (siehe Abbildung 2). Miniaturisiert werden alle Kernprozesse eines Produktionssystems dargestellt: Wareneingang, Produzieren, Lagern, Kommissionieren.

Alle Prozesse laufen automatisiert ab.

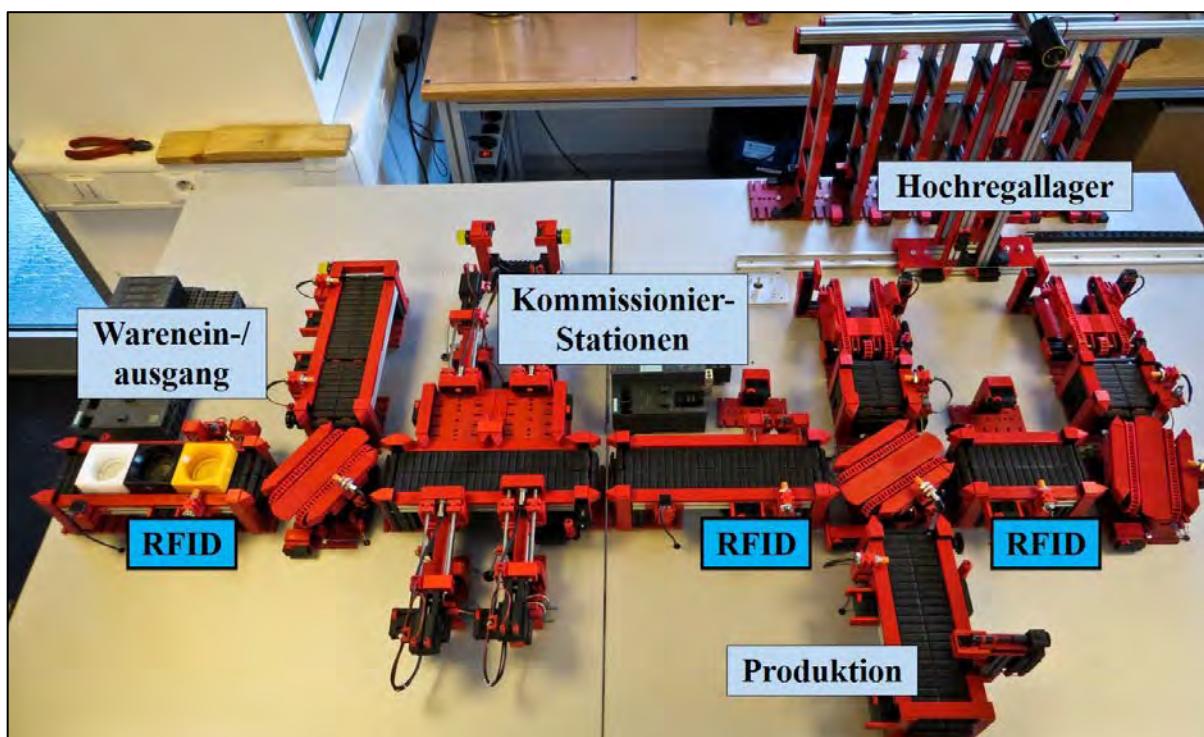


Abbildung 2: Die Intralogistik-Fördertechnik in der ILE (eigene Darstellung)

Der Nutzer muss lediglich die palettierten Güter in das System einschleusen und sie auf den Kommissionierstationen sortieren. Die genutzte Technik entstammt größtenteils dem Baukasten der Firma Fischertechnik. Verschiedene Lieferanten bieten vormontierte Industriemodule an. Viele davon sind (wie die oben gezeigten) auch für die Intralogistikausbildung relevant.

### 2.3 Supply-Chain-Umgebung

Nachdem die Güter den Warenausgang verlassen haben, werden sie die Supply Chain hinab zum Distributions-Teil der ILE transportiert. Hier wird anhand eines Geschäfts aufgezeigt, wie RFID-Prozesse im Handel genutzt werden. Der Verkaufsprozess ist dreistufig aufgebaut: Es gibt ein Filiallager, den tatsächlichen Verkaufsraum und den Point of Sale. Die Übergänge vom Transport zum Filiallager, vom Lager zum Verkaufsraum und von dort über den POS zum Kunden sind mit RFID-Gates versehen. Alle RFID-Geschäftsprozesse des Handels können abgebildet werden: Automatisierter Bulk-Checkout, strenge First-In-First-Out-Bestandsverwaltung und verfeinerte automatische Bestellstrategien anhand des tatsächlichen IST-Bestandes.

## 3 Technische Komponenten der Integrated Learning Environment

Der Materialfluss entlang der Supply Chain und die automatisierte Fördertechnik werden von einer Reihe von Anwendungen gesteuert. Bild 3 zeigt die Struktur der verschiedenen Software- und Hardware-Bestandteile der ILE. Alle Kommunikation zwischen den Systemen läuft über das selbstentwickelte Control Centre (CC). Die Abbildung zeigt – von oben nach unten gelesen – den gleichen hierarchischen Aufbau wie die Automatisierungspyramide. [7]

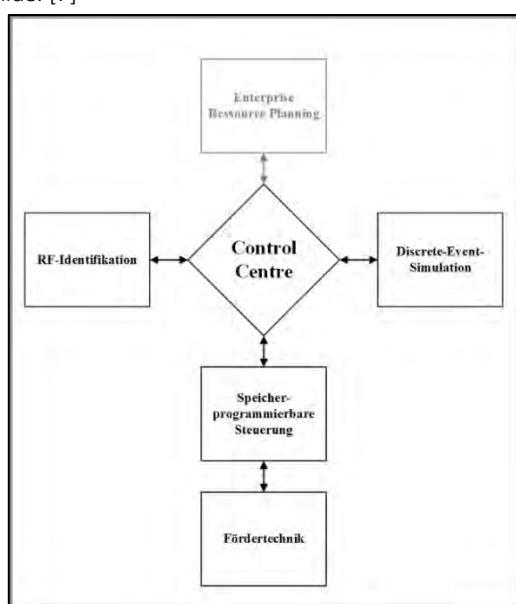


Abbildung 3: Bestandteile der ILE (eigene Darstellung)

### 3.1 Control Centre

Dem Control Centre kommt die verknüpfende Funktion innerhalb der ILE zu. Es empfängt die RFID-Lesewerte, verwaltet den Datenbestand, verarbeitet Nutzereingaben und kommuniziert Prozessbefehle an die SPS.

Das Control Centre wurde in einer .xlsm-Datei umgesetzt und besteht aus einer Anzahl von Tabellenblättern und VBA-Code. Da Excel eine Standardanwendung ist, die für die verschiedensten Zwecke genutzt wird, haben die allermeisten Studenten schon Erfahrung mit der Software sammeln können. Die Verbindung mit VBA als Programmiersprache – die aufgrund ihrer Nähe zur natürlichen Sprache ein guter Ausgangspunkt für Nutzer ohne Programmiererfahrung ist – macht es leicht zugänglich. Excel erscheint eine unkonventionelle Wahl für eine Materialflussteuerung zu sein. Bedingt durch die vielfältige Anwendung dieser Software existieren allerdings vorentwickelte Schnittstellen zu fast allen Programmen. Dies erleichtert die Umsetzung des ILE und sichert auch die zukünftige Verwendbarkeit. Zudem steht Excel auf den meisten Computern zur Verfügung, was komplizierte Installationsprozesse überflüssig macht.

#### 3.1.1 Das Control Centre nutzen, um Prozesse zu demonstrieren

Das CC ist die Benutzeroberfläche der ILE-Steuerung. Alle Systemabläufe werden von hier aus durch das Aufgeben von Bestellungen gesteuert. Dies wird erleichtert durch selbsterklärende Eingabemasken, die nur gültige Eingaben zulassen. Eine Kurzanleitung beschreibt alle Prozesse und ihre Bedienung.



Abbildung 4: Steuerung der Prozessabläufe durch Bestellformulare (eigene Darstellung)

Falls die ILE nur zu Demonstrationszwecken genutzt wird, muss der Nutzer nichts über die genaue Funktion des Systems wissen. Dadurch können auch Lehrkräfte, die nicht direkt an dem Projekt beteiligt sind, das Materialflusslabor in ihrem Unterricht einsetzen.

