



# Logistik als Wissenschaft – zentrale Forschungsfragen in Zeiten der vierten industriellen Revolution

Positionspapier des Wissenschaftlichen Beirats  
der Bundesvereinigung Logistik (BVL)



# Positionspapier des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesvereinigung Logistik (BVL)

## Autoren



**Prof. Dr. Dr. h. c. Werner Delfmann**  
Direktor,  
Seminar für Unternehmensführung und Logistik,  
Universität zu Köln



**Prof. Dr. Michael ten Hompel**  
Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen – FLW,  
Technische Universität Dortmund,  
Geschäftsführender Institutsleiter,  
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML,  
Dortmund



**Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten**  
Institutsleiter,  
Institut für Logistik und Unternehmensführung,  
Technische Universität Hamburg



**Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt**  
Institutsleiter,  
Fakultät Maschinenwesen,  
Professur für Technische Logistik,  
Technische Universität Dresden



**Prof. Dr. Wolfgang Stölzle**  
Geschäftsführender Direktor,  
Lehrstuhl für Logistikmanagement,  
Universität St. Gallen, Schweiz

Das vorliegende Positionspapier wird von allen Mitgliedern des Wissenschaftlichen Beirats der BVL getragen. Die Verfasser danken allen Beteiligten für ihren wertvollen Input zu diesem Papier.

## Einleitung

Angesichts des grundsätzlichen Wandels, den die sogenannte vierte industrielle Revolution („Industrie 4.0“) für Wirtschaft und Gesellschaft mit sich bringt, bedarf es einer neuen Positionierung der Logistik als Disziplin und Wissenschaft. Denn sie ist ein zentrales Element, die bewegende Kraft dieser Entwicklung. Die Logistik hat sich von der reinen Dienstleistung – die richtige Ware zur richtigen Zeit am richtigen Ort – zu einem wesentlichen Treiber des digitalen und gesellschaftlichen Wandels entwickelt. Themen wie das Internet der Dinge und Dienste, Big Data oder das autonome Fahren sind heute untrennbar mit der Logistik verbunden. Dabei betreibt die Logistik als Wissenschaft und als Wirtschaftsbereich nicht nur die Anwendung, sondern zunehmend auch die Entwicklung grundlegender Methoden, Algorithmen und Technologien.

Der Wissenschaftliche Beirat der BVL hat im Jahr 2010 in einem Positionspapier sein Verständnis der wissenschaftlichen Disziplin Logistik präzisiert<sup>1</sup>. Hierauf aufbauend erscheint es nunmehr dringend geboten, die zentrale Rolle der Logistik im Kontext von Industrie 4.0 (im Folgenden „Logistik 4.0“) zu verdeutlichen sowie zu reflektieren, vor welchen zentralen Herausforderungen die Logistikforschung steht. Der Wissenschaftli-

che Beirat der BVL möchte mit diesem Positionspapier die wesentlichen Fragen zur Zukunft der Logistik in Zeiten der vierten industriellen Revolution stellen und damit einen grundlegenden Beitrag zur Diskussion, Gestaltung und Weiterentwicklung einer Logistik 4.0 leisten.

Dabei geht er von zwei zentralen Voraussetzungen bzw. Kernelementen von Industrie 4.0 aus, die auch für die Logistik 4.0 essenziell sein werden: Das ist auf der einen Seite die Digitalisierung, Dezentralisierung und Vernetzung und auf der anderen Seite ein grundsätzlicher Wandel in Richtung Selbststeuerung und -organisation, symbolisiert durch das Internet der Dinge und Dienste. In diesem Kontext wurde anlässlich der Hannover-Messe 2011 die vierte industrielle Revolution proklamiert. Häufig als „kopernikanische Wende“ bezeichnet, handelt es sich um eine *Erkenntnis a priori*, also um eine logisch abgeleitete, aber empirisch noch nicht umfassend nachgewiesene Erkenntnis, die innerhalb kurzer Zeit von wesentlichen Teilen der internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft geteilt wurde.

In einem Satz kondensiert lässt sich diese Erkenntnis in etwa wie folgt beschreiben:

Die Logistik von morgen wird sich basierend auf autonomen Entitäten<sup>2</sup> effizienter gestalten lassen als heute, und das Maß der korrespondierenden Dezentralisierung und Selbstorganisation wird mit der Komplexität und Dynamik der logistischen Wertschöpfungssysteme wachsen.

Der resultierende Wandel ist grundsätzlicher Natur und wird alle Sektoren und Disziplinen der Logistik betreffen – von der Planung über die technische Gestaltung bis zum Management.

Vor diesem Hintergrund lassen sich drei Kernthesen für die Logistik 4.0 ableiten.

# Kernthesen

Im Zuge der alles umfassenden Digitalisierung von Ökonomie und Gesellschaft kommt der Logistik eine absolut zentrale Bedeutung zu. Damit wird sie noch stärker zum Gegenstand des Forschungsinteresses, als sie es bisher ohnehin schon war – denn ohne adäquate Logistiksysteme ist die vierte industrielle Revolution schlicht nicht denkbar. Logistik bildet das Rückgrat dieser Entwicklungen. Deren Ziel sind flexibel vernetzte, komplexe, verteilte Systeme, die auf einem kontinuierlichen und autonomen Daten- und Informationsaustausch menschlicher Akteure und physisch-technischer Objekte fußen. Industrielle Systeme und Netzwerke sollen im Rahmen der vierten industriellen Revolution in die Lage versetzt werden, sich innerhalb eines gewissen technisch-organisatorischen Rahmens weitestgehend selbst zu steuern und den sich kontinuierlich ändernden Gegebenheiten möglichst flexibel, effizient und effektiv anzupassen.

Die Umsetzung einer Industrie 4.0 ohne eine Logistik 4.0 ist ebenso wenig denkbar wie die Globalisierung der Wirtschaft ohne weltumspannende logistische Netzwerke. Nicht nur das Netzwerkmanagement, sondern auch dessen Strukturierung und Steuerung sind originäre Aufgaben der Logistik sowohl als Wissenschaft als auch in den praktischen Gestaltungsbereichen. Hieraus ergibt sich:

- **Logistik ist die bewegende Instanz der vierten industriellen Revolution.**
- **Logistik ist sowohl Treiber als auch Basis der vierten industriellen Revolution.**
- **Logistik erfordert eine gemeinsame theoretische und methodische Fundierung von Technologie und Ökonomie ebenso wie von Strategie und operativem Betrieb.**

Angesichts dieser Thesen ist es eine *conditio sine qua non*, die Forschung zum Thema Logistik 4.0 zu intensivieren. Aus ihnen ergibt sich eine ganze Reihe zentraler Forschungsfragen, deren Beantwortung die Logistikforschung vor große Herausforderungen stellt. Im Folgenden seien einige dieser Fragen mit zentraler Bedeutung erläutert und weiter ausdifferenziert.

## Forschungsfragen

### Struktureller und methodischer Wandel durch Logistik 4.0

- 1 Logistik 4.0 ist ebenso wie Industrie 4.0 eine *Erkenntnis a priori*. Offen ist insbesondere die Forschungsfrage, welche nachprüfbaren Effekte hinsichtlich Effizienz, Flexibilität und Verfügbarkeit Industrie 4.0 in der Logistik induziert.
- 2 Sind die klassischen Pfade der Entwicklung, Bewertung und Markteinführung von Produkt-, Service- und Geschäftsmodell-Innovationen eine Barriere für Logistik 4.0? Welche neuen Ansätze bieten sich in diesem Kontext an, und welche Potenziale gehen damit einher?
- 3 Wie werden künftig die normative und die operative Ebene (Planung und Steuerung) gestaltet? Wird es zu einer Trennung dieser Ebenen kommen?
- 4 Wie verändern sich die Zielgrößen logistischer Optimierung?
- 5 Wie wird die zielgerichtete Steuerung und Planung vernetzter autonomer Gruppen von Akteuren mit partikularen Interessen geregelt?
- 6 Wie sind Ziele und Regeln in den verteilten und autonomen Systemen einer Logistik 4.0 aufzustellen, zu übertragen und zu implementieren?
- 7 Wie sieht der Wandel von klassischer, deterministischer, hierarchischer Supply-Chain-Planung und -Steuerung in Richtung heterarchischer, probabilistischer Ad-hoc-Planung und -Steuerung einer Logistik 4.0 aus?
- 8 Wird Logistik 4.0 zu anderen Prinzipien der Ressourcennutzung führen (Share Economy)?

### Logistik 4.0 als soziotechnisches System

- 9 Menschen und autonome Maschinen werden zukünftig als gleichberechtigte Partner in (sozialen) Netzwerken agieren und in natürlichen Umgebungen zusammenarbeiten. Wie sehen die soziotechnischen Systeme der Logistik 4.0 aus?
- 10 Wie werden Risiko und Verantwortung geteilt und verteilt („maschinelle Verantwortung“)?
- 11 Welche Qualifikationen und Kompetenzen erfordert eine Logistik 4.0? Wie findet deren individueller Aufbau statt?

1

Logistik 4.0 ist ebenso wie Industrie 4.0 eine *Erkenntnis a priori*. Offen ist insbesondere die Forschungsfrage, welche nachprüfbaren Effekte hinsichtlich Effizienz, Flexibilität und Verfügbarkeit Industrie 4.0 in der Logistik induziert.

