

■ WHITEPAPER

Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management

# PARADIGMENWECHSEL DER PLANUNG UND STEUERUNG VON WERTSCHÖPFUNGSNETZEN



LEISTUNGSZENTRUM  
LOGISTIK UND IT



WHITEPAPER

PARADIGMENWECHSEL DER PLANUNG UND  
STEUERUNG VON WERTSCHÖPFUNGSNETZEN

## ■ WHITEPAPER

# PARADIGMENWECHSEL DER PLANUNG UND STEUERUNG VON WERTSCHÖPFUNGSNETZEN

In komplexer werdenden Wertschöpfungsnetzen müssen Entscheidungen zukünftig schneller und fundierter getroffen werden. Im Zuge dessen ist es unabdingbar neue Methoden zur Entscheidungsunterstützung zu entwickeln. Vor dem Hintergrund des Paradigmenwechsels hin zur Industrie 4.0 wird die Planung und Steuerung entsprechender Netze gravierend von Ansätzen der Modellierung und Simulation profitieren.

## **FUTURE CHALLENGES IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT**

Die Schriftenreihe »Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management« greift aktuelle Herausforderungen auf, beleuchtet Trends und fokussiert neuartige Technologien sowie Geschäftsmodelle.

Die verschiedenen Ausgaben der Schriftenreihe zeichnen das Zukunftsbild einer innovativen Branche, das von Forschung und Praxis gestaltet und gelebt wird.

### **AUTOREN**

Christoph Besenfelder, Fraunhofer IML  
Matthias Brüggelolte, TU Dortmund  
Maximilian Austerjost, TU Dortmund  
Nicolas Kämmerling, TU Dortmund  
Moritz Pötting, TU Dortmund  
Dr.-Ing. Christian Schwede,  
Fraunhofer IML  
Maximilian Schellert, Fraunhofer IML

### **DOI**

10.24406/IML-N-462117

### **HERAUSGEBER**

Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel  
Prof. Dr. Michael Henke  
Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

### **KONTAKT**

Fraunhofer-Institut für Materialfluss  
und Logistik IML

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2–4  
44227 Dortmund

schriftenreihe@iml.fraunhofer.de  
+49 231 9743-285



WHITEPAPER

PARADIGMENWECHSEL DER PLANUNG UND  
STEUERUNG VON WERTSCHÖPFUNGSNETZEN

■ WHITEPAPER

# PARADIGMENWECHSEL DER PLANUNG UND STEUERUNG VON WERTSCHÖPFUNGSNETZEN

Herausforderungen für das Management komplexer Wertschöpfungsnetze . . .	1
Simulation und Optimierung zur Planung und Steuerung . . . . .	2
Entwicklungen in der Planung und Steuerung . . . . .	3
Dezentralisierung . . . . .	6
On Demand . . . . .	7
Interoperabilität . . . . .	8
Ad-hoc . . . . .	9
Transparenz . . . . .	9
Wirtschaftlichkeits- und Reifegradbewertung . . . . .	10
Entwicklungsrichtung – Digitaler Zwilling . . . . .	11
Literaturverzeichnis . . . . .	14

## Logistik als zentrale Wissenschaft der industriellen Zukunft etablieren

Der Wissenschaftsstandort Dortmund erfährt durch die Aktivitäten des **Leistungszentrums Logistik und IT** eine nachhaltige Weiterentwicklung, indem die Zukunftsfragen der Logistik und der Informationslogistik adressiert und deren Forschungsstand am Standort reflektiert werden. Dabei werden aktuelle Forschungsfelder und -fragen aufgezeigt und auf neue verwiesen.

Dazu tauchen die Akteure des Leistungszentrums Logistik und IT in unterschiedliche Rollen, indem sie die aktuellen sowie zukünftigen Herausforderungen des Themenfeldes aus vier verschiedenen Perspektiven betrachten. Der folgende Beitrag aus dem Bereich der kognitiven Ergonomie ist ein Beispiel für die Untersuchung der Logistik und Informationslogistik aus der Perspektive Mensch.

Das Leistungszentrum Logistik und IT ist eine Initiative der Fraunhofer-Gesellschaft und wird mit Mitteln der Fraunhofer-Gesellschaft und des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert. Das strategisch aufgehängte Forschungsprojekt ist ein Verbundvorhaben von EffizienzCluster LogistikRuhr, TU Dortmund, Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund, Fraunhofer IML, Fraunhofer ISST und Boehringer Ingelheim.

### Die Perspektiven



#### PERSPEKTIVE MENSCH

Die Interaktion von Mensch und Maschine ist in der Logistik ein wichtiger Bestandteil heutiger Systeme. Jetzt gilt es, die Stärke von Mensch und Technik zu kombinieren.



#### PERSPEKTIVE PROZESSE UND SYSTEME

Die Digitalisierung stellt Herausforderungen an die Ausführung und das Management von Prozessen – auf Ebene der Geschäftsprozesse wie auf Ebene des Shop-Floors.



#### PERSPEKTIVE PLANUNG, SIMULATION & STEUERUNG

Um eine effiziente Planung und Steuerung der logistischen Systeme entlang der Liefernetze zu gewährleisten, ist eine stringente Verknüpfung von Logistik und IT unabdingbar.