### 3.1.2 Das Control Centre nutzen, um Prozesse zu modifizieren und neu zu entwickeln

Nichtsdestotrotz liegen Hauptanwendung und Hauptzweck der ILE in der Prozessmanipulation. Um Prozessabläufe einfach ändern und gestalten zu können, war es notwendig, einen einfach zugänglichen Programmiersatz zu wählen. Während Teile der Zielgruppe – speziell die Telematik-Studenten – eine hohe Programmierkompetenz aufweisen, haben andere Nutzergruppen nur sehr wenig Erfahrung auf diesem Gebiet. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird im CC hauptsächlich mit graphischer Programmierung gearbeitet. Die Studenten müssen lediglich vordefinierte Prozessbausteine zu Prozessgruppen aneinanderreihen. Diese Prozessgruppen werden durch in VBA umgesetzte Entscheidungen zu Prozessketten verbunden.

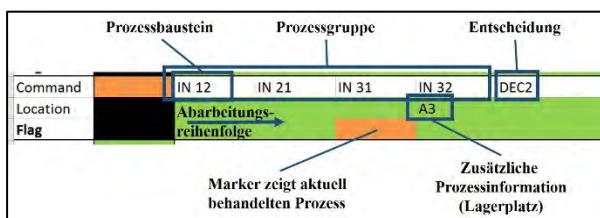


Abbildung 5: Graphische Programmierung (eigene Darstellung)

Abbildung 5 zeigt eine Beispielzeile aus der graphischen Programmieroberfläche. Der Prozessbausteinbezeichner über dem wandernden Marker wird von einer übergelagerten VBA-Methode gelesen und an die SPS kommuniziert. Wenn die SPS die erfolgreiche Ausführung des Prozesses bestätigt, wird der Marker zum rechten Nachfolger weitergerückt. Falls weitere Informationen benötigt werden (z.B. ein Lagerplatz im Hochregallager), schreibt sie das CC in das Feld unter dem Bausteinbezeichner und überträgt sie ebenfalls an die SPS. Am Ende der Prozessgruppe (entspricht einer Zeile in der Programmieroberfläche) wird eine Entscheidung aufgerufen. Diese entscheidet anhand von IST-Daten (Bestände, RFID-Lesedaten), welche Prozessgruppe als nächstes aufgerufen wird. Die einzelnen Prozessbausteine sind klar definiert. Sie haben eindeutige Start- und Endpunkte, die durch physische Sensoren im Materialflussystem bestimmt sind. Jeder mögliche Prozessablauf im automatisierten Materialflusslabor ist durch eine Summe von Prozessbausteinen darstellbar.

### 3.2 Speicherprogrammierbare Steuerung

Die Prozessbausteine, die oben beschrieben werden, dienen nicht nur zur Vereinfachung des Prozessdesigns. Sie werden auch genutzt, um Befehle an die SPS zu kommunizieren. Das SPS-Programm ist in verschiedene Funktionsblöcke unterteilt. Diese Blöcke werden durch den vom CC kommunizierten Prozessbausteinbezeichner

aufgerufen. Das zyklisch ablaufende SPS-Programm prüft nun zuerst den aktiven Prozessbaustein, dann den Systemstatus (der durch die eingehenden Sensorsignale vorliegt) und setzt schließlich die Ausgänge der für die Prozessumsetzung notwendigen Aktoren.

Fast alle denkbaren Anwendungsszenarien im Materialflusslabor lassen sich ohne Änderungen des SPS-Programms umsetzen. Falls der Student bzw. die Lehrkraft dennoch SPS-Programmierung in einem Projekt behandeln möchte, stellt die ILE eine moderne Entwicklungsumgebung zur Verfügung. Die Siemens Simatic ST-SPS ist der Industriestandard für Automatisierungstechnik und wird auch zur Steuerung der Intralogistik genutzt. Als Programmierumgebung steht Siemens Step7 zur Verfügung. Diese Software unterstützt alle gängigen SPS-Programmiersprachen [8] [9].

### 3.3 Integration von RFID

RFID ist eines der bestimmenden Themen in der Logistikforschung des letzten Jahrzehnts. Vorteil ist die kontaktlose und schnelle Identifikation von mehreren Objekten, ohne diese langwierig manuell positionieren zu müssen. In der ILE wird ein 125-kHz-Lesesystem verwendet. An sieben strategischen Stellen im System werden die Flussobjekte erfasst. Drei dieser Reader helfen dabei, die Intralogistik zu steuern. Die Transponder-ID wird mit den in einer zentralen Datenbank gespeicherten Objekteigenschaften abgeglichen. Die Lesedaten werden dem CC zur Verfügung gestellt und beispielweise zum Tracking/Tracing der Güter entlang der Supply Chain genutzt.

## 4 Computersimulation in der ILE

Der folgende Abschnitt zeigt, in wie weit die Integration von Computersimulation in die ILE dazu beiträgt, den Nutzen dieser Methode für die Logistik zu vermitteln. Als Teil des LogCentre-Projektes stehen Computerarbeitsplätze mit der Software ExtendSim zur Verfügung. Diese ermöglicht die Umsetzung von Modellen basierend auf den Paradigmen Discrete-Event-Simulation (DES), kontinuierliche Simulation sowie Discrete-Rate-Simulation. Am Beispiel (bzw. mit Hilfe) der ILE lassen sich alle Schritte einer Simulationsstudie durchführen: von Problemanalyse und Datensammlung über die Erstellung eines konzeptionellen Modells, die Implementierung, Verifikation und Validierung bis zur Durchführung von Experimenten und der Auswertung der Ergebnisse. Weiterhin lässt sich der komplette Lebenszyklus eines Logistik-Systems durch Simulation begleiten, von der Planung von Änderungen über die Nutzung von Simulation zur virtuellen Inbetriebnahme bis zum betriebsbegleitenden Einsatz [10]. Aufgrund der durchgängigen Verfügbarkeit eines realen Vorbild-Systems wird das Verständnis der Simulationsmethoden erleichtert.

## 4.1 Virtuelle Inbetriebnahme

Als ersten Schritt zur Integration von Simulation in die ILE wurde ein DES-Emulationsmodell des Materialflusslabors erstellt und mit dem Control Centre verbunden. Ziel war die Entwicklung einer Virtuellen-Inbetriebnahme-Umgebung, in der Studenten die von ihnen im Control Centre programmierten Prozesse testen können, ohne eine Beschädigung der realen Anlage zu riskieren. Das Konzept der virtuellen Inbetriebnahme von Steuerungssoftware auf Leitebene mithilfe von Discrete-Event Simulation stellt dabei ein bekanntes, wenn auch noch nicht besonders weit verbreitetes Anwendungsfeld für Computersimulation dar [11] [12].

Das Inbetriebnahme-Simulationsmodell bildet den physischen Teil des Materialflusslabors mit SPS-Steuerung, Förderelementen und RFID-Readern ab und emuliert das Input/Output-Verhalten zum Control Centre. Die physischen Komponenten wie Förderbänder, Drehtische und Produktionsanlage sowie Güter und Paletten mit ihren Attributen Tag-ID und Typ wurden auf einfache Weise in 2D animiert. Die Visualisierung des Hochregallagers erfolgt über die Animation der eingelagerten Guttypen, die in eine Datenbank-Tabelle geschrieben wurden. Die Bestände im Hochregallager sowie in den weiteren Stufen der Supply-Chain können vor Start des Emulationsmodells automatisch mit den aktuell im Control Centre definierten Werten initialisiert werden.