Die Vision der Digitalisierung dringt in alle Bereiche logistischer Prozessketten – von der Beschaffung über die Produktion bis in die Distribution – und beflügelt damit die Erwartungen und Vorstellungen hinsichtlich der Möglichkeiten einer zukünftigen Gestaltung und Umsetzung von Prozessen, Anlagen und Systemen. Recht unterschiedlich offenbaren sich aber auch die Ansichten dazu, wie durch die Digitalisierung Mehrwert geschaffen werden soll.

Schnell ergeben sich die unmittelbaren Chancen aus einer umfassenden informationstechnischen Vernetzung. Und obwohl die absolute Datenmenge in allen Bereichen der Wirtschaft seit langer Zeit erheblich steigt, bleibt die durchgängige Erfassung und Aufbereitung unternehmensrelevanter Prozessdaten eine Kernherausforderung, die mit wenigen Ausnahmen nicht beherrscht wird. Ohne allzu visionäre Mühen ist der Nutzen der Möglichkeit zu erkennen, dass Informationen schneller, umfassender und vor allem fehlerfrei bereitgestellt werden. Kurzfristig verfügbare und geeignet aufbereitete Informationen repräsentieren Wissen und ermöglichen zum Beispiel, schneller zu reagieren, frühzeitig Verschleiß zu erfassen oder Ausfälle vorherzusehen – allesamt zentrale Fertigkeiten eines agilen und effizienten Unternehmens. Zudem gilt es als unstrittig, dass Daten als solche – und zunehmend in einer Logistik 4.0 – einen Wert repräsentieren. Dieser kann sowohl durch den Austausch als auch durch die Verarbeitung erhöht werden. Maschinelles Lernen, wie es bei der Analyse großer Datenmengen (z. B. Predictive Analytics) oder bei der Steuerung cyber-physischer Systeme (z. B. Bild- und Sprachanalyse, Gestenerkennung) in der Logistik 4.0 zum Einsatz kommt, erhöht den Wert von Daten abermals. Die konsequente Vernetzung intelligenter Prozessbausteine bietet eine vielversprechende Basis dafür, mithilfe geeigneter Algorithmen die verteilten Informationen zu einer Wissensbasis zu vernetzen – nach wie vor eine These, die noch unter Beweis zu stellen ist.

Der größte Mehrwert einer Logistik 4.0 liegt nach allgemeiner Auffassung darin, das Leistungsvermögen digitaler Bausteine konsequent zu nutzen, um operative Entscheidungen wie die Zuweisung von Aufträgen oder die Bildung von Reihenfolgen in die unmittelbare Prozessebene zu verlagern. Durch diesen Paradigmenwechsel zu einer Autonomie der Maschinen, Geräte und auch Objekte wie Werkstücke und Waren wird eine Schlüsselkompetenz für die Beherrschung der volatilen und hochindividualisierten Beschaffung, Produktion und Distribution der Zukunft konstatiert.

Mit einer solchen Systemarchitektur werden vor allem zwei wesentliche Eigenschaften verbunden: hohe Effizienz und hohe Robustheit. Trotz des Potenzials ergeben sich diese Eigenschaften jedoch nicht per se. Hinsichtlich der Effizienz wird für dezentrale Lösungen eine höhere Leistungsfähigkeit unterstellt, weil die Systeme dynamisch auf Änderungen reagieren (können). Der Verzicht auf eine globale Systemsicht (Zustandsübersicht) wird in den meisten Fällen jedoch nur schwer durch dynamisches Verhalten zu kompensieren sein.

Wegen der großen Parallelität wird autonomen, dezentralen Systemen häufig auch eine hohe Robustheit (gegen Ausfall) unterstellt. Dies ist beispielweise zutreffend, wenn der Ausfall einer monolithischen Steuerung unmittelbar zum Gesamtausfall des Systems führt. Ein dezentrales Steuerungssystem vermag den Ausfall einzelner Komponenten weitgehend zu kompensieren. Jedoch ist unter anderem das Zeitverhalten der Reaktion auf Ausfälle von Interesse. Die Bekanntmachung von Ausfallinformationen durch sequenzielle Kommunikation einzelner Systemteilnehmer weist je nach Ausführung eine systemimmanente Trägheit auf.

Aktuelle Einzelfragen lauten daher beispielsweise:

- Welcher Umfang an dezentraler Entscheidungsfindung ist sinnvoll? Welche globalen Informationen sollten unter welchen Randbedingungen vorgehalten werden, um einen effizienten Systembetrieb zu ermöglichen?
- Wie agieren Störinformationen in dezentral gesteuerten Systemen, und welches dynamische Verhalten weist ein lokal vernetztes System auf?
- Nach welchen Regeln sind die erforderlichen Systemreaktionen aufzustellen, und wie ist das Leistungsverhalten an unterschiedlichen Leistungsstellen im System differenziert zu bewerten?
- Wie können dezentral gesteuerte Systeme methodisch und transparent modelliert werden, um deren erwartete Eigenschaften gesichert wissenschaftlich bewertbar zu machen? Ist die Erweiterung geeigneter Modelle aus der Informatik um die physische Sicht (u. a. kein Kopieren, kein Löschen von Objekten) ein geeigneter Ansatz?

## 2 Sind die klassischen Pfade der Entwicklung, Bewertung und Markteinführung von Produkt-, Service- und Geschäftsmodell-Innovationen eine Barriere für Logistik 4.0? Welche neuen Ansätze bieten sich in diesem Kontext an, und welche Potenziale gehen damit einher?

Die Digitalisierung hat bereits jetzt in diversen Branchen die Wertschöpfungsketten und die Geschäftsmodelle gravierend verändert. Oftmals sind es ganz neue Akteure außerhalb der etablierten Unternehmen, die die bestehenden Wertschöpfungsprozesse im Hinblick auf die neuen Möglichkeiten der Digitalisierung und Vernetzung durchleuchten und hinterfragen. Wesentliches Merkmal dieser Veränderungen ist eine hohe Innovationsgeschwindigkeit: Prototypen werden in schneller Folge erstellt und weiterentwickelt. Produkte werden frühzeitig mit einer Kernfunktionalität auf den Markt gebracht, ein wesentlicher Teil der Entwicklung weiterer Funktionen erfolgt nach der Markteinführung auf Wunsch bzw. Anregung von Kunden. Anstelle detaillierter Meilenstein- und Arbeitspaketplanungen kommen agile Planungsmethoden wie Scrum zum Einsatz; die betriebswirtschaftliche Bewertung erfolgt anhand langfristig angelegter Business Cases. Auf Wertsteigerung ausgerichtete Venture-Capital-Investoren finanzieren die erforderliche Anlaufphase.

Die Entwicklung innovativer logistischer Technologien, Lösungen und Dienstleistungen erfolgt dagegen meist im Rahmen erprobter Prozesse und Methoden der Produkt- und Serviceentwicklung sowie der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Zwar wurden die Entwicklungsprozesse in den letzten Jahren zunehmend beschleunigt; das Ziel lautete jedoch immer, logistische Technologien und Lösungen erst dann auf den Markt zu bringen, wenn sie einen hohen Reifegrad erreicht haben. Innovative logistische Dienstleistungen werden wiederum häufig in Zusammenarbeit mit Pilotkunden als Mehrwertdienstleistungen (Kontraktlogistik) entwickelt und erfordern eine individualisierte, kundenspezifische Bündelung verschiedener Logistikleistungen, die in der Regel mit einer größeren Integrationstiefe einhergeht. Ein Bestandteil solcher Mehrwertleistungen ist eine enge Verzahnung der Planungs- und Steuerungssysteme – und damit einhergehend auch der ICT-Systeme – zwischen den Akteuren.

Die Vergabe von Mehrwertleistungen ist bei Verladern mit umfassenden Wirtschaftlichkeitsrechnungen verbunden, die neben

der Kostendimension auch das Leistungs- und insbesondere das Qualitätsniveau eines Logistikdienstleisters beleuchten sowie Risikoanalysen beinhalten. Dies gilt in ähnlicher Weise für Logistikdienstleister, die teilweise erheblich in Assets, oft mit kundenspezifischer Prägung, (vor-)investieren. Die Laufzeiten der Verträge entsprechen dabei häufig nicht den Amortisationszeiträumen der Investitionen. Damit wird das Aufsetzen logistischer Geschäftsbeziehungen von klassischen, zumeist recht zeitaufwendigen betriebswirtschaftlichen Prüfmechanismen begleitet (z. B. Marktanalysen [Produkte, Kunden und Wettbewerber], Forecasts, Business Cases sowie Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen).

Geschäftsideen im Zusammenhang mit Logistik 4.0 haben oftmals eine andere Charakteristik: Sie basieren beispielsweise auf einem neuen Device, auf einer neuen App oder Software. Es werden nicht primär umfangreiche physische Logistikleistungen (neu) vergeben oder logistische Prozessketten neu aufgesetzt. Vielmehr ermöglicht dezentrale Intelligenz in logistischen Objekten, schnell auf Veränderungen im logistischen Umfeld zu reagieren. Damit lassen sich mächtige Planungsprozesse durch smarte Steuerungsmechanismen ersetzen. Entwicklung und Markteinführung erstrecken sich oft nur über wenige Wochen oder Monate. Allerdings ist auch die Prognostizierbarkeit des Nutzenzuwachses für die beteiligten Akteure stark eingeschränkt – dies insbesondere vor dem Hintergrund der starken technologischen Dynamik. Nicht zuletzt verschwimmen Marktsegmente, weil digitale Produkte und Services sich nicht mittels klassischer Segmentierungskriterien zuordnen lassen.

