

Stephan Keßler¹, Achim Schmidt² und Axel Wagenitz³

Intelligente Logistik in großen Netzen

Übersicht über die Forschungsleistungen des SFB 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“

Der Beitrag fasst zentrale Forschungsergebnisse des Sonderforschungsbereiches (SFB) 559 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) „Modellierung großer Netze in der Logistik“ zusammen. In der zehnjährigen Projektlaufzeit wurde von einem interdisziplinären Forscherteam aus der Informatik, dem Maschinenbau, der Statistik sowie den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften daran gearbeitet, große Netze der Logistik in ihrer Komplexität beherrschbar zu machen. Im Rahmen der Arbeiten gelang es eine „Dortmunder Schule zur Netzwerkplanung“ zu etablieren, welche einen umfassenden Fundus innovativer Instrumente zur Gestaltung, Modellierung und zum Management von Netzwerken, einen Wissensspeicher zur Planungsunterstützung und zahlreiche Beiträge zur Standardisierung und Optimierung von Logistik-Netzen und darin ablaufenden Prozessen hervorgebracht und in über 750 Veröffentlichungen und mehr als 80 Dissertationen verbreitet hat. Das Dortmunder Prozesskettenmodell stellt darin die zentrale und übergreifend genutzte Beschreibungssprache dar und hat sich somit zum Modellierungsparadigma für logistische Netze entwickelt.

1. Einleitung

Eine aus der Konzentration auf Kernkompetenzen resultierende Abnahme der unternehmerischen Fertigungstiefe, eine damit einhergehende verstärkt globalisierte Leistungserstellung sowie gestiegene Anforderungen der Kunden hinsichtlich Lieferbereitschaft, -schnelligkeit und -zuverlässigkeit, führen zu hochgradig arbeitsteiligen Produktions- und Logistiknetzwerken. Bedeutung und Anzahl logistischer Prozesse in derartigen Organisationsstrukturen nehmen beständig zu. Es wird immer wichtiger, sich nicht nur durch qualitativ hochwertige und zu einem angemessenen Preis-Leistungs-Verhältnis angebotene Produkte vom Wettbewerb zu differenzieren. Darüber hinaus müssen sich auch die mit den Produkten gemeinsam angebotenen Logistikleistungen durch einen hohen Grad an Professionalität und Qualität unter Einhaltung von Effizienz- und Flexibilitätszielen auszeichnen. Gleichzeitig wird es jedoch immer schwieriger, die entstehenden großen Netze der Logistik derart zu beherrschen und zu steuern, dass sie diesen Zielsetzungen gerecht werden. Gründe dafür liegen im Wesen engmaschig verflochtener Systeme /KUHN08a/.

1 Technische Universität Dortmund, Fakultät Maschinenbau, Lehrstuhl für Fabrikorganisation

2 Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Abteilung Unternehmensplanung

3 Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Abteilung Supply Chain Engineering

- *Konflikte im Zielsystem:* In großen Netzen mit ihren vielfältigen wechselseitigen Beziehungen bestehen Konflikte in den Zielsystemen der Akteure. Es müssen daher Mechanismen gefunden werden, die eine Netzleistung in der Nähe des Optimums anzeigen und sicherstellen. Im schlechtesten Fall entsteht ein Kompromiss, bei dem alle Beteiligten zurückstecken müssen, im besten Fall eine Win-Win-Konstellation.
- *Autonomie:* Ein großes Logistiknetz setzt sich stets aus mehreren unabhängigen Unternehmen zusammen, die kooperieren oder in Konkurrenz zueinander stehen können. Die Balance zwischen Integration und Autonomie ist folglich eine wesentliche Herausforderung beim Management von Netzwerken.
- *Nichtlokalität:* Eine gestaltende oder steuernde Maßnahme, gedacht für einen Teilbereich, hat oft Nebenwirkungen auf vor- oder nachgelagerte Prozesse in anderen Bereichen. Ein ganzheitlicher Ansatz berücksichtigt solche nicht-linearen Phänomene.
- *Eigendynamik:* Einerseits neigen große logistische Netze zur Eigendynamik, in anderen Fällen reagieren sie relativ träge auf Eingriffe. Beide Phänomene zusammen bedingen die Gefahr des Kontrollverlustes – das gesamte System kann sich aufschaukeln oder Teile blockieren sich gegenseitig.

Der SFB 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ hat erfolgreich daran gearbeitet, solche Einflüsse und deren Auswirkungen auf das Gesamtnetz erkennbar und bewertbar zu machen. Dabei geht es vor allem darum, die Auswirkungen von Einzelentscheidungen auf das Gesamtsystem abschätzen zu lernen – und das über den gesamten Lebenszyklus logistischer Netze hinweg. Im Folgenden wird dieses Grundlagenforschungsprojekt daher genauer vorgestellt, um einige zentrale Lösungsansätze zur Bewältigung der resultierenden Herausforderungen vorzustellen.