#### PERSPEKTIVE DATEN

Daten sind das neue Öl: Im Zeitalter der Digitalisierung besitzen sie einen immer größeren Anteil am Wertschöpfungsprozess von Produkten und Dienstleistungen.

# PARADIGMENWECHSEL DER PLANUNG UND STEUERUNG VON WERTSCHÖPFUNGSNETZEN

## Herausforderungen für das Management komplexer Wertschöpfungsnetze

Die Grundlage der vierten industriellen Revolution bilden cyberphysische Systeme (CPS). Sie vernetzen die physische mit der virtuellen Welt und bilden somit die Grundlage für einen weitreichenden Informationsaustausch zwischen Menschen, Prozessen und Maschinen. Logistische Systeme werden in die Lage versetzt, sich weitgehend autonom zu steuern sowie sich eigenständig zu optimieren und zu konfigurieren. In effizienten, globalen Wertschöpfungssystemen, die hochindividuelle Waren in möglichst kurzer Zeit am jeweiligen Bedarfsort zur Verfügung stellen, nehmen Unsicherheiten durch Störungen potentiell zu, während Puffer in Form von Beständen und Überkapazitäten aus Effizienzgründen Schritt für Schritt abgebaut werden. In solchen komplexen Systemen wird die menschliche Entscheidungsfindung schwieriger; vor allem, weil die Konsequenzen von Entscheidungen weitreichendere Auswirkungen auf die gesamte Wertschöpfungskette haben. Dies gilt für den gesamten Lebenszyklus entsprechender Systeme: Von der Gestaltung (»Welches sind die optimalen Prozesse für meine Auftragsabwicklung?«) über die Feinplanung (»Wie viele Mitarbeiter werden in welchen Prozessen für die Abwicklung der Kundenaufträge benötigt?«) bis hin zur Steuerung (»Hat die Verspätung des LKW eine Auswirkung auf die Liefertermine und wenn ja, welche Maßnahmen können das verhindern?«). Um diese Potentiale für die Logistik der Zukunft nutzbar zu machen, bedarf es nicht nur die konsequente Weiterentwicklung der Hardware (Sensorik, Aktuatorik und Elektronik) cyberphysischer Systeme, sondern auch der Weiterentwicklung der Software mit effektiven Algorithmen zur Planung und Steuerung dezentral und autonom agierender Systeme. In diesem Whitepaper wird der Einsatz von Simulation und Optimierung in einer digitalisierten Logistik diskutiert. Aufbauend auf einen aktuellen Stand der Technik werden die Anforderungen an zukünftige Planungs- und Steuerungskonzepte autonom agierender Systeme formuliert.

## Simulation und Optimierung zur Planung und Steuerung

Heutzutage lassen sich produktions- und transportlogistische Systeme aufgrund ihrer Komplexität, Dynamik und Fülle an unterschiedlichen Handlungsalternativen durch den menschlichen Verstand praktisch nur noch schwer erfassen. Ursächlich hierfür ist zum einen, dass die bei der Steuerung heutiger Wertschöpfungsketten eine Vielzahl global verteilter Akteure miteinander abgestimmt werden müssen. Zum anderen hat die Prozessvielfalt durch Individualisierung stark zugenommen.

Bei der Planung und Steuerung helfen Modelle, um die Probleme und Fragestellungen dieser Systeme in eine vereinfachte Darstellung der realen Welt zu überführen. Anhand von mathematischen oder simulativen Modellen lassen sich wiederum Lösungen finden und Erkenntnisse ableiten, welche auf das reale System übertragbar sind [1].

Die Methoden der mathematischen Optimierung ermöglichen es optimale Handlungsalternativen auch in großen Lösungsräumen zu finden. Die Simulation wird hingegen angewandt, wenn ein Problem sich nicht durch ein mathematisches Modell beschreiben lässt. Dies ist der Fall, wenn keine analytische Lösung existiert oder eine exakte Lösung einen unverhältnismäßig hohen Rechenaufwand erfordert [2].

Die Simulation ist in einem experimentierbaren Modell besonders gut dafür geeignet um Systeme mit Ihren stochastischen Schwankungen abzubilden [3, 4]. Im Fokus der Simulation von Logistiksystemen stehen daher insbesondere dynamische Simulationsmodelle, welche die Veränderungen der Systemzustände bei fortschreitender Zeit berücksichtigen. Diese Veränderungen der Zustände werden durch Ereignisse verursacht, wie z. B. die Ankunft eines Fahrzeugs oder die Verladung einer Sendung. Da dies die wesentliche Eigenschaft logistischer Systeme ist, sind die angewendeten Simulationsmethoden entsprechend diskret und ereignisorientiert, d. h. sie betrachten die Systemzustände zu diskreten Zeitpunkten wobei diese Zeitpunkte keinen festen Intervallen folgen, sondern sich aus den auftretenden Ereignissen ergeben. Neben der (dynamischen) Simulation sind prinzipiell auch statische und analytische Berechnungsverfahren, wie z. B. die Warteschlangentheorie, dazu geeignet, generelle Aussagen zu den zu untersuchenden logistischen Systemen zu liefern. Diese Berechnungsverfahren bilden die dynamischen Effekte im Zeitverlauf jedoch häufig nur unzureichend ab, so dass Fragestellungen zu Dimensionierung und Betrieb der komplexen Systeme nur mit Einschränkungen beantwortet werden können [5]. Zudem ist eine genaue Analyse der ineinandergreifenden