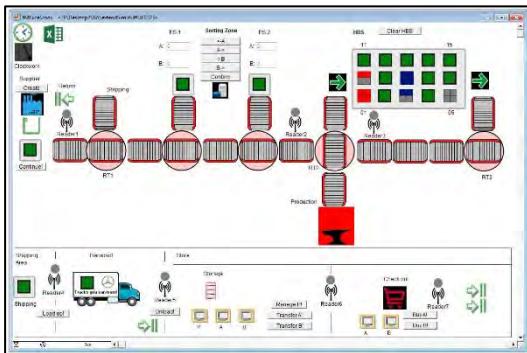


Abbildung 6: ExtendSim-Emulationsmodell  
(eigene Darstellung)

Die Steuerung des Emulationsmodells erfolgt analog zur Steuerung der realen SPS: Das CC übermittelt die ID des auszuführenden Prozesses und weiterer benötigter Informationen, wie bspw. den Lagerplatz bei einer Auslagerung aus dem Hochregallager. Nach erfolgreicher Abarbeitung des Prozesses erfolgt die Bestätigungsmeldung durch das Emulationsmodell an das Control Centre. Außerdem werden die entsprechenden Tag-IDs der Materialflussobjekte übermittelt, falls RFID-Reader passiert werden. Für die Kommunikation der verschiedenen Software-Lösungen werden bestehende Schnittstellen basierend

auf COM genutzt, um direkt in die entsprechenden Datenbank-Felder der jeweiligen Anwendungen zu schreiben.

Die Ausführungsbestätigung an das Control Centre löst automatisch den nächsten Prozessbaustein oder den Aufruf einer Entscheidung im Control Centre aus. Im Emulationsmodell wird die Ausführung des kommunizierten Prozessbausteins, also seine Simulation und Animation, über die Öffnung der entsprechenden Gates für das Flussobjekt ausgelöst.

Genau wie das physische System benötigt auch das Emulationsmodell menschliche Interaktionen. Nutzereingaben während des Emulationslaufes werden mithilfe von Formularfeldern und Buttons ermöglicht. Wie im realen Modell können Flussobjekte definiert, in das automatisierte Intralogistiksystem eingelegt, an der Kommissionierstation sortiert und weiter entlang der Supply-Chain bewegt werden.

Sowohl das Control Centre als auch ExtendSim laufen beide lokal auf dem PC des Studenten. Im Control Centre lassen sich auf einfache Weise Testszenarien definieren und auf Knopfdruck an das Emulationsmodell übertragen. Da sich die im Control Centre entwickelten Lösungen vorher virtuell testen lassen, kann die an der physischen Anlage notwendige Arbeit auf die Präsentation der Ergebnisse beschränkt werden. Dies erhöht die Anzahl an Studenten, die im Lernlabor arbeiten können.

## 4.2 Weitere Einsatzmöglichkeiten der Simulation

Im Rahmen der ILE sind weitere Anwendungen für Computer-Simulation denkbar. Ähnlich zum oben beschriebenen Emulationsmodell für die virtuelle Inbetriebnahme auf Leitebene könnte auch ein Modell zur Emulation auf Sensor-Aktor-Ebene erstellt und mit der SPS verbunden werden, um den SPS-Steuerungscode zu verifizieren. Auch eine Erweiterung des existierenden Modells zu einem Online-Simulationstool für Kurzfrist-Prognosen ist denkbar. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Initialisierung mit dem aktuellen IST-Zustand des Systems [13]. Die Echtzeit-Synchronisierung von Simulationsmodell und realer Supply-Chain stellt einen anderen denkbaren Anwendungsfall dar, welcher eine digitale Zustandskontrolle des Systems ermöglicht [14]. Da die Implementierung von Simulationsmodellen dieser Art eine Herausforderung darstellen kann, eignet sie sich besonders für umfangreichere Projekte oder Abschlussarbeiten. ExtendSim erlaubt außerdem den Einsatz von Discrete-Event-Simulation und die Nutzung des mesoskopischen Simulationsparadigmas. Speziell auf Supply-Chain-Ebene bietet dieser Ansatz eine Reihe von Vorteilen, da anders als bei Discrete-Event-Simulationen die Rechenzeit nicht mit der Anzahl der Flussobjekte im System korreliert [15].

## 5 Zukünftige Entwicklungen der ILE

In späteren Entwicklungsphasen ist die Integration von VR Technologien angedacht. Die Automatisierungstechnik im intralogistischen Teil der Supply Chain kann als Vorbild für studentische VR-Modelle dienen. Eine Schnittstelle zwischen Modellsteuerung und VR kann die digitalen Zustandskontrolle um ein 3D-Abbild erweitern.  
Das SAP-Lernmodul, das auch Teil des LogCentre-Projektes ist, kann in die ILE integriert werden. Es kann als übergeordnete Benutzerschnittstelle für das Materialflusslabor dienen.

## 6 Die ILE in der Logistiklehre einsetzen

Das präsentierte Konzept bietet eine große Auswahl von Lehr- und Lernmöglichkeiten. Einige dieser Möglichkeiten werden den Lehrkräften bereits in Lehrmaterialien aufbereitet und können zur Ausbildung auf den verschiedenen Anforderungsstufen der Bloomschen Taxonomie genutzt werden [16]. Auf dem einfachsten Anforderungsniveau wird der Inhalt von Lehrveranstaltungen mit Hilfe der ILE demonstriert. Beispiel: Die Vorlesung zum Thema „Hochregallager“ wird durch eine praktische Vorführung der Ein- und Auslagerprozesse im Materialflussmodell unterstützt. Die Studenten können die Kernprozesse identifizieren und sie mit denen herkömmlicher Lagerstrategien vergleichen. Auf dem mittleren Schwierigkeitsgrad können die Studenten neue Prozessabläufe gestalten und im CC programmieren. Die vorgegebene Programmiertechnik muss genutzt werden und die Lösung nach dem Layout der Anlage strukturiert werden.

Die schwierigsten Aufgaben sind offen formuliert. Beispiel: Eine Projektgruppe muss einen Inventurprozess für das Hochregallager entwickeln. Der Prozess muss getestet und bewertet werden. Während der Ausgestaltung des Konzeptes wurde die ILE immer als sich entwickelnder Komplex betrachtet. Erweiterung und Verbesserung z.B. durch studentische Projekte und Abschlussarbeiten sind vorgesehen und erwünscht. Im täglichen Lehrbetrieb an der DKU arbeiten Logistik- und Telematikstudenten nur selten zusammen. Um Synergien zwischen diesen Studiengängen zu ermöglichen, kann die ILE für die Arbeit in interdisziplinären Projekten genutzt werden. Speziell für die Logistiker kann das ein Glücksfall sein – Industrie 4.0 verlangt gerade von Schnittstellenwissenschaftlern ein tiefes Verständnis von IT und integrierten Systemen.

## 7 Literatur

- [1] T. Bauernhansel et al.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Berlin: Springer-Verlag, 2014 .

- [2] M. Schenk: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik, Berlin: Springer, 2014.
- [3] N. Nazarbayev: Prosperity, Security and Ever Growing Welfare of all the Kazakhstanis. Almaty: Government of the Republic of Kazakhstan, 1997.
- [4] J.-F. Arvis et al: Trade Logistics in the Global Economy. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2014.
- [5] OvGU, DKU, Projekt-Beschreibung Communication and Transfer Centre Logistics (LogCentre) Kasachstan, Magdeburg, Almaty: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und Deutsch-Kasachische Universität Almaty, 2014.
- [6] Staudinger, »Referenzen«, Staudinger GmbH, 2016. [Online]. Available: <http://www.staudingerest.de/simulation/referenzen/>. [Zugriff am 02 04 2016].
- [7] B. Heinrich et al.: Grundlagen Automatisierung. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [8] IEC, IEC 61131-3, Geneva: International Electrotechnical Commission, 2013.
- [9] Siemens: SIMATIC STEP 7 Professional. [Online]. Available: <http://w3.siemens.com/mcms/simatic-controller-software/de/step7/step7-professional/Seiten/Default.aspx>. [Zugriff am 30 03 2016].
- [10] VDI , VDI 3633 Blatt 1 – Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen; Grundlagen, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2010.
- [11] S. Bangsow et al: Creating a Model for Virtual Commissioning of a Line Head Control Using Discrete Event Simulation. In: Use Cases of Discrete Event Simulation - Appliance and Research, Berlin, Springer-Verlag, 2012, S. 117-130.
- [12] T. Meyer et al.: Methoden zur teilautomatischen Generierung von Emulationsmodellen. In: Simulation in Produktion und Logistik, Paderborn: HNI, 2013, S. 741-750.