Klassische Prozesse der Produkt- und Serviceentwicklung sowie betriebswirtschaftliche Prüfmechanismen konterkarieren damit die Charakteristik von Logistik-4.0-Lösungen. Entwicklung und Markteinführung dauern zu lange, der Einsatz traditioneller Prüfmechanismen kann sogar dazu führen, dass Produkt-, Service- und Geschäftsmodell-Innovationen aus der Welt von Logistik 4.0 bei Anlegen der klassischen Prüfmechanismen keine Chance zum Markteintritt erhalten.

Aus dieser Ausgangslage leiten sich zum Beispiel folgende dringliche Einzelfragen ab:

- Ändert sich das Wertschöpfungsmodell grundlegend, und wird dies von den verfügbaren Ansätzen und Vorgehensweisen zur Entwicklung, Bewertung und Markteinführung logistischer Innovationen hinreichend berücksichtigt?
- Erlauben neuere agile Ansätze nach dem Trial-and-Error-Prinzip mehr Flexibilität und erhöhen die Marktchancen für Produkt-, Service- und Geschäftsmodell-Innovationen?
- Wie müssen solche neuen Ansätze gestaltet sein, um Agilitäts- und Qualitätsansprüche zu verbinden und Brücken zwischen den Akteuren der Digitalisierung und klassischen Logistikdienstleistern sowie Verladern zu bauen – zum beiderseitigen Nutzen?
- Wie müssen alternative Prüfmechanismen gestaltet sein, damit einerseits ein schneller Markteintritt möglich und andererseits eine ausreichende Risikoversorge für die Akteure gewährleistet ist? Wie lassen sich solche neuen Prüfmechanismen etablieren?

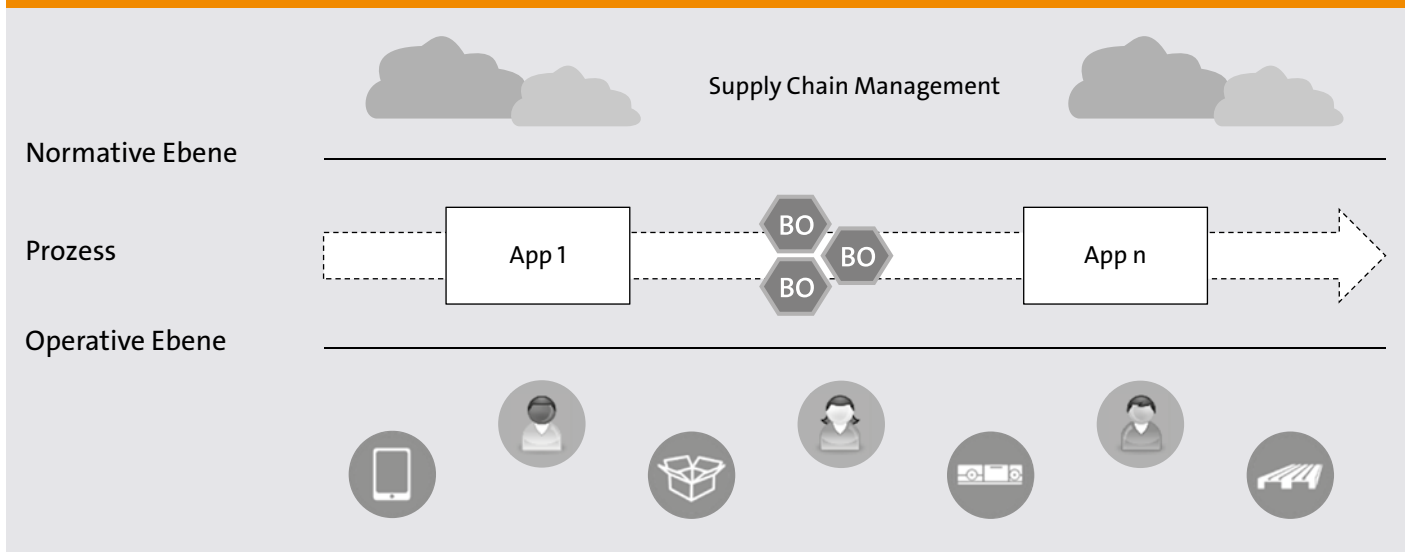
**3** Wie werden künftig die normative und die operative Ebene (Planung und Steuerung) gestaltet? Wird es zu einer Trennung dieser Ebenen kommen?

Im Kern ist die vierte industrielle Revolution essenziell mit der Einführung autonomer, sich selbst organisierender Entitäten verbunden. Hierdurch soll neben einer Produktion 4.0 auch eine „selbstorganisierende adaptive Logistik“<sup>43</sup> (Logistik 4.0) entstehen.

Folgt man dieser Erkenntnis a priori stringent, so kommt man zu dem Schluss, dass künftig die operative, echtzeitnahe Steuerungsebene selbst Entscheidungen treffen und sich in fernerer Zukunft selbst organisieren wird. Folgerichtig kommt es zu einer Entkopplung der

echtzeitnahen Operation innerhalb logistischer Systeme und Netzwerke.

Abb. 1: Entkopplung von normativer und operativer (echtzeitnaher) Ebene



Um auf operativer Ebene Entscheidungen zu treffen, sind insbesondere dort applikationsspezifische Informationen zu hinterlegen und zu propagieren. Hierunter fallen unter anderem die Topologie und das Layout von Materialflüssen und Netzwerken, dezidierte Regeln und Semantiken und letztendlich alle Informationen, die dezentrale, autonome, zielgerichtete Entscheidungen innerhalb des betrachteten Systems ermöglichen. Ziel ist es, mehr Flexibilität und Wandelbarkeit auf operativer Ebene zu erreichen. Zugleich erschließt die Entkopplung von operativer und normativer Ebene deutlich verbesserte Möglichkeiten, das Supply Chain Management zu standardisieren. Dieser Nutzen erscheint evident, ist jedoch bis heute in vivo nicht nachgewiesen.

In diesem Kontext ergibt sich eine Reihe grundlegender Einzelfragen, unter anderem:

- Wie ist zielgerichtetes, strategisches und effizientes Handeln in den verteilten Systemen einer Logistik 4.0 (basierend auf einer großen Zahl autonomer Entitäten) zu erreichen, und wie müssen der Handlungsrahmen (operativ) und die Zielsysteme dezentraler Einheiten gestaltet sein, um günstige Eigenschaften des Gesamtsystems zu erreichen?
- Lassen sich Business Objects, Funktionen und Prozesse durch die Entkopplung der operativen Ebene auf der normativen Ebene (applikationsneutral) standardisieren?
- Was folgt dem klassischen logistischen Prozessketten-Management, wenn Prozesse ad hoc ausgeführt werden?



## 4 Wie verändern sich die Zielgrößen logistischer Optimierung?

Die Dynamik heutiger Logistikprozesse führt bereits seit geraumer Zeit dazu, dass eine isolierte Betrachtung einzelner Zielgrößen problematisch und vor allem eine statische Bewertung fixer, unternehmensspezifischer Zielgrößen irreführend sein kann. Störungen von Versorgungsketten, etwa infolge von Umweltkatastrophen, haben bereits in zuvor allzu konsequent optimierten Supply Chains zu markanten Produktionsausfällen geführt. Auch in Intralogistiksystemen, die auf ein bestimmtes Lastszenario hin hoch-effizient ausgerichtet waren, führten unvorhergesehene Änderungen im Lastprofil oder in der Güterstruktur zu erheblichen Effizienzeinbußen.

Nicht zuletzt dadurch ergab sich die Erkenntnis, dass die Zielgrößendefinition insgesamt umfassender und vor allem fallspezifisch und flexibel auszurichten ist. Im Hinblick auf den anstehenden Paradigmenwechsel mit einer Abkehr von deterministischen Entscheidungsstrukturen und weitgehend vorgeplanten Abläufen in Produktion und Distribution wird diese Entwicklung eine noch größere Dynamik erfahren.

Bisherige Zielgrößen, Konzepte und Gestaltungsansätze werden nicht einfach auf die auf breiter Front diskutierten neuen Steuerungsmodelle und -philosophien übertragbar sein. Der angestrebte Mehrwert wird sich nur dann generieren lassen, wenn mit der Technologie der Vernetzung auch die Logiken der Entscheidungsfindung, etwa zur Bestimmung von Prioritäten oder Startzeitpunkten, entsprechend weiterentwickelt werden. Dies eröffnet ein sehr weites Feld, für das bislang nur rudimentäre Erkenntnisse vorliegen.

Erwartungsgemäß ergeben sich für die Effizienz dezentraler und autonomer Entscheidungsprozesse naheliegende Abhängigkeiten vom geforderten Zeitverhalten. So würde beispielsweise eine allzu starre Vorabterminierung vermutlich wenig Raum bieten, um effektive Ad-hoc-Organisationen oder Wertschöpfungsnetze zu generieren. An anderer Stelle wird das Vorsehen von Pufferzeiten (und auch physischen Pufferplätzen) sehr intensiv im Zusammenspiel mit der geforderten Systemflexibilität zu bewerten sein. Insgesamt ist also davon auszugehen, dass zusätzliche Zielgrößen einzubeziehen sind und sich die etablierten Gewichtungen verschieben werden.