Einzelprozesse innerhalb einer logistischen Anlage mit analytischen Berechnungsverfahren nur bedingt möglich, während eine ereignisgesteuerte Simulation sehr gut geeignet ist, genau diese Charakteristik zu berücksichtigen [6]. Neben der ereignisdiskreten Simulation findet derzeit verstärkt die agentenbasierte Simulation Anwendung. Diese erlaubt es, ein System aus individuell entscheidenden Einheiten (Agenten) zu modellieren, welche über ein eigenes Verhaltensmodell verfügen. Dies macht die Berücksichtigung von Entscheidungen anderer Agenten durch Interaktion der Agenten untereinander möglich. Das Systemverhalten resultiert somit aus dem Verhalten der einzelnen Agenten. [7, 8]

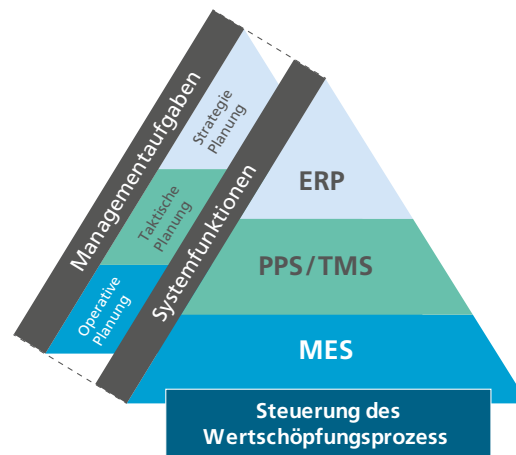
Simulation und Optimierung bringen unterschiedliche Vor- und Nachteile mit, die je nach Anwendungsfall einbezogen werden müssen. Vor diesem Hintergrund ist naheliegend, die Vorteile der Methoden zu kombinieren [9].

## **ENTWICKLUNGEN IN DER PLANUNG UND STEUERUNG**

Die Digitalisierung und Verknüpfung der Logistik und IT sind wesentliche Treiber für eine erhebliche Weiterentwicklung der Planung und Steuerung von logistischen Systemen. Zur Planung logistischer Systeme werden aktuell Planungsmodelle wie das Dortmundener Aufgabenmodell verwendet, die eine hierarchische Vorgehensweise aufweisen, sodass eine Unterteilung hinsichtlich des zeitlichen Horizontes in eine strategische, taktische und operative Ebene vorgenommen wird. Auf der strategischen Ebene erfolgt häufig die globale Planung mittels einer zentralen Datenspeicherung. In diesem Rahmen kommen vielfach Enterprise-Ressource-Planning (ERP)-Systeme zum Einsatz. ERP-Systeme stellen eine Zusammenfassung von technischen und kaufmännischen EDV-Funktionen in einer Software dar, um die Planung und Steuerung der unternehmerischen Aufgaben unter dem Gesichtspunkt des effizienten Einsatzes der vorhandenen Ressourcen zu gewährleisten. Im Hinblick auf die zentrale Planung ist das Bestreben eine möglichst homogene Systemlandschaft zu erreichen. [10]

Die Produktionsplanung und -steuerung sowie das Transportmanagement verstehen sich als mittelfristige Aufgaben, wobei häufig die Methode der Simulation Anwendung findet. Hier werden zielgerichtete Entscheidungsunterstützungen in Form von Handlungsalternativen gegeben. Untergeordnet zu der taktischen Ebene befindet sich die operative Ebene: Es kommen Manufacturing Execution Systeme (MES) zur Anwendung, um kurzfristige Planungen durchzuführen. Abschließend gilt es die im Rahmen der Planung getroffenen Entscheidungen zu überwachen sowie das System bei einer Abweichung zu steuern. (siehe Abb. 1)

Abbildung 1  
klassisches Modell der  
Planung und Steuerung von  
Wertschöpfungsnetzen



Die Modelle moderner logistischer Systeme werden aufgrund ihrer enormen Komplexität stetig umfangreicher, so dass es sich a priori geradezu anbietet ausgehend von einer zentralen Planungsebene das Gesamtsystem in verschiedene autonom agierende Teilsysteme zu zerlegen. Hierbei ist zu beachten, dass kurzfristig getroffene Entscheidungen nur örtlich begrenzt eingreifen um die Auswirkungen für das Gesamtsystem gering zu halten. Ebenso gilt: Je lokaler eine Entscheidung, desto eigenständiger kann optimiert werden. Im Zuge dessen postuliert neben Anderen der wissenschaftliche Beirat der Bundesvereinigung Logistik (BVL), dass zukünftig koordinierte, dezentrale und sich selbst steuernde Logistiksysteme die hierarchisch geplanten und zentral gesteuerten Systeme ablösen werden [11].

Demzufolge sind die vorherrschenden starren und stabilen Wertschöpfungsnetzwerke, welche häufig mit Redundanzen ausgelegt sind, zu unflexibel und ineffizient, um den immer häufiger und kurzfristiger auftretenden Änderungsbedarfen entgegenzuwirken. Somit ist ein Wandel zur dezentralen Planung von dynamischen Netzwerken zu vollziehen, wobei sich die Systeme Ad-hoc für den Planungsfall zusammenstellen und wieder auflösen. Im Hinblick auf die Kurzfristigkeit der jeweiligen Planungsfälle muss zugleich eine permanente Planung mittels CPS im Wertschöpfungsnetz angestrebt werden, um Abweichungen frühzeitig zu identifizieren und Anpassungen am System vorzunehmen.