- [13] A. Hanisch et al.: Online-Simulation von Personenströmen in einem Frühwarnsystem. In: Simulationstechnik. 17. Symposium., Magdeburg, Ghent: SCS Europe, 2003, S. 221-226.
- [14] A. Hanisch et al.: Initialization of Online Simulation Models. In: Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, Orlando: Florida , S. 1795-1803.
- [15] M. Schenk et al.: Flexible Produktionskapazität innovativ managen. Berlin: Springer, 2014.
- [16] B. S. Bloom et al.: Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich. Weinheim: Beltz-Studienbuch, 1976.



# **ASSISTENZSYSTEME FÜR INSTANDHALTUNG UND STÖRUNGSBEHEBUNG**

---

Dipl.-Inf. Alexa Kernchen  
Daniel Jachmann M. Sc.  
Dr.-Ing. Simon Adler  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

# LEBENSLAUF



Dipl.-Inf. Alexa Kernchen

Fraunhofer IFF im Bereich Virtual Engineering,  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

09/2005 – 06/2012

Studium des Diplomstudiengangs Informatik – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

10/2009 – 12/2012

Hilfswissenschaftlerin am Fraunhofer IFF Magdeburg, Abteilung Virtual Prototyping und Virtual Engineering (Unterstützung im Bereich Erweiterte Realität).

06/2012

Erhalt des akademischen Grads: Diplom Informatikerin.

Seit 01/2013

Wissenschaftliche Mitarbeiterin des Fraunhofer IFF Magdeburg, Geschäftsfeld Virtual Engineering (Projekte im Bereich Erweiterte Realität und Assistenzsysteme).

# ASSISTENZSYSTEME FÜR INSTANDHALTUNG UND STÖRUNGSBEHEBUNG

Dipl.-Inf. Alexa Kernchen, Daniel Jachmann M. Sc., Dr.-Ing. Simon Adler

## 1 Motivation

Produzierende klein- und mittelständische Unternehmen sind auf Maschinen und Anlagen zur Prozessautomatisierung angewiesen. Kosten entstehen häufig durch Stillstandzeiten und deren Auswirkungen auf die gesamte Produktion. Um dies zu verhindern erfolgen regelmäßig Instandhaltungsmaßnahmen durch firmeninterne Techniker. Instandhaltung nach DIN 31051 umfasst Wartung, Inspektion, Instandsetzung und die Verbesserung der Anlagen.

Industrie 4.0 adressiert die zunehmende Integration von IKT-Technologien in die klassische Automatisierung. Durch die zunehmende Vernetzung sollen Produktionsdaten in allen Unternehmensbereichen verfügbar und die Vision zur Flexibilisierung der Produktion bis zum individuellen Produkt erreichbar werden. Durch zunehmende IKT-Vernetzung der Anlagen soll eine vertikale und horizontale Datenintegration sowie ein Fortschritt im Anlagenengineering erreicht werden [1]. Die horizontale Integration beschreibt die Datenverfügbarkeit in der Produktion, wie beispielsweise den Datenaustausch zwischen Anlagen (M2M-Kommunikation). Die vertikale Integration ist die Datenbereitstellung von der Produktion bis in die Produktionsleitung z.B. über ERP oder MES Systeme. Für die Datenbereitstellung müssen entsprechende Dokumente und Schnittstellen direkt bei der Anlagenentwicklung berücksichtigt werden. Anlagen der Zukunft sind neben der primären Produktionsleistung auch Datenprovider, die umfangreiche Dokumentationen und virtuelle Modelle aus dem Anlagenengineering bereitstellen.

Industrie 4.0 als die Digitalisierung der Produktion, bietet hohe Potentiale für neue Geschäftsbereiche sowie in der Wertschöpfung durch die Nutzung der bisher ungenutzten Daten aus dem Anlagenbetrieb. Der Aufwand zur Digitalisierung der Dokumente, Bereitstellung einer geeigneten IKT-Infrastruktur und Datenverwaltung ist jedoch firmenspezifisch. Die Digitalisierung erfolgt daher häufig in Etappen. Der Fokus wird auf spezielle Bereiche derer Branchen gerichtet, welche die höchste Wertschöpfung versprechen.

Bei Einführung digitaler Datenhaltung kann der Anfangsaufwand sehr hoch sein, da vorhandene Dokumente digitalisiert und ggf. CAD-Modelle von Bestandsanlagen erstellt werden müssen. Die Datenbasis ist jedoch ausschlaggebend für Art und Umfang der durch die Digitalisierung ermöglichten Anwendungen. Assistenzsysteme bilden hier eine Besonderheit. Sie können prinzipiell erste

Funktionen ohne digitale Datenbasis bereitstellen und vorhandenes Erfahrungswissen digital erfassen. Durch eine zunehmende digitale Datenbasis kann der Assistenzumfang sukzessive erweitert werden, so dass sich Assistenzsysteme gezielt mit dem Fokus der Digitalisierung firmenspezifisch mitentwickeln können.

Instandhalter stehen immer wieder vor Situationen, in denen Erfahrungswissen anderer Mitarbeiter benötigt werden, sei es bei der Konfrontation mit neuen oder selten auftretenden Aufgaben und Gegebenheiten. Die Herausforderung einer gleichbleibenden Qualität der Instandhaltung bei einer zunehmenden Komplexität der Anlagen durch die Digitalisierung steht dem Fachkräftemangel und der erforderlichen Zeit, um entsprechende Erfahrungen aufzubauen, gegenüber.

Assistenzsysteme in der Instandhaltung können, abhängig vom Grad der Digitalisierung, beispielsweise von der Erfassung von Erfahrungswissen (Wissensdatenbank) über die Dokumentation, Bereitstellung von Anlagendaten (Dokumente und Statusinformationen), bis zum Anlagen-Monitoring und Instandhaltungs- und Aufgabenmanagement unterstützen. Eine Vision in der assistierten Instandhaltung ist beispielsweise die vorausschauende Instandhaltung, bei der über die Auswertung von Anlagendaten der Abnutzungsvorrat bzw. die Ausfallwahrscheinlichkeit von Anlagenkomponenten vorhergesagt werden.

Am Fraunhofer IFF werden Methoden untersucht, um flexibel in verschiedenen Digitalisierungsstufen Assistenzfunktionen bereitzustellen. Diese Systeme werden zunehmend in flexiblen Modulen zusammengeführt, um bei der Digitalisierung der Unternehmen begleitend eingesetzt werden zu können.

## 2 Stand in Technik und Forschung

In klein- und mittelständischen Unternehmen finden Assistenzsysteme für Instandhaltung bisher kaum Anwendung.

Der Zugriff auf Anlageninformationen erfolgt meist räumlich getrennt von der Anlage und Dokumentationen werden über manuelle Listen angefertigt. Das Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) betont: »In fast jedem Produktionsunternehmen können solche interaktiven Assistenzsysteme die Arbeit erleichtern und beschleunigen [...]« [1].

Das österreichische Forschungsprojekt Assist 4.0 [2] untersucht Methoden, um Mitarbeitern Informationen primär mit Augmented-Reality über kopfgetragene Display-Systeme zur Verfügung zu stellen.

Das Forschungsprojekt »APPsist«<sup>1</sup> hat zum Ziel, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine KI-basiert zu unterstützen. Mit Hilfe des Wissens- und Assistenzsystems sollen bedarfsgerecht fehlende Kompetenzen ausgeglichen und bei den Mitarbeitern aufgebaut werden.

Das Projekt »Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme« (S-CPS)<sup>2</sup> adressiert die Bereitstellung von relevanten Daten auf einem mobilen System für Instandhalter. Das mobile Ressourcen-Cockpit nutzt zusammengeführte Datenströme von Produkten und Produktionsressourcen für eine intuitive und kontextsensitive Kommunikation.

Das Projekt »CyberSystemConnector« (CSC)<sup>3</sup> hat das Ziel, eine technische Dokumentation als virtuelles Abbild einer Anlage über deren gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten. In Hinblick auf Assistenzsysteme bietet dies die Grundlage, Daten des Engineering im Anlagenbetrieb strukturiert nutzen zu können.

Das Forschungsprojekt »PLuTO«<sup>4</sup> widmet sich der Aufnahme, Aktualisierung und Bereitstellung von Erfahrungswissen in altersgemischten Technik-Teams. Über ein mobiles System soll der Mitarbeiter Zugriff auf situationsangepasstes und personalisiertes Fakten- und Erfahrungswissen erhalten.