Logistische Planung und Steuerung sind von jeher mit multi-kriterieller Optimierung verbunden. Die bislang dominant zugrunde gelegten und übergeordneten Kennzahlen Durchlaufzeit, Bestandshöhe und Auslastung sind somit durch weitere, unter anderem flexibilitätsorientierte Kennzahlen zu ergänzen. Es gilt, geeignete Bewertungsskalen zu finden, die das Zusammenspiel der im Widerspruch stehenden Kennzahlen in geeigneter Weise abbilden.

Aktuelle Einzelfragen lauten hier etwa:

- Mit welchen Modellen und Konzepten lässt sich das Zusammenspiel neuer Technologien und neuer Zielgrößen oder Anforderungen umfassend bewerten?
- Welche relevanten Zielgrößen sind künftig einzubeziehen? Wie verhalten sich klassische Zielgrößen wie Bestand und Durchlaufzeit zu Flexibilitätsgrößen wie Abmessungs- oder Leistungsspektrum?

## 5 Wie wird die zielgerichtete Steuerung und Planung vernetzter autonomer Gruppen von Akteuren mit partikularen Interessen geregelt?

Die bisherige Diskussion zum Thema Industrie 4.0 ist sehr stark geprägt von Konzepten in den Bereichen Big Data und Internet of Things. Die Verbindung von Informationslogistik und physischer Logistik in cyberphysischen Systemen eröffnet ganz neue technische Perspektiven für die Gestaltung und den Betrieb komplexer, flexibler Wertschöpfungsnetzwerke. Weit weniger stark thematisiert werden hingegen Fragen der organisatorischen Gestaltung und des Managements solcher Systeme. Nun bildet aber die Vernetzung unterschiedlichster Ressourcen und Akteure geradezu den Kern von Industrie 4.0.

Grundlage ist die Idee flexibel vernetzter, dezentraler Produktionskapazitäten, autonom kommunizierender und agierender Objekte und Infrastrukturen sowie die Front-to-End-Integration physischer und informationsbasierter Systeme. Solche Entwicklungen steigern jedoch die Komplexität der Systeme exponentiell. Deshalb kommen etablierte, konventionelle Methoden der Planung und Steuerung von Produktions- und Logistiksystemen an ihre Grenzen. Dies gilt nicht nur für die Intra-logistik, sondern in besonderer Weise im Kontext des unternehmensübergreifenden Supply Chain Managements wie auch für die Entwicklung logistischer Infrastrukturen. Konventionelle Logistiksysteme müssen zu „Logistics Service Value Networks“ weiterentwickelt werden – und daraus ergeben sich fundamentale technische und organisatorische Herausforderungen.

In Wertschöpfungsnetzwerken arbeiten autonome Akteure zusammen, um Komponenten komplexer Services zu produzieren und zu distribuieren, die (in modularer Weise) kombiniert den Kundennutzen generieren. Design und Koordination dieser Art verteilter Servicesysteme bilden eine zentrale Herausforderung für die Logistik in der vernetzten Industrie der Zukunft. Vor diesem Hintergrund stellt sich nicht zuletzt die wichtige Frage, wie sich die Interaktion von Mensch und Technologie in der Logistik in diesem veränderten Umfeld entwickeln wird. Menschliche (Inter-)Aktion wird auch künftig ein entscheidender Faktor sein, gerade in dezentralen und zunehmend (IT-)technologiegetriebenen Logistiksystemen.

Die Entwicklung und Nutzung des Potentials verteilter („virtueller“) Logistiksysteme wird getrieben durch die unternehmensinterne und noch stärker durch die unternehmensübergreifende Koordination der Nutzung verteilter Ressourcen, Kapazitäten und Prozesse als „Services“ durch (vertikale und horizontale) Wertschöpfungspartner, basierend auf hochentwickelten und typischerweise webbasierten Informations- und Kommunikationssystemen. Die zentralen Herausforderungen liegen in dem „neutralen“ Design von Plattformen für die gemeinsame und dezentral koordinierte Nutzung dieser Art von verteilten Ressourcen und darin, Regeln und Prozesse für die Organisation dieser Plattformen zu definieren. Logistikdienstleister können eine zentrale Rolle in diesem Kontext spielen, bei dem die Integration von IT und physischer Logistik essenziell sein wird. Die ökonomische Ausgestaltung solcher Systeme mit ihrer Vielzahl unterschiedlichster, teils auch im Wettbewerb stehender Stakeholder wird über deren Akzeptanz und Erfolg entscheiden. Dabei ist Logistik 4.0 das zentrale Element.

Damit stellen sich zahlreiche, bisher allenfalls ansatzweise behandelte Einzelfragen zur strukturellen und prozeduralen Ausgestaltung, zu den Regeln, Mechanismen und Kriterien solcher Systeme, zum Beispiel:

- Wie lassen sich „Marktmechanismen“ und die Governance multipler Stakeholder als zentrale Voraussetzung für effiziente Geschäftsmodelle in Logistik 4.0 gestalten und umsetzen?
- Wie lässt sich durch Standardisierung und Modularisierung die Komplexität informationaler und physischer Logistikstrukturen und -prozesse bewältigen?
- Wie lassen sich angesichts dezentral verfügbarer Informationen ökonomische Konzepte und Koordinationsmechanismen für horizontale Logistikkoooperationen und Marktplätze entwickeln, die in realen Entscheidungssituationen mit vielfältigen Restriktionen anwendbar sind und die angestrebte bessere Auslastung der Logistikressourcen zum Ziel haben?

## 6 Wie sind Ziele und Regeln in den verteilten und autonomen Systemen einer Logistik 4.0 aufzustellen, zu übertragen und zu implementieren?

Mit der Entwicklung von hierarchisch geplanten und zentral gesteuerten Logistiksystemen hin zu koordinierten, dezentralen und sich selbst steuernden autonomen Systemen verändert sich das Verhältnis von strategischer (bzw. normativer) und operativer Ebene grundlegend. Die angestrebte Koordination dezentraler Systeme erfordert die Vorgabe von Regeln und Mechanismen, die gewährleisten, dass die dezentral getroffenen Entscheidungen sich zu einem konsistenten Gesamtkonzept ergänzen. Dabei gilt es, auf der normativen (Planungs-)Ebene Regeln aufzustellen, die die Koordination der operativ und dezentral zu treffenden Entscheidungen der autonomen Akteure (und Objekte) im Sinne einvernehmlicher, übergeordneter Zielsetzungen sicherstellen (Steuerung). Die dezentralen Akteure müssen diese übergeordneten Regeln akzeptieren, ohne die eine Koordination nicht funktionieren kann. Dies setzt voraus, dass es ein Einvernehmen über ihre Gestaltung gibt.<sup>4</sup>

In technisch dominierten, verteilten Logistiksystemen, vor allem in der Intralogistik, wurde die Entwicklung von Zielkriterien und Regeln mit Multiagentensystemen bereits vielfach umgesetzt. Auch das Konzept der Schwarmintelligenz und lernfähiger autonomer Logistiksysteme wird zunehmend erforscht und auch bereits erfolgreich angewendet. Je mehr aber unternehmensüber-

greifende Logistiksysteme mit verteilten Ressourcen und Prozessen sowie multip-len Akteuren mit möglicherweise divergierenden ökonomischen Zielsetzungen ins Spiel kommen, desto mehr wird – jenseits der technischen Effektivität und Effizienz – die Entwicklung ökonomischer Ziele und Regeln sowie der ökonomischen Funktionalität verteilter Logistiksysteme zur zentralen Herausforderung, wenn es darum geht, Logistik-4.0-Systeme zu gestalten und zu steuern. Das Effizienz- und Effektivitätspotenzial verteilter logistischer Ressourcen, vor allem deren flexible Nutzung *on demand*, lässt sich nur auf Basis einvernehmlicher ökonomischer Regelsysteme ausschöpfen.

Nun hat vor allem in der volkswirtschaftlichen Forschung die Entwicklung sogenannter Marktmechanismen in letzter Zeit einen großen Stellenwert erlangt und findet vielfältige Anwendung im Konzept des „Market Design“. Gerade für das Design verteilter logistischer Systeme eröffnet sich hier ein großes Potenzial. Besonders in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken mit multip-len, wirtschaftlich eigenständigen Akteuren, deren Zielsetzungen und Interessenlagen möglicherweise divergieren, ist es ein komplexes Unterfangen, solche Marktmechanismen zu vereinbaren; gleichzeitig ist aber gerade diese Vereinbarung ein zentraler Stellhebel für den Erfolg von Logistik 4.0.<sup>5</sup>

Vor diesem Hintergrund ergeben sich zum Beispiel folgende grundlegenden Einzelfragen:

- Welche Akteure übernehmen die Initiative für die Ausarbeitung solcher Regelsysteme sowie dafür, die Kriterien für die Teilnahme und die Funktionalität der Regelwerke zu gestalten?
- Wie kann es gelingen, die heterogenen Zielsetzungen der Teilnehmer in verteilten Logistiksystemen kompatibel zu machen?
- Wie lässt sich das potenzielle Spannungsfeld zwischen zentraler Zielsetzung und Regelvorgabe einerseits und dezentraler Autonomie andererseits mit ökonomischen Prinzipien und Modellen handhaben und gestalten?

7

## Wie sieht der Wandel von klassischer, deterministischer, hierarchischer Supply-Chain-Planung und -Steuerung in Richtung heterarchischer, probabilistischer Ad-hoc-Planung und -Steuerung einer Logistik 4.0 aus?