In diesem Zusammenhang stellt die Interoperabilität einen wichtigen Treiber der effizienten Planung von logistischen Systemen dar: Wo in der Vergangenheit verschiedenartige und parallele Strukturen für Flexibilität und Sicherheit gesorgt haben, können dezentrale autarke Systeme dazu beitragen, ineffiziente Strukturen zu verschlanken und Schnittstellen sowie Systemgrenzen abzubauen. Hierbei steht die einheitliche Nutzung von Standards heterogener Systeme im Fokus, um eine optimale Verknüpfung dieser unterschiedlichen Systeme zu gewährleisten.

In einer komplexen und von Störungen geprägten Umwelt sowie im Zuge der daraus resultierenden Entstehung dezentraler autonomer Industrie 4.0-Systeme verschiebt sich der Fokus von zentraler prognosebasierter Planung zu dezentraler (on Demand-) Steuerung. Die Realisierung einer Planung wird zunehmend unwahrscheinlicher, da Prognosen über die Zukunft hinsichtlich des Absatzes und Systemverhaltens schwer zu treffen sind. Ein grundlegender Paradigmenwechsel in Planung und Steuerung von Wahrheit zur Wahrscheinlichkeit ist zu beobachten. Folglich werden neue Methoden zur Flexibilisierung der Logistiksysteme sowie zur intelligenten Prognoseentwicklung benötigt.

In der Vergangenheit war es möglich viele Planungsaktivitäten entlang der Wertschöpfungskette auf Basis von Vertrauen und Erfahrungen zu planen. Jedoch ist in Anbetracht der Dynamisierung der Wertschöpfungsketten eine ganzheitliche Planung und Steuerung auf Vertrauensbasis nicht mehr möglich. Demzufolge muss der Grad der Transparenz erheblich erhöht werden, so dass alle interagierenden Partner über Systemänderungen sowie deren Auswirkung echtzeitnah informiert werden und entsprechende Anpassungen vornehmen können, um so Wettbewerbsvorteile als ganzheitliches Wertschöpfungsnetzwerk zu generieren.

Mit dem aufgezeigten Paradigmenwechsel geht auch ein Wandel des Controllings der logistischen Systeme einher. Wo in der Vergangenheit u. a. klassische Kosten- / Nutzenanalysen durchgeführt worden sind, müssen zukünftig neue Bewertungsgrundlagen, die quantitativ die Flexibilität und Wandelbarkeit der Systeme integrieren, entwickelt werden. (siehe Abb. 2)



Abbildung 2  
Paradigmenwechsel der  
Planung und Steuerung von  
Wertschöpfungsnetzen

Wird Simulation teilweise schon heute zur Planung von komplexen Logistiksystemen eingesetzt, so wird diese Methode in Zukunft unabdingbar sein, um das quasi-stochastische Verhalten dezentraler Systeme verstehen und auslegen zu können. Allein die Festlegung der richtigen lokalen Steuerungsregeln bedarf einer intensiven Evaluierung mittels Simulation. Darüber hinaus wird die Simulation verstärkt in die tägliche Nutzung übergehen. So kann beispielsweise eine Aussage zu wahrscheinlichen Lieferterminen mittels Monte-Carlo-Simulation des dezentralen Systems getroffen werden. Auch die Einstellung von Prioritätsregeln entsprechend der aktuellen Bedürfnisse bedarf einer Simulationsbewertung, um das Verhalten mit einer gewissen Sicherheit prognostizieren zu können.

Die oben beschriebene enge Verzahnung von realer Welt mit der Simulation über einen »digitalen Zwilling« wird demnach für Industrie 4.0-Systeme entscheidend. Nachfolgend wird der einhergehende Paradigmenwechsel infolge der zukünftigen Marktveränderungen tiefergehend diskutiert und die Anforderungen an die Planung und Steuerung von logistischen Systemen abgeleitet.

### DEZENTRALISIERUNG

In der Vergangenheit war es häufig das Bestreben, eine allgemeingültige zentrale Planung und Optimierung von logistischen Systemen durchzuführen. In diesem Zusammenhang ist eine quantitative zentrale Optimierung nur möglich, wenn eine globale Zielfunktion existiert sowie ein globales Optimierungsmodell aufgestellt werden kann [1]. Jedoch herrschen innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks unterschiedliche Einflussfaktoren und Zielgrößen, sodass diese häufig nicht durch ein globales Optimierungsmodell abgebildet werden können. Weiterhin nimmt die Komplexität der logistischen Systeme stetig zu, wodurch eine zentrale Zielfunktion für alle beteiligten Systeme einer Wertschöpfungskette nicht aufgestellt werden kann [12]. Im Gegensatz dazu kann in einem dezentral geplanten System jedes Teilmodell in der Regel einfacher und algorithmisch effizienter gelöst werden [13]. Da eine Menge von (optimalen) Lösungen für jedes der Teilprobleme nicht immer eine gute oder gar eine zulässige Lösung für das Gesamtsystem ergibt, erfordert ein dezentral organisiertes System einen übergeordneten Koordinationsmechanismus. Dieser hat die Aufgabe die dezentral entschiedenen Lösungen zu konsolidieren und zu einer konsistenten Lösung des Gesamtsystems zusammenzufügen. Als zukunftsweisende Entwicklung kann an dieser Stelle das Konzept der Synchronmodalität herangezogen werden. Dies bedeutet eine tiefere Verknüpfung von Informations- und Warenfluss sowie die Flexibilisierung der Produktions- und der Transportlogistik im Sinne der Industrie 4.0. Folglich werden zukünftig daher weniger vorgefertigte und langfristig geplante Lösungen definiert. Vielmehr werden lokal flexible und kurzfristig anpassbare Lösungen gefunden, welche im Bereich der Transportlogistik