Die genannten Projekte sind jedoch noch nicht beendet und bieten daher keine abschließenden Ergebnisse. Sie fokussieren verschiedene assistenzrelevante Teilespekte wie die Interaktion durch Anwender (APPsist), die Datenrepräsentation (SCS, SCPS) sowie die Informationspräsentation (Assist 4.0, PLuTO).

### 3 Methode - Assistenz in allen Reifegraden

Entsprechend dem vorhandenen Reifegrad der IKT-Integration und der Assistenzanwendung variieren die dafür erforderlichen Technologien. Einige Anwendungen, wie die adaptive Steuerung, erfordern einen hohen Reifegrad, während Assistenzsysteme zur Regelkonformität (Compliance) bereits bei einer geringen Ausbaustufe einen Mehrwert bieten. Dabei reichen diese von einfachen Checklisten und Verfahrensempfehlungen bis hin zur Anlagenüberwachung und -instandhaltung. Letztere erfordern digitale Anlagenmodelle, Anbindungen an Sensordaten sowie ggf. die Integration in die IKT-Infrastruktur der Unternehmung. Zusatzkosten für die Bereitstellung dieser Datenbasis und die Schaffung nötiger Infrastrukturen sind wesentliche Gründe für die noch sehr geringe Verbreitung solcher Systeme.

Im Folgenden werden anhand von Praxisbeispielen verschiedene Assistenzsysteme vorgestellt, welche sich in den Anforderungen an den IKT-Grad unterscheiden. Anschließend wird ein Konzept für ein Wissens- und Assistenzsystem vorgestellt, welches zum Ziel hat, auch ohne bestehende Datenbasis in Betrieb genommen werden zu können.

### 3.1 Compliance für die Rehabilitation von Großgetrieben

Beim Einsatz mobiler Anlagen müssen die Anlagen häufig auf geänderte Umgebungsbedingungen abgestimmt werden. Die Firma VAKOMA GmbH bietet beispielsweise die Dienstleistung der Rehabilitation von Großgetrieben durch eine spezielle Spindelmaschine an. Diese muss auf die zu rehabilitierende Anlage und deren Schadensmerkmale vor Ort eingestellt werden. Um die erforderliche Präzision zu erreichen, werden hierbei spezielle Messungen mit Laser-Messsystemen vorgenommen.

Eine Dokumentation ist unter anderem hinsichtlich der Haftung, des Nachweises gegenüber dem Kunden, aber auch als Grundlage für die Weiterentwicklung der Anlage und des Verfahrens erforderlich [3].

Es ist vor allem bei kleinen Serien oder mobilen Sondermaschinen mit umgebungsspezifischen Anpassungen an die vor Ort herrschenden Situationen zu rechnen, welche bei einer Dokumentation für nachfolgende Einsätze als Referenz genutzt werden können.

Für die Firma VAKOMA GmbH in Magdeburg wurde ein Assistenzsystem entwickelt (Abbildung 1), mit dem Herausforderungen bei der Großgetrieberehabilitierung, vor allem bei einem internationalen Einsatz, adressiert werden [4].



Abbildung 1: Assistenzsystem mit Checklisten und medialen Inhalten. © Simon Adler

Mittels eines Autorentools werden durch Experten Arbeitsempfehlungen und Prüfregeln für Eingabewerte eingepflegt. Diese können mit multimedialen Inhalten (3D-Modelle, Videos, Bilder, Dokumente) verknüpft werden.

Aus dem Autorenprozess entstehen für wiederkehrende Tätigkeiten Checklisten und Arbeitsanweisungen. Durch eingefügte Abfragen in den Anweisungen können anfallende Messgrößen erfasst und zur Dokumentation genutzt werden. Zusätzliche komplexe Regelwerke können

<sup>1</sup> <http://www.appsist.de> (Stand: 28.04.2016)

<sup>2</sup> <http://www.s-cps.de> (Stand 28.04.2016)

<sup>3</sup> <https://www.cyber-sc.de> (Stand: 25.05.2016)

<sup>4</sup> <http://www.plutoprojekt.de> (18.9.2014)

die Eingabewerte validieren, um die Einhaltung von Vorgaben der Regelkonformität zu gewährleisten.

Automatisch generierte Arbeitsprotokolle dienen zur Qualitätssicherung für den Auftraggeber und -nehmer. Spätere Folgeaufträge oder erforderliche Reparaturen können so auf frühere Arbeitseinsätze zurückgreifen und schneller und günstiger bearbeitet werden.

Das hier beschriebene System ist ein Beispiel für die vertikale IKT-Integration mit geringen digitalen Anforderungen. Das System erfordert digitale Dokumente für den Anlagenbetrieb, den Anlagenservice sowie Dokumente über die zu rehabilitierenden Anlagen. In dieser Anwendung wurde zudem eine auf CAD-Daten basierende virtuelle Animation des Rehabilitationseinsatzes erstellt, die als Teil einer weiteren Ausbaustufe angesehen werden kann. Durch das Autorentool müssen zunächst die Arbeitsabläufe erstellt werden, denen die Teams vor Ort folgen. Durch die Dokumentation von Messdaten und die Compliance bei der Durchführung wird jedoch insbesondere vor Ort neues Know-how identifiziert und direkt digital erfasst.

### 3.2 Protokollierung bei der wiederkehrenden Inspektion

Bei Prüfungen von Anlagen ist mit teilweise widrigen Umgebungsbedingungen zu rechnen. Enge Arbeitsbereiche mit teilweise gefährlichen Bedingungen erfordern eine stetige Verfügbarkeit der Hände. Die Dokumentation ist meist nur kurz bzw. nach Abschluss der Arbeit möglich. Aufgrund der hohen Mobilitätsanforderungen sind Laptops nicht immer geeignet. Am Beispiel des Assistenzsystems »CyberInspection« [5] wird eine Lösung für die Assistenz bei Inspektionstätigkeiten beschrieben.



Abbildung 2: HMD (Epson BT-200) als Endgerät für mobile Assistenz. © Alexa Kernchen

Als Teil der horizontalen Datenintegration bezieht das System die Auftrags- und Stammdaten aus einem zentralen ERP/DBMS-System. Die Inspektion erfolgt aufgrund der kleinen Bauform und der teilweise händefreien Verwendung mit kopfgetragenen Displays (HMD, Smart Glass, Epson BT-200, Abbildung 2 und Vuzix M100). Auf diesen werden, neben den Auftrags- und Stammdaten, Informationen zur Unterstützung bei der Inspektion dargestellt. Mängel können direkt erfasst und durch Aufnahme von Fotos zusätzlich dokumentiert werden. Die Mängelauswahl wird dabei auf der Grundlage eines vorgegebenen Kriterienkatalogs vorgenommen. Zu erfassende Mängel werden aus diesem Katalog ausgewählt und nach Stufen bewertet. Zusätzlich zur Mängelerfassung steht mit dem mobilen Assistenzsystem eine Anbindung

an ein externes Messsystem (Abbildung 3) zur Verfügung (vertikale Integration). Über WLAN werden Messdaten in Echtzeit vom Messsystem bezogen und als Graph zur Kontrolle dargestellt. Die Daten können vom Prüfer nach der Messung exploriert und zur Ermittlung einer Mängelbewertung genutzt werden. Zur Verbesserung der Bedienung werden bei gewissen Messungen Daten automatisch analysiert und aufbereitet zur Verfügung gestellt. Nach Abschluss des Prüfvorgangs werden die erfassten Mängel und die aufgenommenen Messdaten mit der firmenspezifischen IKT-Infrastruktur synchronisiert und für die Erstellung der Dokumentation genutzt. Durch das mobile Assistenzsystem wird das Mitführen eines Laptops zum Bedienen des Messsystems vermieden. Der Instandhalter kann direkt Mängel erfassen und diese mit Fotos erweitern. Aufwand und Qualität der Instandhaltung können so verbessert werden. Die Optimierung des Assistenzsystems für HMDs erforderte spezielle Bedienelemente und einen optimierten Workflow, um Interaktionen mit dem System so gering und effizient wie möglich zu gestalten. Geringe Bildschirmauflösungen der HMDs (z.B. Vuzix M100, 432x240 Pixel) erforderten zudem eine Optimierung der Darstellung für eine möglichst hohe Informationsdichte.