Die traditionelle Idee, logistische Netzwerke ganzheitlich (hierarchisch) zu planen, zu steuern und zu kontrollieren, zielt darauf ab, ein Gesamtoptimum über Unternehmensgrenzen hinweg zu erreichen. Der Extremfall der Integration – vom Rohstofflieferanten bis zum Konsumenten – findet seinen Höhepunkt in einer zentral gelagerten Planung und Koordination aller an der Wertschöpfung beteiligten Einheiten. Die sich daraus ergebende Komplexität schadet aber vor allem der Robustheit der Systeme. Ausfälle können kaum noch kompensiert werden und drohen die Arbeitsfähigkeit insgesamt zu behindern. Strukturelle Brüche und ökonomische Krisen verstärken die Volatilität, Unsicherheit sowie Komplexität und reduzieren die logistische Berechenbarkeit. Um die logistische Performance auch in den hochdynamischen und volatilen Umfeldern von Industrie 4.0 zu gewährleisten, ist mithin zu untersuchen, inwieweit es situationspezifisch geboten ist, den Integrationsgrad allzu eng und starr gekoppelter und damit hochempfindlicher Wertschöpfungsnetze (teilweise) zu reduzieren, und ob – etwa durch gezieltes Risikomanagement – eine Veränderung in Richtung einer Entkopplung der logistischen Systeme den Zielen erhöhter Robustheit, Resilienz und Agilität besser gerecht wird<sup>6</sup>.

In diesem Kontext zielt das Logistikmanagement darauf ab, auf Informationsaustausch und Zusammenarbeit ausgerichtete, nur locker gekoppelte Systeme autonomer Akteure in Wertschöpfungsnetzwerken zu gestalten. Die Antwort auf die Frage, welcher Koordinations- und Integrationsgrad dabei angestrebt und sinnvoll ist, hängt jeweils von der spezifischen Situation der Wertschöpfungsnetze ab. Eine prinzipielle Totalintegration ist weder erstrebenswert noch praktikabel.

Besondere Bedeutung wird in diesem Zusammenhang der Erhöhung der Adaptivität beigemessen. Wertschöpfungsnetzwerke müssen als komplexe adaptive Systeme verstanden werden, mit intensiver Kommunikation und Interdependenzen zwischen ihren Entitäten, Prozessen und Ressourcen. Assoziierte Systemmerkmale sind Nicht-linearität, komplexes mehrdimensionales Verhalten, Evolutionarität und Selbstorganisation. Solche Systeme benötigen aber Koordinations- und Entscheidungsmechanismen, um adaptives und kollektives Verhalten in autonomen, dezentralisierten Kontexten zu ermöglichen. Die inhärente Komplexität derartiger Netzwerke lässt sich nicht mehr durch größtmögliche Integration, also zentralisierte Planung und Kontrolle, erreichen. Konsequenterweise ist ein Paradigmenwechsel in logistischen Systemen hin zu dezentralisierter Steuerung „intelligenter“ Objekte in heterarchischen Strukturen erforderlich, statt einer dem traditionellen Gedanken verhafteten zentralisierten Steuerung „nicht intelligenter“ Objekte in hierarchischen Strukturen.

Die Hinwendung der Logistik in Wissenschaft und Praxis zu intelligent koordinierten, verteilten, eher dezentral organisierten Konstellationen autonomer Subsysteme ist eine durchaus nicht unerhebliche Neuausrichtung logistischer Gestaltungsprinzipien und -kriterien. Dennoch finden sich bereits vielfältige, wenn auch sehr unterschiedlich bezeichnete Forschungsansätze, die auf ähnlichen Prinzipien fußen und als wertvolle Bezugspunkte dienen können, um komplexe adaptive Logistiksysteme weiter zu erforschen und zu entwickeln.

Zentrale Einzelfragen lauten hier etwa:

- Wie lassen sich die gegenläufigen Stärken und Schwächen, Potenziale und Risiken integrierter und verteilter Logistiksysteme im Kontext von Logistik 4.0 abschätzen, und wie sieht situationsabhängig die optimale Balance aus?
- Wie lassen sich Logistiksysteme als komplexe adaptive Systeme im Spannungsfeld von Technologie und Ökonomie gestalten und steuern?

## 8 Wird Logistik 4.0 zu anderen Prinzipien der Ressourcennutzung führen (Share Economy)?

Logistiksysteme streben seit jeher Effizienzsteigerungen an. Oft ist der Betrieb von Logistiksystemen mit hohen Investitionen verbunden (z. B. Facilities wie Lagerhäuser oder Hubs sowie Transportmittel-Flotten von Fahrzeugen, Fördermitteln, Flugzeugen, Rollmaterial, Loks, Schiffen). Ob die Effizienzziele erreicht werden, hängt damit maßgeblich auch von der Auslastung der vorhandenen Kapazitäten ab.

Aufgrund vielfältiger systeminterner und -externer Rahmenbedingungen (z. B. Volatilitäten der Nachfrage, Sozialvorschriften, Unpaarigkeiten, Informationsdefizite) sind Leerkapazitäten in traditionell betriebenen Logistiksystemen nahezu unvermeidlich. Elektronische Frachtenbörsen unterstützen zwar das schnelle Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage im Straßengütertransport und verbessern damit punktuell die Auslastungssituation. Sie konzentrieren sich aber jeweils auf die Auslastungspotenziale einer Ressource, die genau einem Besitzer zugeordnet werden kann. Eine gemeinsame, übergreifende Optimierung von Ressourcen, die jeweils mehreren Besitzern gehören, ist nicht vorgesehen.

Die gescheiterten Citylogistik-Projekte aus den 90er-Jahren zeigen, dass eine gemeinsame Nutzung von Logistikressourcen (hier insbesondere Lkw und Lagerraum) aus verschiedenen Gründen bislang nicht funktioniert. Offen blieb damals nicht nur die Frage, wie zeitnah ein Status über Aufträge und verfügbare Ressourcen erstellt werden kann. Ungeklärt blieb auch, nach welcher Logik bestehende Aufträge vorhandenen (Transport-)Ressourcen verschiedener Eigner/Akteure zugeteilt und wie entsprechende „Contribution-Mechanismen“ gestaltet werden können. In der Konsequenz konzentrieren sich traditionelle Optimierungsansätze bis heute darauf, die eigenen Ressourcen auszulasten.

Unterstützt durch die Nutzung von Echtzeitdaten und den Einsatz cyber-physischer Systeme ermöglicht Logistik 4.0 eine unterbrechungsfreie, vernetzte Kommunikation innerhalb von Güter- und Warenflüssen.

Die Kommunikation in der Logistik 4.0 betrifft Menschen (z. B. Fahrer, Disponenten, Logistikführungskräfte), Logistikobjekte (z. B. Güter und Waren, Behälter, Verpackungen, Paletten, Container), Logistikprozesse (z. B. Transport, Umschlag, Lagerung, Kommissionierung) und Logistikanlagen (z. B. Fahrzeuge, Terminals, Hubs). So werden Behälter und Container mit digitalem Equipment ausgestattet, mit dessen Hilfe Statusinformationen in Echtzeit global verfügbar sind. Im Straßengüterverkehr werden sendungsbezogene Dispositionssysteme mit fahrzeugbezogenen Telematiksystemen verknüpft. Die intelligente Aufbereitung, Verknüpfung, Auswertung und Nutzung von Daten für logistische Entscheidungen (Big Data) gilt als Enabler von Logistik 4.0.

Damit scheinen die Voraussetzungen für Share Economy in der Logistik erfüllt zu sein: ICT-Lösungen ermöglichen den gemeinsamen Zugriff von Geschäftspartnern (z. B. Logistikdienstleister, Verlader, Subunternehmer) in Echtzeit auf Datenbestände in der Cloud. Dazu können sender- und empfangenbezogene Auftragsstati sowie verfügbare Ressourcen – jeweils auf der Zeitleiste – zählen. Auf dieser Basis stehen Tools zur Verfügung, die Aufträge auf verfügbare Ressourcen verschiedener Akteure disponieren.

Allerdings scheinen viele Einzelfragen im Zusammenhang mit einer stabilen Umsetzung von Share Economy noch ungeklärt:

- Wie können Qualitäts-/Service-Standards gewährleistet werden, wenn logistische Leistungen mit „verteilten“ Ressourcen erstellt werden?
- Welche Prioritätsregeln kommen (wie) für die Entscheidung infrage, welche Ressource für welchen Auftrag wann eingesetzt wird?
- Mit welchen Governance-Modellen lässt sich eine Share Economy in der Logistik betreiben? Insbesondere ist zu beachten, dass der Betrieb der Plattform (einschließlich der Entscheidung über den verteilten Ressourceneinsatz) die Ressourcenauslastung und damit die ökonomische Erfolgsposition der Akteure direkt beeinflusst.
- Welchen Ansprüchen muss ein an der logistischen Leistungserstellung orientiertes „Contribution-System“ für eine Share Economy genügen, und wie kann es gestaltet werden?
- Welche Bereiche/logistischen Leistungen sind für Share Economy besonders prädestiniert?
- Was muss Compliance bei Share Economy in der Logistik leisten? Wo gibt es Schwachstellen, zum Beispiel auch im Hinblick auf Datenzugriff und -schutz?
- Wie ist der Trade-off zwischen Teilen von Information („Privacy“) und Effizienzgewinn? Wovon hängt dieser ab? Bei großer Wechselwirkung: Was bedeutet das für die Verteilung von öffentlichen und privatwirtschaftlich wahrgenommenen Aufgaben?