sogar noch während des Transportes angepasst werden können. Demzufolge bedarf es auf der zentralen Planungsebene der Koordination unterschiedlicher Systeme sowie auf lokaler Ebene flexibler und selbstständiger Entscheidungsfindung, die erst in der Kombination ein funktionierendes Kooperationsmodell in der Logistik darstellen.

## AUTONOMISIERUNG

Klassische Planungsmodelle der Logistik (u. a. mathematische Modelle) sind in der Regel deterministisch, so dass zu jedem Zeitpunkt festgelegt ist, wie sich betrachtete Systeme in Zukunft entwickeln werden. Die obliegenden logistischen Prozesse unterliegen jedoch äußeren Einflüssen, so dass die logistische Welt nicht deterministisch sein kann. Folglich muss eine autonome Anpassung an die ungeplanten und externen Einflussfaktoren durchgeführt werden [14]. Vor diesem Hintergrund ermöglichen autonom agierende Systeme (u. a. Multi-Agenten-Systeme) eine höhere Flexibilität im Umgang mit äußeren Einflüssen durch die schnelle Anpassung des Systems und die Bildung von Ad-hoc Entscheidungen, im Gegensatz zu einer starren Vorabplanung in klassischen deterministischen Systemen. Eine autonom getroffene Entscheidung kann aus der Perspektive eines Agenten sinnvoll sein, jedoch können sich hieraus Engpässe im weiteren zeitlichen Verlauf ergeben. Ebenso steigt die Gefahr von sich gegenseitig blockierenden Agenten im Gesamtsystem. Aus planerischer Sicht sind daher die autonom getroffenen Entscheidungen auf ihre Konsequenz für das Gesamtsystem zu beurteilen und ggf. abzulehnen. Zunächst ist zu erforschen, wie die Entscheidungen der autonomen Agenten in den Planungs- und Steuerungsprozess zu integrieren sind. Weiterhin gilt es einen Mechanismus zu entwickeln, so dass die Auswirkungen autonomer Entscheidungen überwacht werden und die Möglichkeit besteht, bei Bedarf proaktiv einzugreifen.

## ON DEMAND

Die Planung und Steuerung von Produktions- und Logistiksystemen basiert aktuell vielfach auf Prognosen. Beginnend bei der Auslegung von Fabriken, Standorten und Netzwerkstrukturen werden Vergangenheitswerte von Absatzzahlen, Transportintensitäten und Bedarfen anhand von mathematischen Modellen in die Zukunft projiziert. In diesem Rahmen ist »eine Prognose keine Prophezeiung mit dem Anspruch: »So kommt's.« Sie ist vielmehr eine Vorausschätzung mit dem Charakter einer Modellrechnung für bestimmte Annahmen« [15]. Somit unterliegt, in Abhängigkeit des zeitlichen Horizonts, jede Prognose einer Prognoseunsicherheit [16]. Aus diesem Grund werden die Systeme mit Flexibilitätspotentialen und Sicherheitszuschlägen geplant und Sicherheitsbestände angelegt. Ebenso werden

häufig Pufferbestände zwischen Maschinen aufgebaut, um den kontinuierlichen Betrieb sicherzustellen. Die zunehmende Dynamik der Unternehmensumwelt, sich immer schneller verändernde Markt- und Wettbewerbsbedingungen und die fortschreitende Individualisierung der Kundenbedarfe führen jedoch verstärkt zu einer Bedrohung der Wirtschaftlichkeit dieser Vorgehensweise. Starke Schwankungen und unvorhersehbare Ereignisse häufen sich und führen zu kostenintensiven überdimensionierten Systemen oder andernfalls zu einer nicht ausreichenden Sicherheit, wodurch kurzfristige Kundenbedarfe nicht befriedigt werden können. In diesem Rahmen existieren zwei parallele Entwicklungsrichtungen, um den neuen Dimension der Unsicherheit entgegenzuwirken. Zum einen ermöglichen die Prognoseverfahren durch Massendatenanalysen (Big Data) und intelligenteren Prognosealgorithmen (Data Analytics) eine verbesserte Prognosegenauigkeit [17]. Gerade neue Methoden im Bereich Predictive Analytics, welche heutzutage zusätzlich zu den Vergangenheitsdaten auch interne und externe Echtzeitinformationen berücksichtigen, bieten den Unternehmen die Möglichkeit genauere Prognosen über zukünftige Ereignisse abzugeben [18]. Zum anderen werden die Systeme in die Lage versetzt auf ungeplante Situationen zu reagieren und damit On Demand (bedarfsgerecht) die geforderte Leistung wirtschaftlich zu erbringen. Die Verknüpfung der beiden Entwicklungen ermöglicht eine verbesserte kurzfristige Prognose und ermöglicht das Potential die lang- und mittelfristige Planung durch häufige Abstimmungsprozesse autonomer Systemobjekte zu ersetzen. An dieser Stelle begründet sich ein weiterer Forschungsbedarf in der Nutzbarmachung intelligenter Prognosemodelle und des maschinellen Lernens in der Logistik. Eine effiziente Ausgestaltung der Abstimmungsprozesse, Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Systemobjekte sind dabei von zentraler Bedeutung.