Abbildung 3: Einsatz des CyberInspection-Systems bei der Instandhaltung. (Quelle: [5], © Dirk Mahler)

Das Assistenzsystem wurde mit Anwendern erprobt. Die direkte Verfügbarkeit und die Synchronisationsmöglichkeiten der Daten sowie der einfache und direkte Zugriff auf das Messsystem wurden als sehr hilfreich bewertet. Die Benutzerführung der Mängelbewertung und der Erfassung von Erfahrungswissen erforderte kaum eine Einführung in das System. In dem ausgewählten Anwendungskontext, bei dem die Forschungsfrage explizit die Nutzung von HMD-Systemen adressierte, zeigten sich technische Restriktionen und mangelhafter Tragekomfort bei den eingesetzten HMDs. Die Nutzung über Smartphones und Tablet-Systeme wurde in diesem Anwendungsbereich besser bewertet [3].

### 3.3 Assistenzgestützte Fehlerlokalisierung und Behebung

Für die Überwachung und kontextbezogene Analyse von Betriebszuständen von Anlagen wurde der Prototyp V-Assist am Fraunhofer IFF entwickelt [6]. Das System vergleicht Zustände der realen Anlage mit einem parallel

dazu laufenden virtuellen Modell. Für die Assistenz werden auf einem mobilen System (u.a. Tablet, HMDs) u.a. Zustandsdaten der Anlage ortsbezogen angezeigt. Der Bediener wird direkt zu dem fehlerhaften Bauteil navigiert. Am Störungsstandort angekommen erhält der Bediener Zugriff auf detaillierte Arbeitsempfehlungen zum genauen Eingrenzen bzw. Beheben der Störung. Die Arbeitsempfehlungen werden dabei vom Bediener quittiert und protokolliert (Abbildung 4). Bei Bedarf können alle relevanten Dokumente (Schaltpläne, Zeichnungen, Datenblätter, etc.) auf dem Endgerät angezeigt werden.



*Abbildung 4: Arbeitsanweisungen zum Beheben des Fehlerzustandes der Anlage. (Quelle: [6], © Alexa Kernchen)*

Die genutzten digitalen Daten resultierten aus dem konsequenten digitalen Engineering, von der Planung bis in den Betrieb, mit dem am Fraunhofer IFF entwickelten Entwurfssystem »VINCENT« (Virtual Numeric Control Environment), welches alle Informationen aus den Entwurfsdomänen Mechanik, Elektrotechnik sowie Steuer- und Regelungstechnik syntaktisch und semantisch verknüpft und konsistent hält. Mit VINCENT wird ein weitgehend paralleler Entwurf einer Maschine oder Anlage ermöglicht. Entwicklungszeit und -kosten werden reduziert, der Entwurf ist weitgehend abgesichert und die Steuerungssoftware entwickelt und getestet, bevor die Maschine in Hardware gebaut wird. Des Weiteren werden durch VINCENT Hardware-in-the-Loop-Tests sowie der synchrone Betrieb von realer und virtueller Anlage ermöglicht.



*Abbildung 5: Anzeige aufgetretener Fehlerzustände auf den betroffenen Komponenten im Kamerabild. ([6], © Sebastian Möser)*

Nach einer einmaligen Registrierung des Assistenzsystems mit der Anlage und einem vorhandenen Trackingsystem vor Ort, kann mit dem Assistenzsystem zu jedem beliebigen Anlagenstandort navigiert werden. Durch eine funk-

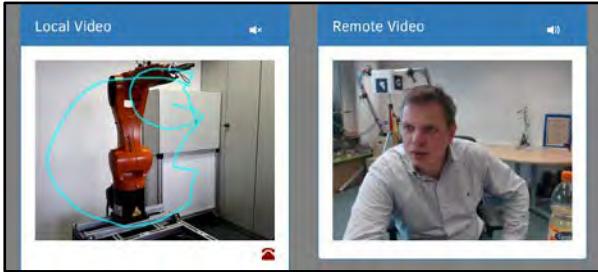
basierende Kopplung mit VINCENT erhält das mobile System Statusinformationen von der Anlagensteuerung. Aufgetretene Fehler an der Anlage werden nach einer Vorverarbeitung durch VINCENT an das mobile System mit den nötigen Informationen (z.B. aktuelle Position) gesendet. Aufgrund eines synchron zur realen Anlage laufenden virtuellen Modells können auch bewegte Baugruppen räumlich lokalisiert werden. Zusätzlich stehen aktuelle Sensordaten der Anlage zur Verfügung.

VINCENT ist ein Engineering-System, das konsequent die Konstruktion und Steuerungsentwicklung am digitalen CAD-Datenmodell adressiert. Über die automatisierte Steuerungscodegenerierung und die entsprechende Datenbasis kann die so entwickelte Anlage umfangreiche Daten im Anlagenbetrieb (Fehlermeldungen, Fehlerort, Dokumente, Handlungsanweisungen) dem Anwender zur Verfügung stellen und ist damit ein Beispiel einer höheren Ausbaustufe insbesondere der vertikalen Integration.

#### 4 Assistenz mit bedarfsgerechten Informationen

Die Anlagendaten, wie Handbücher und Anleitungen, liegen häufig nicht digitalisiert vor. Der Aufwand zur nachträglichen Digitalisierung der Anlagendaten stellt ein Hindernis bei der Einführung von Assistenzsystemen dar. In Folgenden soll ein Konzept für ein Assistenzsystem beschrieben werden, das nur wenige Basisdaten erfordert und sukzessiv eine Wissensdatenbank aufbaut. Die hohen Aufwände der Digitalisierung des gesamten Datenbestandes werden somit vermieden. Stattdessen wird relevantes Wissen für die Assistenz während der Nutzung bedarfsgerecht erfasst. Es soll daher ein System aufgebaut werden, bei dem bedarfsgerecht Informationen zur Anlage und zu Instandhaltungsmaßnahmen hinzugefügt werden. Kosten werden somit auf das Wesentliche reduziert.

Durch den Aufbau eines digitalen Assistenz- und Wissenssystems soll das Auffinden und Beheben von Fehlerzuständen in Maschinen unterstützt und die Bedienung regelkonform abgesichert werden. Das Assistenzsystem soll aus einer mobilen Anwendung für die Vor-Ort-Assistenz des Instandhalters sowie einem einfachen Autorensystem für die Verwaltung erfasster Daten in einem zweistufigen Freigabeprozess bestehen. Anfangs wird das Assistenzsystem primär zur Dokumentation und Koordination von Instandhaltungstätigkeiten genutzt. Über das Autorensystem sollen hierfür einzelne Mitarbeiter Instandhaltungsaufgaben zugewiesen bekommen. Die Instandhalter müssen nach Abschluss der Aufgabe den Abschluss quittieren, die durchgeführte Tätigkeit bei Bedarf kurz beschreiben (Textnotiz, 140 Zeichen) und zusätzlich mit Fotos belegen. Diese Inhalte dienen in dieser frühen Phase bereits der Dokumentation und Qualitätssicherung der Instandhaltung.

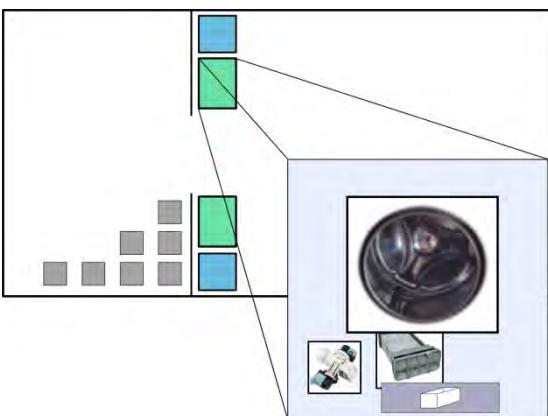


*Abbildung 6: Videokonferenz mit Experten. © Simon Adler*

Die mobile Anwendung soll zudem über ein Videokonferenzmodul verfügen, über das Instandhalter untereinander oder mit einem Experten, der ggf. nicht vor Ort ist, direkt per Video kommunizieren können. Der Experte kann durch das Videobild des mobilen Gerätes einen Eindruck der Vor-Ort-Situation erhalten und so gezielt beraten. Indem beide Teilnehmer kooperativ auf dem Kamerabild skizzieren, können Sachverhalte direkt geklärt werden. Bereits ohne festen Datenbestand kann das Assistenzsystem hierdurch bei der Instandhaltung unterstützen (Abbildung 6).