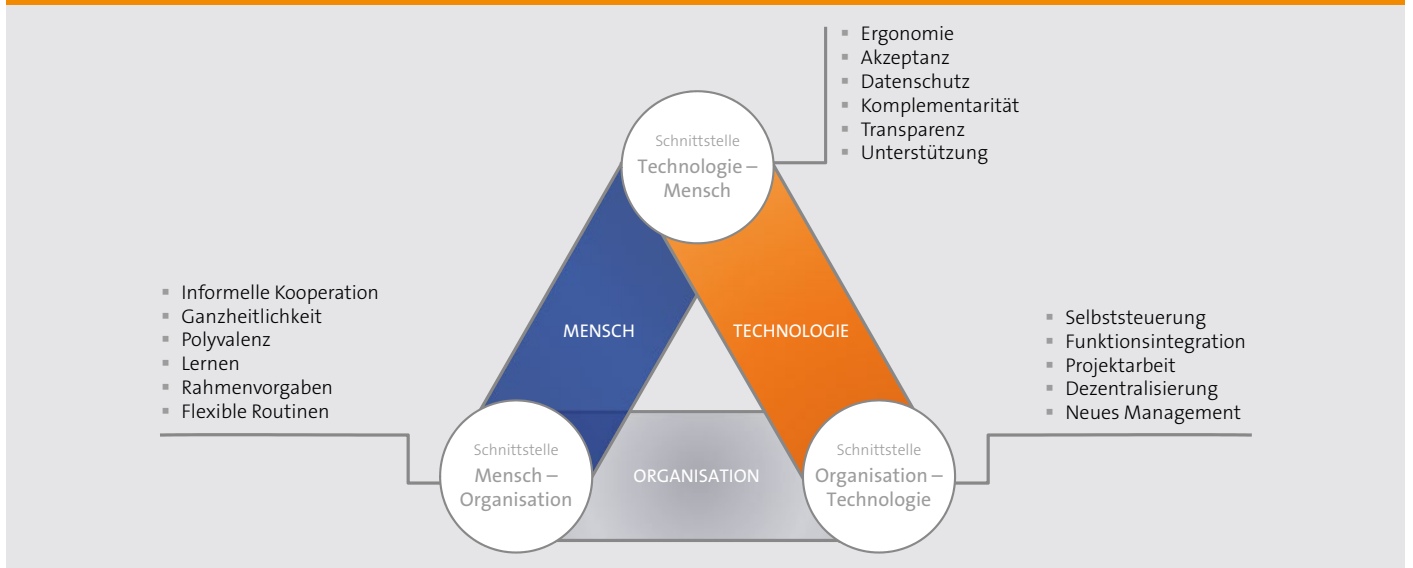
9 Menschen und autonome Maschinen werden zukünftig als gleichberechtigte Partner in (sozialen) Netzwerken agieren und in natürlichen Umgebungen zusammenarbeiten. Wie sehen die sozio-technischen Systeme der Logistik 4.0 aus?

Die technologische Entwicklung sorgt gerade in diesem Feld für ein erhebliches Innovationspotenzial. Von ebenso zentraler Bedeutung: Nach allgemeinem Verständnis bedeutet Logistik 4.0 die Vernetzung und

digitale Durchdringung der Prozesse, aber nicht zwangsläufig deren allumfassende Automation. Es ist im Gegenteil von sehr divergierenden Entwicklungsperspektiven digitalisierter Arbeit auszugehen. Grund-

sätzlich werden Automatisierungstechnologien die Gestaltung der Arbeit keineswegs determinieren, sondern es werden sich mit ihnen stets Gestaltungsspielräume verbinden.<sup>7</sup>

Abb. 2: Dimensionen und Schnittstellen des soziotechnischen Systems einer Logistik 4.0<sup>8</sup>



Der Wandel der Arbeitswelt durch Vernetzung und Digitalisierung, wie er sich in Industrie, Handel und Logistik abzeichnet, hat in anderen Bereichen – zum Beispiel in der Finanzwelt mit ihrem Hochfrequenz-Aktienmarkt – längst stattgefunden. Die Beschäftigten in diesen Bereichen haben sich in den vergangenen Jahren damit ebenso arrangiert wie die Gesellschaft als Ganzes mit der inzwischen weitgehend selbstverständlichen Nutzung digitaler Endgeräte und Social Networks.

Aus dieser Entwicklung erwachsen nun neue Perspektiven und Möglichkeiten, nicht nur für die Prozessgestaltung und -optimierung, sondern auch für die Einbindung der menschlichen Arbeit. Einfache Beispiele bestehen bereits in der individuellen Anleitung oder der leistungs- oder kenntnisabhängigen Führung des Menschen im Arbeitsprozess. Die verstärkte Integration von Sensorik in Handhabungsgeräten und deren unmittelbare Einbindung in den Arbeitsprozess ermöglichen heute hybride Arbeitsplätze ohne die bisherige strikte Trennung der Arbeitsräume oder das temporäre

Stillsetzen der korrespondierenden Automatik. Damit wird unter anderem das Potenzial ausgeschöpft, Probleme und Herausforderungen der gesellschaftlichen Entwicklung (Demografie) zu bewältigen, etwa die Übernahme von belastenden oder monotonen Aufgaben. In anderen Anwendungen wandelt sich die menschliche Tätigkeit aber auch zu einer prozessüberwachenden oder problemlösenden Funktion. Dazu gilt es, Systeme der Kompetenzentwicklung ebenso wie solche des informellen Lernens zu etablieren, die die Individualität des Menschen und dessen kognitive Eigenheiten und Fähigkeiten („kognitive Ergonomie“) gleichermaßen antizipieren. Nur so wird es möglich sein, die individuelle Kreativität und Flexibilität des Menschen im soziotechnischen Kontext einer Logistik 4.0 sozial verträglich zu nutzen. Die Akzeptanz einer neuen Mensch-Maschine-Interaktion im Sinne einer Logistik 4.0 wird über deren nachhaltigen Erfolg entscheiden. Diese lässt sich bei den Menschen jedoch nicht von außen erzeugen oder gar erzwingen, sondern muss sich allmählich einstellen.<sup>9</sup>

Die resultierenden Einzelfragen betreffen die drei essenziellen Schnittstellen des soziotechnischen Systems einer Logistik 4.0 (vgl. Abb. 2 oben), beispielsweise:

- **Schnittstelle Technologie – Mensch:** Welche Tätigkeiten sind im Rahmen einer Logistik 4.0 sinnvoll, sozial verträglich und in welcher Weise zu automatisieren? Menschen und Maschinen agieren in unterschiedlichen Zeitmaßstäben; wie lässt sich dynamisches Systemverhalten vermitteln und Verständnis für das autonome Verhalten (auf beiden Seiten) generieren?
- **Schnittstelle Mensch – Organisation:** Was ist der richtige, individuelle Umfang an Führung durch das System? Wie kann der Mensch in sinnvoller Form in Entscheidungsprozesse eingebunden werden?
- **Schnittstelle Organisation – Technologie:** Logistik 4.0 basiert auf Dezentralisierung und neuen Prinzipien der Selbststeuerung und Selbstorganisation; wie sind diese Prinzipien technologiekonform zu formulieren? Welche Methoden und Algorithmen sollten hierzu adaptiert oder entwickelt werden?

10 Wie werden Risiko und Verantwortung geteilt und verteilt („maschinelle Verantwortung“)?

Preiswerte und leistungsfähige Sensorik, Aktorik und Informationsverarbeitung versetzen die Maschinen einer Logistik 4.0 in die Lage, nicht mehr nur mit dem Menschen zu kommunizieren, sondern zu interagieren sowie menschliches Verhalten zu interpretieren und letztlich auch zu antizipieren. Die Interpretation von Gesten und Sprache oder die Messung des menschlichen Pulses über die Analyse eines Videosignals sind ebenso Stand der Technik wie Eye-Tracker im Auto oder Fitnessarmbänder und deren Bewegungsanalyse. Verfahren und Algorithmen der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens finden zunehmend Eingang, und ihre Entwicklung weist in Richtung autonomen, maschinellen Handelns.

Die Maschine wird zum „gleichberechtigten“ Partner in den sozialen Netzwerken einer Logistik 4.0. Avatare und Software-Agenten werden die Menschen in der virtuellen Welt dieser neuartigen Social Networks vertreten (vgl. These 9).<sup>10</sup> In Zukunft wird sich die Interaktion von Menschen und Maschinen (MMI) der zwischenmenschlichen immer stärker annähern. Die Logistik mit ihren zahlreichen manuellen Tätigkeiten wird von dieser Entwicklung in besonderer Weise betroffen sein.

Die korrespondierende technische Entwicklung wird in der Logistik 4.0 zunächst vergleichsweise einfache Systeme wie intelligente Behälter, Regale und Container, Smart

Devices und Schwärme Fahrerloser Transportfahrzeuge betreffen, die in die Lage versetzt werden, mit dem Menschen über Sprache, Gesten und die Interpretation physiologischer Parameter zu interagieren. Langfristig werden Cyborgs, autonome Lkw, Roboter oder komplexe Maschinen hinzukommen.