### INTEROPERABILITÄT

Die Logistikwelt ist geprägt durch verschiedenartige, mitunter parallel existierende Systeme und Strukturen. Diese sorgen für Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit als auch für Vielfalt und Unabhängigkeit. Wird es ermöglicht, dass auch heterogene Systeme miteinander verknüpft werden und zielgerichtet zusammenarbeiten, so können dezentrale autarke Systeme dazu beitragen, ineffiziente Parallelstrukturen zu verschlanken sowie logistische Abläufe effizienter zu gestalten [19]. Vor dem Hintergrund des freien Logistikmarktes, in dem verschiedene Akteure eigene Logistiksysteme betreiben, erscheint ein Zustand vollständiger Marktneutralität in einer liberalen Wirtschaftsstruktur jedoch als unerreichbar. Daher ist es entscheidend, dass einzelne autonom agierende Systeme miteinander interagieren können, um geografische,

zeitliche und organisatorische Systemgrenzen zu überwinden. Hierfür müssen die notwendigen Schnittstellen geschaffen werden, um einen übergreifenden Kommunikationsfluss zu ermöglichen. Diese Schnittstellen müssen den automatisierten Informationsfluss und die aus den Informationen resultierenden ad-hoc Entscheidungen insbesondere zwischen heterogenen Systemen unterstützen und fördern. Gleichzeitig muss gewährleistet sein, dass der systemübergreifende Austausch gerecht und aufwandsbegleichend stattfindet. Diese Wirkzusammenhänge und Interaktionspunkte stellen einen wesentlichen Teil zukünftiger Entwicklung autonomer Systeme in der außerbetrieblichen Logistik dar. Dies wird deutlich am Beispiel der City Logistik im Kontext der Smart-City. Hier werden autonom agierende Systeme dazu beitragen, Güterströme beispielsweise über konsolidierende Micro-Hubs zu verteilen, welche selbstorganisierend für die Nahversorgung eingesetzt werden. Entscheidende Vorteile werden generiert, wenn Systeme verschiedener Betreiber miteinander interagieren, sich austauschen und den Warentransport gemeinsam optimieren mit dem Ziel Verzögerungen, Zustellversuche und Wegstrecken zu verbessern. Ebendiese Prozesse gilt es zu analysieren und zu implementieren.

## AD-HOC

Die Wertschöpfungsnetze und Supply Chains werden immer globaler und größer. Dabei nimmt die Komplexität der Beziehungen weiter zu. In diesem Rahmen treten immer häufiger Änderungen hinsichtlich des Umfelds sowie der Anforderungen auf, sodass infolgedessen die Herausforderungen an die Planung immens steigen [20]. Somit bergen die starren Netzwerkstrukturen, die auf Effizienz ausgelegt sind, zu viele Risiken um der Volatilität zu begegnen [21]. Demgegenüber sind agile Netzwerke mit Redundanzen und parallelen Strukturen im starken Wettbewerb unwirtschaftlich. Um dennoch eine effiziente Planung in den komplexen Netzwerkstrukturen zu gewährleisten ist ein Wandel von den einmaligen Planungsfällen zu einer permanenten Planungsaufgabe von CPS im Wertschöpfungsnetz zu vollziehen. Die neue Herausforderung besteht folglich in der Gestaltung und Planung dynamischer Netzwerke, die sich ad-hoc zusammenstellen und wieder auflösen. Zulieferer, Logistikdienstleister, OEMs und Händler bilden bei Bedarf ein Wertschöpfungsnetzwerk, um einen vorliegenden Kundenbedarf zu decken, ohne sich langfristig zu binden. Voraussetzungen für dieses dynamische Zusammenwirken wechselnder Akteure sind die Erforschung, Verbreitung und Einhaltung von Standards für Kommunikation, Dienstleistung und Abwicklung für die Planung und Steuerung von den Informations-, Waren- und Finanzflüssen [22].

### **TRANSPARENZ**

Geschäftliche Kooperationen beruhen auf Vertrauen und Verträgen. Dies gilt für Kunden- und Lieferantenbeziehungen sowie für Entwicklungspartnerschaften und Einkaufsgemeinschaften. Gerade im Rahmen der aufgezeigten Herausforderungen immer häufiger auftretender Änderungsbedarfe, werden schnellere und effizientere Abstimmungs- und Abwicklungsprozesse benötigt [23, 24]. Vertragswerke, die nur von Rechtsabteilungen geprüft und angepasst werden können sowie der ständige Aufbau neuer Vertrauensbeziehungen für operativ wechselnde Geschäftsbeziehungen, benötigen einen zu hohen Zeitaufwand wie auch Ressourcen. Technologische und methodische Ansätze setzen auf Transparenz anstatt nur auf Vertrauen. Technologien wie die Blockchain können für alle Partner einsehbare und nicht manipulierbare Grundlagen für Geschäftsbeziehungen schaffen. Solche Smart Contracts erlauben eine autonome Abwicklung von Transaktionen zwischen verschiedenen Unternehmen [25]. An dieser Stelle werden richtungsweisend konkrete Anwendungsfälle der Logistik und des Supply Chain Managements entwickelt, die nicht nur eine transparente und nicht manipulierbare Nachverfolgung von Warenströmen ermöglichen, sondern auch die Abwicklung von Zahlungen durch intelligente Objekte in Aussicht stellen.