Instandhaltungen haben meistens einen direkten Bezug zu Anlagenkomponenten, so dass ein Orts- und Komponentenbezug hergestellt werden muss. Für diesen Bezug wird ein aufwändig zu erststellendes strukturiertes CAD-Modell oder eine strukturierte Stückliste erfordert, die häufig dem Anlagenhersteller, aber nicht dem -betreiber vorliegen. Dem Assistenzsystem soll hierfür zunächst ein einfaches 2D-Schema als Anlagengrundriss hinterlegt werden, das gedanklich die Standfläche der Anlage beschreibt. Für den einfachen Orts- oder Komponentenbezug können in diesem Grundriss Baugruppen oder -module als einfache Grundformen (Rechteck, etc.) nachgetragen und optional mit einem Foto als klassisches Icon individualisiert werden. Über die Ausdehnung wird der grobe Bereich der entsprechenden Komponente beschrieben (Abbildung 7).

Komponenten können miteinander verknüpft werden und wiederum bei Bedarf Subkomponenten beinhalten.



*Abbildung 7: Schema einer Fertigungshalle mit mehreren Anlagen. Der Ausschnitt zeigt detailliert eine Anlage mit den bisher bekannten Komponenten. © Alexa Kernchen*

Die sich hierdurch allmählich entwickelnde Anlagenstruktur hat nicht den Anspruch einer Detaillierung entsprechend der Stückliste, sondern soll funktionale Bereiche verdeutlichen, die insbesondere bei der Instandhaltung relevant sind.

Der Instandhalter kann den Ort seiner erfassten Informationen in diesem Schema manuell angeben, sodass bei einer Störung, Wartung oder Prüfung Informationen auch mit Bezug auf räumliche Position oder Komponentenzugehörigkeit gezielt abgerufen werden können.

Die Kurzbeschreibung von Instandhaltungsinformationen ist hinreichend für einfache Tätigkeiten oder die Dokumentation, aber häufig unzureichend für die Beschreibung von komplexeren Handlungen, bei denen beispielsweise der Hauptinstandhalter konsultiert wird. Über das Autorensystem sollen die vorhandenen erfassten Daten genutzt werden, um hieraus Handlungsempfehlungen zu erstellen. Insbesondere häufige Tätigkeiten, die immer wieder zu Rückfragen führen, können in dem Autorensystem als einfache Prozessabfolge beschrieben werden, wobei die bereits erfassten Kurznotizen und Bilder als Grundlage der Beschreibung genutzt werden können. In der 2D-Schema-Ansicht kann hierfür zwischen »Notiz« und »Empfehlung« unterschieden werden, so dass dem Instandhalter ersichtlich ist, welche Daten bereits durch einen übergeordneten Experten geprüft wurden.

Durch das stetige Einpflegen von neuen Komponenten und das Protokollieren von Änderungen liegen stets eine aktuelle Datenbasis und eine durchgängige Dokumentation der Instandhaltungstätigkeiten vor. Änderungen gegenüber dem Zustand bei der Inbetriebnahme werden über eine Anlagenhistorie zu allen Anlagenkomponenten dokumentiert und zur Verfügung gestellt (vertikale Integration). Informationen zur Anzahl von Ausfällen und zu defekten Komponenten können genutzt werden, um zwischen der Reparatur und dem Ersatz einzelner Komponenten bzw. der Anlage abzuwählen.

## 5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde ein Überblick über Assistenzsysteme für verschiedene Reifegrade der IKT-Integration gegeben. Die Systeme reichen von einfachen Checklisten und Handlungsempfehlungen bis zu einer direkten Anbindung an die Steuerung und aktuellen Anlagenzuständen. Weiterhin wurde das Konzept für ein Assistenzsystem vorgestellt, welches durch eine sehr geringe Datenbasis in den Betrieb integriert werden kann. Bei zunehmender Digitalisierung kann sich das Assistenzsystem entsprechend mitentwickeln und im Funktionsumfang erweitern. Durch einen sukzessiven Aufbau der Wissensdatenbank wird der Aufwand auf die Betriebszeit verteilt, das Tagesgeschäft minimal beeinflusst und unnötige Kosten werden vermieden.

## **6 Literatur**

- [1] Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH), »Digitale Assistenten in der Produktion: Unterstützung für kleine und mittlere Unternehmen.« [Online]. Available: [http://www.iph-hannover.de/\\_media/files/pressemitteilungen/IPH\\_Pressemitteilung\\_2016-01-11\\_Industrie-4.0.pdf](http://www.iph-hannover.de/_media/files/pressemitteilungen/IPH_Pressemitteilung_2016-01-11_Industrie-4.0.pdf). [Accessed: 25-May-2016].
- [2] KNAPP AG, »Start des Forschungsprojekts Assist 4.0,« KNAPP AG - Intralogistik-Lösungen. [Online]. Available: <https://www.knapp.com/cms/cms.php?pageName=press&iD=142>. [Accessed: 25-May-2016].
- [3] S. Adler, A. Kernchen, T. Reipsch, E. Bayrhammer, and U. Schmucker, »Mobile Assistenzsysteme für sicheren Betrieb und Wartung von Maschinen und Anlage«, presented at the Wissenschafts- und Industrieforum Intelligente Technische Systeme 2015, 2015.
- [4] S. Adler, »Schritt für Schritt geleitet«, IFFocus, no. 1/2014, pp. 32–35, 2014.
- [5] S. Adler and M. Kisch, »Mobile Assistenzsysteme zur Prüfung und Instandhaltung« Tech. Sicherh., no. 10/2015, pp. 49–53, Oct. 2015.
- [6] E. Bayrhammer, S. Möser, M. Kennel, and U. Schmucker »Durchgängige Produktentwicklung im Sondermaschinenbau für kleine und mittlere Unternehmen« In: 11. Magdeburger Maschinenbau-Tage, Magdeburg, 2013.



# Programmbeirat

## **Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier,**

Heinz Nixdorf Institut,  
Universität Paderborn

## **Prof. Dr.-Ing. Bernd Hellingrath,**

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Logistik,  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

## **Prof. Prof. h. c. Dr.-Tech. Habil. PhD. Béla Illés,**

Lehrstuhl für Fördertechnik und Logistik,  
Universität Miskolc, Ungarn

## **Univ.-Prof. Dr.-Ing. André Katterfeld,**

Institut für Logistik und Materialflusstechnik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## **Prof. E. h. Dr.-Ing. Gerhard Müller,**

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
-automatisierung IFF, Magdeburg

## **Hon.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Richter,**

Institut für Logistik und Materialflusstechnik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
-automatisierung IFF, Magdeburg

## **Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk,**

Institut für Logistik und Materialflusstechnik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
-automatisierung IFF, Magdeburg

## **Dipl.-Ing. Holger Seidel,**

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
-automatisierung IFF, Magdeburg

## **Univ.-Prof. Prof. eh. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wilfried Sihn,**

Institut für Managementwissenschaften,  
Technische Universität Wien, Österreich

## **Prof. Dr.-Ing. habil. Zbigniew Antoni Styczynski,**

Institut für Elektrische Energiesysteme,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## **Prof. Dr.-Ing. Thomas Wimmer,**

Bundesvereinigung Logistik, Bremen

## **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zadek,**

Institut für Logistik und Materialflusstechnik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## **Prof. i. R. Dr.-Ing. h. c. Dietrich Ziems,**

Institut für Logistik und Materialflusstechnik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## **Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Zsifkovits,**

Lehrstuhl Industrielogistik,  
Montanuniversität Leoben, Österreich



# AUTOREN

## **Assmann, Tom, M. Sc.**

Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

## **Adler, Simon, Dr.-Ing.**

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF  
Sandtorstraße 22  
39106 Magdeburg  
Deutschland

## **Barnowski, Daniel, M. Sc.**

Pedalpower SchöNSTEDT & Busack GbR  
Pfarrstraße 115  
10317 Berlin  
Deutschland