2. Leitbilder und Struktur des Sonderforschungsbereiches 559

Die Förderung des SFB 559 erstreckte sich in drei Phasen über den Zeitraum von 1998 bis 2008. Die *erste* Phase beschäftigte sich schwerpunktmäßig mit den Modellierungsmethoden, d.h. es galt die ‚Modellwelten‘ zur Abbildung von Anwendungsszenarien in großen Netzen der Logistik festzulegen und die Modellbildung unter Verwendung des Prozesskettenparadigmas vorzunehmen.

In der *zweiten* Förderphase befassten sich die beteiligten Wissenschaftler schwerpunktmäßig mit den Experimentierverfahren. Hierzu wurden die Modelle derart erweitert, dass ein systematisches Experimentieren mit diesen möglich ist. In beiden Phasen sind sowohl Beschreibungs-, Erklärungs- und Entscheidungsmodelle als auch Vorgehensmodelle zur Nutzung von Methoden und Modellen Betrachtungsgegenstand /KUHN08b/.

Die *dritte* und letzte Phase des SFB 559, auf die sich die nachfolgenden Ausführungen schwerpunktmäßig beziehen, diente einerseits der Vervollständigung der Modellwelten, andererseits zur Ableitung allgemeingültiger Regeln und Gesetzmäßigkeiten für die Gestaltung, Organisation und Steuerung von großen Netzen der Logistik. Aus Gesamtprojektsicht waren dabei folgende zentrale Forschungsfragen zu adressieren /SFB559a/:

- Wie kann mit der zunehmenden Komplexität der Logistik-Netze umgegangen werden?
- Wie kann diese Komplexität anwendungsspezifisch und grundsätzlich reduziert werden?
- Und wie sehen die Modelle aus, die trotz der Komplexitätszunahme eine höhere Entscheidungssicherheit gewähren?

Zur Beantwortung dieser Fragen, wurden die Ablauf-, Struktur-, Entscheidungs- sowie Datenkomplexität in großen Netzen der Logistik untersucht und Teillösungen zur Komplexitätsreduktion und -beherrschung in diesen Kategorien entwickelt (vgl. auch Abschnitt 5). In den 14 verschiedenen Teilprojekten fand dabei auch eine auf spezifische Problemfelder im Kontext großer Netze der Logistik fokussierte Bearbeitung dieser übergeordneten Forschungsfragestellungen statt. Dabei wurde im gesamten Förderzeitraum erfolgreich eine Differenzierung in Anwendungs- und Methodenprojekte praktiziert. Die Anwendungsprojekte dienten der modellgestützten Untersuchung spezifischer Anwendungsprobleme in großen Netzen der Logistik, während Methodenprojekte für die Erarbeitung und Bereitstellung des für die Untersuchungen erforderlichen Methodenpools verantwortlich waren. Wie in Abbildung 1 dargestellt, beeinflussten und befruchteten sich die Forschungsziele dieser beiden Teilprojektklassen gegenseitig. Während durch empirische Studien und systematisches Experimentieren in konkreten Anwendungsfeldern die Anforderungen an die Modellierungstechniken erarbeitet wurden, haben die Projekte zur Ertüchtigung und Anpassung von Modellierungstechniken geeignete Methoden und Instrumente für den jeweiligen Anwendungskontext bereitgestellt /SFB559b/.

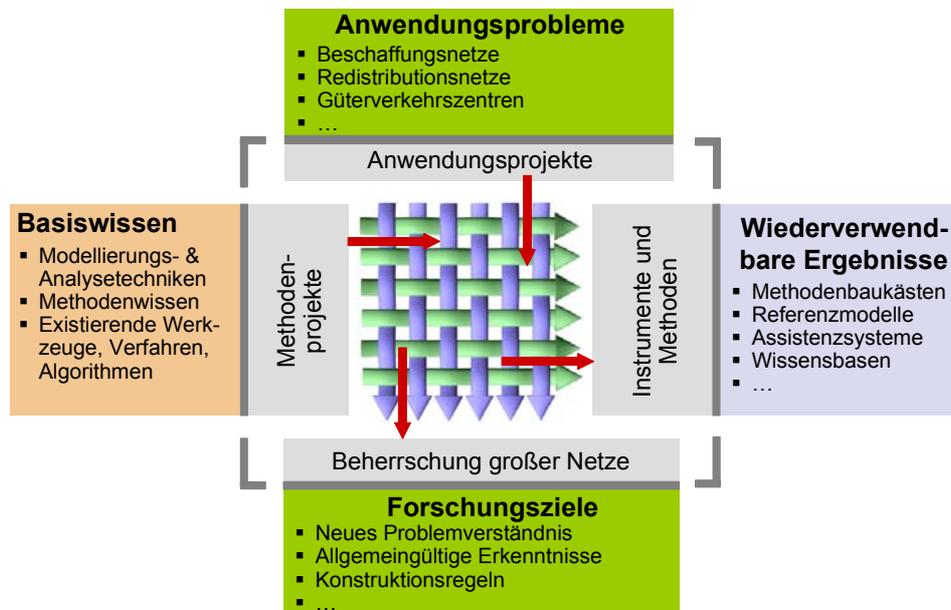


Abb. 1: Zusammenspiel von Anwendungs- und Methodenteilprojekten im SFB 559 /KUNH08b/