### **WIRTSCHAFTLICHKEITS- UND REIFEGRADBEWERTUNG**

Jegliche Investitionen in neue Technologien, Verfahren und Prozesse industrieller Unternehmen müssen betriebswirtschaftlich begründbar und gerechtfertigt sein. Die in diesem Papier aufgezeigten Paradigmen der Planung und Steuerung von logistischen Systemen sind mit den bestehenden Methoden der Betriebswirtschaft nicht mehr a priori zu bewerten. Folglich müssen die Bewertungsmodelle hinsichtlich des Paradigmenwechsels erweitert werden, sodass Bewertungskriterien wie die Flexibilität oder die Wandlungsfähigkeit von logistischen Systemen Berücksichtigung finden. Dies stellt ein großes Hemmnis für den notwendigen Veränderungsprozess der Unternehmen dar. Die Entwicklung neuer Methoden und Werkzeuge zur Nutzenbewertung des Einsatzes autonomer cyberphysischer Systeme in der Logistik ist ein Forschungsfeld, das eng mit den Verfahren der Planung und Steuerung verwoben ist. Die wirtschaftlichen Kenngrößen müssen bei jeder Planung Berücksichtigung finden und die Wirtschaftlichkeit von dezentralen Steuerungsalgorithmen muss nachgewiesen werden, um einen Einsatz außerhalb der Forschung zu rechtfertigen. Die Vorgehensweise zielt auf die Auswertung von empirischen Falldaten und analysiert die Einsatzvoraussetzungen, die notwendigen digitalisierten Unternehmensprozesse (Reifegrad) und die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme als wichtige Grundlage für ein Management der Industrie 4.0.



## Entwicklungsrichtung – Digitaler Zwilling

Permanenter Wandel wird zukünftig zum Normalzustand: Menschen, Maschinen und IT bilden hochflexible soziotechnische Wertschöpfungsnetzwerke, die sich in einem hochfrequenten, schwankenden und individuellen Markt dynamisch und ad-hoc anpassen. Daraus ergibt sich ein neuer Stellenwert für die Simulation. Während Simulation heute bereits zur Planung von komplexen Logistiksystemen eingesetzt wird, ist sie für die Bestimmung des Verhaltens dezentraler autonomer Systeme in digitalen Wertschöpfungsnetzen unabdingbar. Allein die Festlegung der richtigen lokalen Steuerungsregeln bedarf einer intensiven Evaluierung mittels Simulation. Voraussetzung für den Abruf dieser Potentiale ist eine Verfügbarkeit sämtlicher für die Simulation erforderlicher Daten. Aktuell werden diese häufig nicht systematisch verwaltet, sondern in lokalen IT-Systemen verteilt gesammelt. So entstehen suboptimale Insellösungen auf der einen Seite und ein hoher Aufwand für manuelle Datenintegration auf der anderen. Eine ganzheitliche Entscheidungsunterstützung durch Simulation ist nicht möglich. Um den vorhandenen Datenschatz heben zu können und für die Simulation nutzbar zu machen, empfiehlt sich ein neuer ganzheitlicher Ansatz. Der digitale Zwilling stellt eine systematische, digitale Abbildung aller Prozesse, Leistungsobjekte und Ressourcen von Wertschöpfungssystemen und -netzwerken dar. Er entsteht bereits vor den physischen Systemen und Netzwerken in deren Gestaltungsphase und umfasst Leistungsbeschreibungen sowie zukünftige Aufträge und Systemlasten. Die Erstellung des digitalen Zwillings muss in Zukunft als Teil der Gestaltung von neuen Wertschöpfungssystemen und deren Anpassung als Teil der Anpassungsaufwände berücksichtigt werden. Vielfach entstehen diese Modelle auch heute in z. B. Excel-Tabellen und Simulationsmodellen, werden jedoch nicht systematisch und ganzheitlich erstellt und verschwinden nach der Gestaltungsplanung im digitalen Archiv. Durch die Gestaltung des digitalen Zwillings können Daten schließlich automatisiert in ein Simulationsmodell überführt werden. Durch permanente Simulation, die Abweichungen zum Plan automatisch erkennt und bei der Entscheidungsunterstützung assistiert, wird auch die Planung und Steuerung komplexester logistischer Gebilde Realität.