Eng mit dieser Fragestellung verbunden ist das Thema des kontextbasierten Lernens. Auch dies wird beide – Menschen und Maschinen – betreffen. Zum einen geht es um die Frage, wie das individuelle Erfahrungswissen von Menschen bewahrt und vermittelt wird. Zum anderen stellt sich die Frage, wie Maschinen im Kontext natürlicher Umgebungen und in der Interaktion mit dem Menschen lernen (z. B. Verfahren der künstlichen Intelligenz).<sup>11</sup>

Es wäre jedoch fahrlässig, eine positive Vision der zukünftigen Interaktion von Mensch und Maschine nur als technische Entwicklung zu deuten. Durch die Interaktion mit (partiell) autonom agierenden Maschinen entstehen Fragen zur Akzeptanz, zur rechtlichen Bewertung und zur Umgestaltung des soziotechnischen Systems bis hin zur ethischen Einordnung.

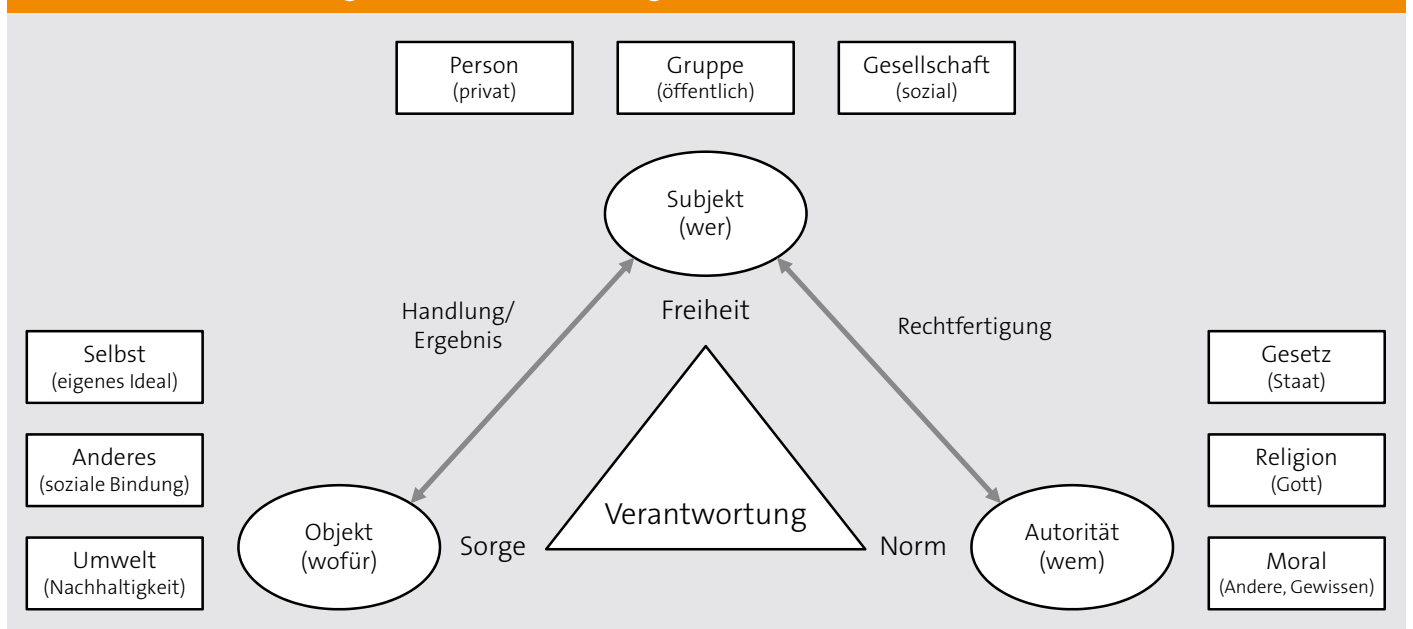
„Werden in Zukunft durch MMI-Anwendungen viele Verletzungen und Todesfälle vermeidbar sein, so ist es ebenso wahrscheinlich, dass einige Menschen durch sie zu Schaden kommen werden.“<sup>12</sup> In der wissenschaftlichen

Literatur werden in diesem Zusammenhang auch ethische und rechtliche Implikationen von Szenarien diskutiert, in denen sich eine (teil-)autonome Maschine zwischen der Schädigung zweier Personen oder Personengruppen entscheiden muss, z. B. zwischen den eigenen Insassen und anderen Verkehrsbeteiligten oder zwischen mehreren anderen Verkehrsbeteiligten.<sup>13</sup> Durch die schnellere Reaktionszeit von MMI-Anwendungen werden mehr Schadensfälle prinzipiell vermeidbar, was einerseits Fragen nach der Legitimität und gegebenenfalls sogar der Legalität des Verzichts auf MMI-Lösungen, andererseits der Einschränkung menschlicher Handlungsoptionen nach sich ziehen kann.“<sup>14</sup>

Es gilt, in einem interdisziplinären wissenschaftlichen Diskurs u. a. die folgenden Fragen zu beantworten:

- Wie wird verantwortliches und zielgerichtetes Handeln in der Interaktion von Menschen und Maschinen in den gemeinsamen Social Networks einer Logistik 4.0 gestaltet und organisiert?
- Wie lautet der normative Anspruch, dem Maschinen in der Interaktion untereinander und mit dem Menschen zu unterwerfen sind?
- Wie lautet der kategorische Imperativ einer Logistik 4.0?

Abb. 3: Grundbeziehungen der Verantwortung<sup>15</sup>



11

## Welche Qualifikationen und Kompetenzen erfordert eine Logistik 4.0? Wie findet deren individueller Aufbau statt?

Mitarbeiter und Führungskräfte stehen durch die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung in der Logistik 4.0 vor großen Herausforderungen. Ausgelöst durch die Anwendung fortschrittlicher Informations- und Kommunikationstechnologien in Logistik und Produktion werden bestehende Arbeits-, Organisations- und Führungsstrukturen durch neue technologische Konzepte infrage gestellt. Hinzu kommen die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Arbeitswelt und die unterschiedlichen Voraussetzungen, Werte und Einstellungen der verschiedenen Generationen.<sup>16</sup>

In der Logistik 4.0 werden einfache regelbasierte Arbeitsabläufe zunehmend automatisiert. Mensch und Maschine arbeiten zusammen. Den Mitarbeitern werden weiterhin organisatorische, kreative Entscheidungen überlassen. Smart Devices wie Smartphones, Tablets, 3-D-Brillen oder Wearables ermöglichen es den Mitarbeitern, die Informationsflut zu beherrschen und in einen neuartigen Dialog mit intelligenten Maschinen und Produkten zu treten.

Welche fachlichen und methodischen Anforderungen erwachsen hieraus an die Beschäftigten in der Logistik? Ein generelles fachliches Element wird die Integration von Produktions- und Logistikwissen einerseits sowie aktueller IT-Kompetenz andererseits sein. Hier ist eine zusätzliche Qualifizierung jeweils in dem weniger ausgeprägten Bereich geboten. Der konkrete Bedarf hängt stark von der Funktion der Mitarbeiter ab, aber auch das Alter spielt eine entscheidende Rolle, da die Jüngeren viel selbstverständlicher mit den digitalen Technologien umgehen.

Bei der Qualifizierung der Beschäftigten für Logistik 4.0 müssen alle Mitarbeitergruppen, also gewerbliche Mitarbeiter, kaufmännische Angestellte und Führungskräfte berücksichtigt werden, wobei die Anforderungen differieren. Beispielsweise werden gewerbliche Mitarbeiter durch die erhöhte Automatisierung teilweise vor der Herausforderung stehen, neue Tätigkeiten zu übernehmen. Kaufmännische Angestellte müssen sich für einen stärker automatisierten, dezentralen Planungs- und Steuerungsansatz qualifizieren. Führungskräfte benötigen ganzheitliches Geschäftsprozess- und IT-Wissen, um die Potenziale von Logistik 4.0 für das eigene Unternehmen zu erkennen und zu realisieren, sowie ein hohes Maß an Kompetenz zum Change Management und zur zeitgemäßen Führung. Älteren Mitarbeitern müssen sie die Vorteile von Logistik 4.0 vermitteln und zugleich Mitarbeiter der jüngeren Generationen Y und Z, die sogenannten Digital Natives, für ihr Unternehmen begeistern und adäquat führen können. Zudem müssen sie die Rahmenbedingungen für ein produktives Miteinander von älteren und jüngeren Mitarbeitern schaffen.

Der resultierende Qualifikationsbedarf ist für alle Mitarbeiter und Führungskräfte individuell zu ermitteln und durch geeignete Weiterbildungs- und Schulungsmaßnahmen zu decken. Mit der fortschreitenden Digitalisierung im Bildungsbereich bieten sich den Unternehmen auch hier attraktive neue Möglichkeiten, etwa Online-Kurse, Gamification oder Wissensplattformen. Selbstverständlich müssen die Inhalte auch zugänglich in der Schul-, Berufs- und Hochschulausbildung verankert werden. Allerdings bietet gerade die Digitalisierung auch die Möglichkeit, in Eigeninitiative außerhalb der üblichen Bildungswege Kompetenzen aufzubauen. Dies gilt es bei der Entwicklung von Konzepten zur Erfassung des individuellen Qualifikationsstands zur Logistik 4.0 zu berücksichtigen.

Insgesamt ergeben sich beispielsweise folgende Einzelfragen:

- Welche fachlichen und methodischen Anforderungen erwachsen aus einer Logistik 4.0 an die Beschäftigten in der Logistik – generell sowie aufgaben- und funktionspezifisch?
- Wie wirkt sich die Digitalisierung auf die Beschäftigung in der Logistik aus, und wie verschieben sich dadurch Angebot und Nachfrage von Fach- und Führungskräften?
- Wie lassen sich die unterschiedlichen Wissensstände und Arbeitsweisen der verschiedenen Generationen produktiv verbinden und bestmöglich nutzen?
- Wie muss sich das Ausbildungs- und Weiterbildungssystem anpassen, um diesen Fragen gerecht zu werden?