## **Baumgartner, Michael, Dr.**

CARGOMETER GmbH  
Gutheil-Schoder-Gasse 10  
1100 Wien  
Österreich

## **Beck, Dayna**

N3 Engine Overhaul Services GmbH & Co. KG  
Gerhard-Hötlje-Straße 1  
99310 Arnstadt  
Deutschland

## **Behrendt, Fabian, Dr.-Ing.**

Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

## **Böse, Jürgen, Dr.**

Technische Universität Hamburg-Harburg  
Am Schwarzenberg  
21073 Hamburg  
Deutschland

## **Brigl, Tobias, M. Sc.**

Audi AG, Ingolstadt  
August-Horch-Str. 22  
85055 Ingolstadt  
Deutschland

## **Dittmer, Patrick, Dipl.-Wirt.-Ing.**

Pat.-Ing.  
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH  
Hochschulring 20  
28359 Bremen  
Deutschland

## **Dresselhaus, Wilhelm**

Nokia  
Lorenzstraße 11  
70435 Stuttgart  
Deutschland

## **Freitag, Michael, Prof. Dr.-Ing.**

BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH  
Hochschulring 20  
28359 Bremen  
Deutschland

## **Galka, Stefan, Dipl.-Wirt.-Ing.**

Technische Universität München  
Arcisstraße 21  
80333 München  
Deutschland

## **Günther, Willibald A., Prof. Dr.-Ing.**

Dipl.-Wirt.-Ing.  
Technische Universität München  
Arcisstraße 21  
80333 München  
Deutschland

## **Herlyn, Wilmjakob, Dr. rer. pol.**

Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

## **Hill, Alessandro, Dr.**

Technische Universität Hamburg-Harburg  
Am Schwarzenberg  
21073 Hamburg  
Deutschland

## **Hofmann, Wladimir, B. Sc.**

Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

## **Hopf, Hendrik, Dr.-Ing.**

Technische Universität Chemnitz  
Reichenhainer Str. 70  
09111 Chemnitz  
Deutschland

## **Hörold, Stephan, Dipl.-Ing.**

Technische Universität Ilmenau  
Gustav-Kirchhoff-Straße 1  
98693 Ilmenau  
Deutschland

## **Jachmann, Daniel, M. Sc.**

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF  
Sandtorstraße 22  
39106 Magdeburg  
Deutschland

## **Jahn, Carlos, Prof. Dr.-Ing.**

Technische Universität Hamburg-Harburg  
Am Schwarzenberg  
21073 Hamburg  
Deutschland

## **Kaspar, Stefan, M. Eng.**

Hochschule Landshut  
Am Lurzenhof 1  
84036 Landshut  
Deutschland

## **Keller, Sebastian, M. Sc.**

BMW Group  
BMW Allee 1  
04349 Leipzig  
Deutschland

## **Kernchen, Alexa, Dipl.-Inf.**

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF  
Sandtorstraße 22  
39106 Magdeburg  
Deutschland

## **König, Alexander, Dipl.-Ing. (FH)**

BMW Group  
BMW Allee 1  
04349 Leipzig  
Deutschland

## **Krause, Andreas, Dipl.-Wirt.-Ing.**

(FH)  
Technische Universität Chemnitz  
Reichenhainer Str. 70  
09111 Chemnitz  
Deutschland

## **Krick, Ronald**

sourcingmentor.com  
Ohlsdorfer Straße 36  
22299 Hamburg  
Deutschland

## **Krömker, Heidi, Prof. Dr. phil.**

Technische Universität Ilmenau  
Gustav-Kirchhoff-Straße 1  
98693 Ilmenau  
Deutschland

**Krones, Manuela, Dipl.-Math. oec.**  
Technische Universität Chemnitz  
Reichenhainer Str. 70  
09111 Chemnitz  
Deutschland

**Lang, Sebastian, B. Sc.**  
Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

**Langer, Sebastian, B. Sc.**  
Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

**Lenz, Thorsten, Dipl.-Ing.**  
CABKA Group GmbH  
Joachimsthaler Str. 24  
10719 Berlin  
Deutschland

**Martini, Andreas, M. Sc.**  
Universität Siegen  
Paul-Bonatz-Str. 9-11  
57068 Siegen  
Deutschland

**Mauksch, Tobias, M. Sc.**  
Universität Siegen  
Paul-Bonatz-Str. 9-11  
57068 Siegen  
Deutschland

**Müller, Egon, Prof. Dr.-Ing.**  
Technische Universität Chemnitz  
Reichenhainer Str. 70  
09111 Chemnitz  
Deutschland

**Özdemir, Dursun Can**  
Alcatel-Lucent Deutschland AG  
Friedrichstrasse 95  
10117 Berlin  
Deutschland

**Poenicke, Olaf, Dipl.-Wirt.-Ing.**  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
-automatisierung IFF  
Sandtorstraße 22  
39106 Magdeburg  
Deutschland

**Sander, Bastian, Dipl.-Phys. M. Sc.**  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
-automatisierung IFF  
Sandtorstraße 22  
39106 Magdeburg  
Deutschland

**Schauf, Christian, Dipl.-Wirt.-Ing.**  
Volkswagen AG  
Cyriaksring 3  
38118 Braunschweig  
Deutschland

**Schenk, Michael, Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult.**  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
-automatisierung IFF  
Sandtorstraße 22  
39106 Magdeburg  
Deutschland

**Schneider, Markus, Prof. Dr.**  
Hochschule Landshut  
Am Lurzenhof 1  
84036 Landshut  
Deutschland

**Schönherr, Ralf, M Sc.**  
BMW Group  
Knorrstraße 147  
80788 München  
Deutschland

**Schubel, Alexander, M. Eng.**  
Hochschule Landshut  
Am Lurzenhof 1  
84036 Landshut  
Deutschland

**Schwarz, Jochen**  
Alcatel-Lucent Holding GmbH  
Friedrichstrasse 95  
10117 Berlin  
Deutschland

**Silge, Marco, Dipl.-Wirt.-Ing. (FH)**  
N3 Engine Overhaul Services  
Gerhard-Hötlje-Straße 1  
99310 Arnstadt  
Deutschland

**Stache, Ulrich, Prof. Dr.-Ing.  
Dipl.-Oec.**  
Universität Siegen  
Paul-Bonatz-Str. 9-11  
57068 Siegen  
Deutschland

**Stamer, Martin, Dipl.-Wirt.-Inf.**  
Technische Universität Hamburg-  
Harburg  
Am Schwarzenberg  
21073 Hamburg  
Deutschland

**Strackeljan, Jens, Univ.-Prof. Dr.-Ing.**  
Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

**Strauch, Jörg, Dr.-Ing.**  
Technische Universität Chemnitz  
Reichenhainer Str. 70  
09111 Chemnitz  
Deutschland

**Weigert, David, M. Sc.**  
Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
Deutschland

**Webel, Thomas, Dipl.-Ing.**  
Ministerium für Landesentwicklung und  
Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt  
Turmschanzenstraße 30  
39114 Magdeburg.  
Deutschland

# IMPRESSUM

21. Magdeburger Logistiktage  
»Logistik neu denken und gestalten«  
22. Juni – 23. Juni 2016, Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF  
Herausgeber:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk  
Sandtorstraße 22 | 39106 Magdeburg  
Telefon +49 391 4090-0 | Telefax +49 391 4090-596  
ideen@iff.fraunhofer.de  
<http://www.iff.fraunhofer.de>

Umschlaggestaltung: Ina Daehre  
Redaktion: Dr.-Ing. Annegret Brandau, Madeleine Linke  
Titelfoto: Oliver Meier, Fraunhofer IFF  
Fotos, Bilder, Grafiken: Soweit nicht anders angegeben,  
liegen alle Rechte bei den Autoren der einzelnen Beiträge.

Herstellung: Docupoint GmbH

Bibliografische Information der Deutschen  
Nationalbibliothek:  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese  
Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.  
ISSN 2196-7571

Alle Rechte vorbehalten  
Für den Inhalt der Vorträge zeichnen die Autoren verantwortlich.  
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich  
geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des  
Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung  
des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für  
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die  
Speicherung in elektronischen Systemen.  
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in  
diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche  
Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-  
Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von  
jedermann benutzt werden dürfen.  
Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften  
oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen  
zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit,  
Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