## Literaturverzeichnis

- [1] WITTHAUT, M.; DAVID, M.; KLINK, P. (2017): Smart Objects – Dezentrale Planung und Steuerung von Supply Chains. In: Dunckert, Ronald (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2017, Wuppertal, unikat Werbeagentur GmbH, S.114-119.
- [2] VDI 3633 (2009): Simulation von Logistik-, Materialfluss-, und Produktionssystemen. Simulation und Visualisierung. In: VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Band 8: Materialfluss II (Organisation/Steuerung), VDI-Richtlinien 3633, Blatt 11.
- [3] LAW, A. M. (2006): Simulation Modeling and Analysis. 4. Auflage, Boston: Mcgraw-Hill Publ.Comp.
- [4] KUHN, A.; WENZEL, S. (2008): Simulation logistischer Systeme. In: D. Arnold; H. Isermann; A. Kuhn; H. Tempelmeier; K. Furmanns (Hrsg.): Handbuch Logistik, 3. Auflage, Berlin et. al: Springer Verlag, S. 73-94.
- [5] TUREK, K; MARQUARDT, H.-G. (2007): Beitrag zur Dimensionierung von automatischen Sortiersystemen (Sorter). In: Logistics Journal, 2007.
- [6] VDI 3633 (2010): Simulation von Logistik-, Materialfluss-, und Produktionssystemen. Grundlagen. In: VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 1: Grundlagen und Planung, VDI-Richtlinien 3633, Blatt 1.
- [7] DECKERT, A.; KLEIN, R. (2010): Agentenbasierte Simulation zur Analyse und Lösung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme. In: Journal für Betriebswirtschaft, Jg. 60 (2010) 2, S. 89-125.
- [8] WAGNER, G.; GIURCA, A.; PEHLA, M.; WERNER, J. (2008): Modellierung und Simulation von Multiagenten-Systemen. In: Forum der Forschung, Jg. 21 (2008), S. 47-52.
- [9] MÄRZ, L.; KRUG, W. (2010): Kopplung von Simulation und Optimierung. In: März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik, Springer, Berlin, Heidelberg, S.41-45.
- [10] TEN HOMPEL, M.; EBEL, D.; GEIßEN, T.; KRAFT, V.; MAAß, J.-C.; MERTENS, C.; WITTHAUT, M. (2012): IT in der Logistik. Trends des Logistik-IT-Marktes auf einen Blick – vom Supply Chain Management bis zum Warehouse Management, Ort: BVL.
- [11] DELFMANN, W. et.al. (2011): Positionspapier zum Grundverständnis der Logistik als wissenschaftliche Disziplin in: Flexibel – sicher – nachhaltig, Thomas Wimmer, Tino Grosche (Hrsg.), DVV Media Group GmbH, Hamburg, S. 262-274
- [12] BAUERNHANSL, T.; TEN HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSER, B. (2014): Industrie 4.0 in Produktion. Automatisierung und Logistik, Springer-Verlag.

- [13] SCHOLZ-REITER, B.; HARJES, F.; RIPPEL, D. (2014): Von der Selbststeuerung zu cyber-physischen Systemen. erschienen in: G. Schuh, V. Stich: Enterprise Integration. S. 63f.
- [14] TEN HOMPEL, M.; KIRSCH, C.; KIRKS, T. (2014): Zukunftspfade der Logistik-Technologien, Prozesse und Visionen zur vierten industriellen Revolution. erschienen in G. Schuh, V. Stich: Enterprise-Integration. S.203 f.
- [15] JUNG, W. (2007): Prognosen in der räumlichen Planung. Arbeitspaper, 3. Auflage, Universität Stuttgart, Stuttgart: o.V..
- [16] ALICKE, K. (2005): Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken. Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management. Berlin et. al: Springer Verlag.
- [17] ABBASI, A.; SARKER, S.; CHIANG, R.H.L. (2016): Big Data Research in Information Systems: Toward an Inclusive Research Agenda. In: Journal of the Association for Information Systems, Jg. 17 (2016) 2, S. 1-32.
- [18] SCHÄFFER, U.; WEBER, J. (2016): Controlling & Management Review: Predictive Analytics richtig einsetzen.
- [19] BOUSONVILLE, T. (2017): Logistik 4.0. Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette, Springer-Verlag. S.10 / S.24.
- [20] HELLINGRATH, B.; KUHN, A. (2013): Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Seite 4.
- [21] CHRISTOPHER, M. (2000): The Agile Supply Chain - Competing in Volatile Markets, Industrial Marketing Management.
- [22] WOLFF, S.; GROß, W. (2008): Dynamische Gestaltung von Logistiknetzwerken. In: H. Baumgarten (Hrsg.): Das Beste der Logistik, Berlin et. al: Springer Verlag, S. 121-134.
- [23] KAIPIA, R.; HARTIALA, H. (2006): Information-sharing in supply chains. five proposals on how to proceed. The International Journal of Logistics Management. Vol. 17.
- [24] LAMMING, R.; CALDWELL, N.; HARRISON D. (2004) Developing the Concept of Transparency for Use in Supply Relationships, British Journal of Management, Vol. 15.
- [25] KAULARTZ, M.; HECKMANN, J. (2016): SmartContracts –Anwendungender Blockchain-Technologie. In: Computer und Recht. Zeitschrift für die Praxis des Rechts der Informationstechnologien, Jg. 32, S. 618-624.

WHITEPAPER

PARADIGMENWECHSEL DER PLANUNG UND  
STEUERUNG VON WERTSCHÖPFUNGSNETZEN

IN KOOPERATION MIT



**EffizienzCluster**  
LogistikRuhr