## Fazit

Die vierte industrielle Revolution verändert Wirtschaft und Gesellschaft grundlegend und stellt die Logistik bei der Neugestaltung von Wertschöpfungssystemen vor große Herausforderungen. Etablierte Geschäftsmodelle und Erfolgsfaktoren werden infrage gestellt, grundsätzlich neue Entwürfe sind gefordert.

Industrie 4.0 ist ohne Logistik nicht denkbar. Sie ist die bewegende Instanz der vierten industriellen Revolution, bildet den Kern aller erfolgreichen Konzepte. Logistik wird zum entscheidenden Wettbewerbs- und Standortfaktor für die Wirtschaft im internationalen Wettbewerb der neuen Geschäftsmodelle rund um Autonomisierung und Digitalisierung. Mehr denn je ist die Logistikforschung deshalb gefordert, grundlegende Forschungsfragen auf dem Weg zur Logistik 4.0 zu beantworten.

Die in diesem Positionspapier aufgeworfenen Forschungsfragen machen deutlich, dass Logistik und IT die zentralen Wissenschaftsbereiche für die Umsetzung der vierten industriellen Revolution sind. Angesichts der weitreichenden Wechselbeziehungen zwischen beiden Disziplinen ist es sinnvoll, vor allem interdisziplinären Konzepten besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Außerdem gilt es, Technologie und Ökonomie im Konzept einer Logistik 4.0 auf ein gemeinsames theoretisches Fundament zu stellen.

Diese Herausforderungen lassen sich jedoch nur bewältigen, wenn die Logistikforschung entsprechende Unterstützung erfährt. Es ist eine nationale Aufgabe, das wissenschaftliche Fundament für die Logistik der Zukunft zu schaffen und sie im Rahmen einer neuen Forschungsinitiative „Logistik“ als Wissenschaft zu etablieren und erstmalig als eigenständige Disziplin dezidiert zu fördern. Die Forschungspolitik ist gefordert, sich zu dieser gesellschaftlichen Aufgabe zu bekennen und sie nachhaltig zu unterstützen.

In diesem Zusammenhang empfehlen wir, auch das Positionspapier des Vorstands der BVL zur Digitalisierung zu lesen, um mehr über die Positionierung zur besonderen Bedeutung der Informationstechnik in der Logistik zu erfahren.

- 1 Delfmann, W., Dangelmaier, W., Günthner, W., Klaus, P., Overmeyer, L., Rothengatter, W., Weber, J., Zentes, J.: Towards a science of logistics: cornerstones of a framework of understanding of logistics as an academic discipline. Working group of the Scientific Advisory Board of the German Logistics Association (BVL), in: Logistics Research (2), 2010, S. 57–63.
- 2 Nomenklatur uneinheitlich; häufig als cyber-physische Systeme bezeichnete Dinge wie „intelligente“ Behälter, Smart Devices, Roboter, autonome Fahrzeuge usw., deren gemeinsames Kennzeichen ein gewisses (undefiniertes) Maß an Autonomie ist und die miteinander und mit ihrer Umgebung interagieren.
- 3 Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (Hrsg.): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, acatech, 2013, Use Case 5: Selbstorganisierende adaptive Logistik, S. 109 f.
- 4 Delfmann, W., Jaekel, F.: The Cloud – Logistics for the Future? In: Coordinated Autonomous Systems. Wissenschaft und Praxis im Dialog. 6th International Scientific Symposium on Logistics, hrsg. v. Delfmann, W., Wimmer, Th., Hamburg 2012, 5–26.
- 5 Roth, A.: Who Gets What — And Why: The New Economics of Matchmaking and Market Design, New York, 2015.
- 6 Delfmann, W.: Perspektive Cloud Logistik – Adaptiv vernetzte Logistiksysteme statt totaler Supply Chain Integration, in: Navigation durch die komplexe Welt der Logistik, Texte aus Wissenschaft und Praxis zum Schaffenswerk von Wolf-Rüdiger Bretzke, Hrsg.: Kille, Chr., 2014, S. 5–16.
- 7 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien, Plattform Industrie 4.0, Berlin, 2016, S. 34.
- 8 Vgl. Hirsch-Kreinsen, H., ten Hompel, M.: Social Manufacturing and Logistics – Arbeit in der digitalisierten Produktion. In: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): Arbeiten in der digitalen Welt, Berlin, 2016, S. 6–9.
- 9 Grunwald, A.: Gesellschaftliche Risikokonstellationen für autonomes Fahren – Analyse, Einordnung und Bewertung, in: Maurer, M. et al. (Hrsg.), Autonomes Fahren, Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Berlin, 2015, S. 661–685.
- 10 ten Hompel, M. et al.: Whitepaper „Social Networked Industry“. Für ein positives Zukunftsbild von Industrie 4.0, Dortmund 2016. Online verfügbar unter: [www.e3-produktion.de](http://www.e3-produktion.de).
- 11 acatech (Hrsg.): Kompetenzentwicklung Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. S. 30, Reihe acatech Dossier, Berlin, April 2016. [www.acatech.de/de/projekte/projekte/kompetenzentwicklungsstudie-industrie-40.html](http://www.acatech.de/de/projekte/projekte/kompetenzentwicklungsstudie-industrie-40.html).
- 12 acatech (Hrsg.): Innovationspotenziale der Mensch-Maschine-Interaktion (acatech IMPULS), München, 2016. ISSN: 2195-1829 / ISBN: 978-3-8316-4497-1.
- 13 Lin, P.: Why Ethics Matters for Autonomous Cars, in: Maurer, M. et al. (Hrsg.), Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, Berlin, 2015, S. 69–85.
- 14 Spindler, G.: Zivilrechtliche Fragen beim Einsatz von Robotern. In: Hilgendorf, E. (Hrsg.), Robotik im Kontext von Recht und Moral, Baden-Baden, 2014, S. 63–80.
- 15 Wikipedia: Verantwortung. Primärquelle: Walther Christoph Zimmerli, W. C.: Wandelt sich Verantwortung mit technischem Wandel? In: Lenk, H., Ropohl, G. (Hrsg.): Technik und Ethik, 2. Auflage, Reclam, Stuttgart 1993, S. 92–111, S. 105.
- 16 Vgl. Kersten, W., Koller, H., Lödding, H. (Hrsg.): Industrie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern, Berlin 2014.

## VORSITZENDER

### **Prof. Dr. Dr. h. c. Werner Delfmann**

Direktor,  
Seminar für Unternehmensführung und Logistik,  
Universität zu Köln

## STELLV. VORSITZENDER

### **Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer**

Institutsleiter,  
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik,  
Leibniz Universität Hannover, Garbsen

## MITGLIEDER

### **Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen**

Institutsleiter,  
Institut für Transportlogistik,  
Technische Universität Dortmund,  
Institutsleiter,  
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und  
Logistik IML,  
Dortmund

### **Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans**

Institutsleiter,  
Institut für Fördertechnik und  
Logistiksysteme,  
Karlsruher Institut für Technologie

### **Prof. Dr.-Ing. Evi Hartmann**

Lehrstuhl für BWL, insbesondere Logistik,  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

### **Prof. Dr. Michael ten Hompel**

Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen – FLW,  
Technische Universität Dortmund,  
Geschäftsführender Institutsleiter,  
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und  
Logistik IML,  
Dortmund

### **Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten**

Institutsleiter,  
Institut für Logistik und  
Unternehmensführung,  
Technische Universität Hamburg

### **Prof. Dr. ir. René de Koster**

Professor of Logistics and Operations  
Management,  
Rotterdam School of Management,  
Erasmus University Rotterdam,  
Niederlande

### **Prof. Dr. Herbert Kotzab**

Lehrstuhl für ABWL und  
Logistikmanagement,  
Universität Bremen

### **Prof. Dr. Stefan Minner**

Professor,  
Lehrstuhl für Logistik und  
Supply Chain Management,  
Technische Universität München

### **Prof. Dr.-Ing. habil.**

#### **Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk**

Institutsleiter,  
Fraunhofer IFF, Institut für  
Fabrikbetrieb und -automatisierung,  
Magdeburg

### **Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt**

Institutsleiter,  
Fakultät Maschinenwesen,  
Professur für Technische Logistik,  
Technische Universität Dresden

### **Prof. Dr. Wolfgang Stölzle**

Geschäftsführender Direktor,  
Lehrstuhl für Logistikmanagement,  
Universität St. Gallen,  
Schweiz

### **Prof. Dr. Klaus Turowski**

Professor für Wirtschaftsinformatik,  
Wissenschaftlicher Leiter SAP University  
Competence Center und  
Very Large Business Applications Lab,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

### **Prof. Dr. Stephan M. Wagner**

Lehrstuhl für Logistikmanagement,  
Direktor Executive MBA ETH SCM,  
Eidgenössische Technische Hochschule,  
Zürich, Schweiz

### **Prof. Dr.-Ing. Katja Windt**

Präsidentin,  
Professor of Global Production Logistics,  
Jacobs University Bremen gGmbH

*Der Wissenschaftliche Beirat der BVL*



**Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V.**

Schlachte 31, 28195 Bremen

Tel.: 0421 / 173 84 0

Fax: 0421 / 16 78 00

[bvl@bvl.de](mailto:bvl@bvl.de)

[www.bvl.de](http://www.bvl.de)