Die Inhalte der Anwendungsteilprojekte lassen sich zum besseren Verständnis zudem übergreifend strukturieren: Bekanntlich sind logistische Netze komplexe Gebilde aus *Knoten und Relationen*. Je nach Sichtweise und Aufgabenstellung kann sich der Fokus der Beschreibung oder Untersuchung eines Anwendungsprojektes mehr auf die Knoten oder mehr auf die Relationen ausrichten. Daher lassen sich die Arbeiten in zwei Themenfelder gliedern,

1. das Eigenverhalten logistischer Knoten und ihrer Umgebung und
2. die Kooperation von Knoten entlang von Relationen im Netz.

Im *ersten* Themenfeld sind die Aktivitäten der Projekte Güterverkehrszentren (A4), Luftfrachtknoten (A5) und Seehafenhinterlandverkehre (A13) eingeordnet. Schließlich zeigen große logistische Knoten – z.B. Seehäfen – ein dynamisches Eigenverhalten, das gravierende Auswirkungen

auf die Umgebung haben kann. Die Bündelung von Güterströmen erfordert eine ausgefeilte Infrastruktur, um reibungslos funktionieren zu können. Ohne ein detailliertes Verständnis der inneren Eigenschaften derart komplexer Knoten können Netze daher nicht betrachtet werden.

Das *zweite* Themenfeld der Anwendungsprojekte beschäftigte sich mit der Kooperation von Knoten, d.h. Netze entstehen dadurch, dass verschiedene Knoten miteinander kooperieren und entlang von Relationen Verkehrsmittel operieren und Güter ausgetauscht werden. Vor dem Hintergrund ständig wachsender Transportbedarfe müssen hierzu leistungsfähige Strukturen geschaffen werden, die sich als hochkomplexe Relationengeflechte ausprägen. Aus der Vielzahl von praktischen Problemstellungen in diesem Kontext wurden wichtige Themenfelder aufgegriffen, die auch in Zukunft relevant bleiben. Dies betrifft die Servicenetze (A7), wie sie z.B. im Bereich der Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP-Dienste) wichtig sind, und Beschaffungsketten (A2), wie sie z.B. in der Automobilindustrie zu betrachten sind. Die Untersuchung von Flughäfen im Projekt A5, haben sowohl zu einem detaillierten Verständnis der inneren Strukturen eines Flughafens beigetragen, als auch relationenorientiert die Interaktion zwischen mehreren Flughäfen behandelt. Des Weiteren sind die Anwendungsprojekte A13 (Betrachtung von Mehrwegbehälterkreisläufen in Re-Distributionssystemen) und A15 (Organisationskonzepte für Supply Chains) diesem Themenfeld zuzuordnen.

Die Zuordnung der einzelnen Teilprojekte zu beiden Themenfeldern orientiert sich jeweils an der Schwerpunktsetzung der Arbeiten. Natürlich haben alle Projekte die Dualität von Knoten und Relationen in den logistischen Netzwerken in ihren Betrachtungshorizont integriert. Die dadurch induzierte komplementäre Betrachtungsweise ist ein wesentliches Element der interdisziplinären Zusammenarbeit unter den Anwendungsteilprojekten, aber auch der Kooperation mit den Methodenprojekten.

3. Modellierungsparadigma für große Netze der Logistik (GNL)

Im SFB 559 wurde während dessen Laufzeit daran gearbeitet, die Logistikknetzwerken inhärenten Wirkbeziehungen und Interdependenzen erkennbar und bewertbar zu machen. Dabei geht es vor allem darum, die Auswirkungen von Einzelentscheidungen auf das Gesamtsystem abschätzen zu lernen – und das über den gesamten Lebenszyklus logistischer Netze hinweg, also sowohl in der Planungs- als auch in der Betriebsphase. Hierzu war die Nutzung eines geeigneten Modellierungsinstrumentariums für GNL erforderlich, das einen anwendungsbezogenen, ganzheitlichen Gestaltungs- und Analyseansatz unterstützt.

Das Dortmunder Prozesskettenmodell erfüllte die grundlegenden Anforderungen an einen derartigen Modellierungsansatz. Seit dem Beginn seiner Entwicklung Anfang der 80er Jahre hatte es mehrere Entwicklungsstufen durchlaufen (vgl. hierzu und zum Folgenden insbesondere auch /LAAK05/ sowie Abbildung 2, links); Ausgangspunkt bildete u.a. das Value Chain Framework nach PORTER /PORT99/. Die dem Konzept zu Grunde liegende Wertkette gilt als einer der ersten Ansätze für eine prozessorientierte Unternehmensorganisation. Weitere Basis ist das Puffer-Modell nach KUHN. Als Methode zur Analyse und Simulation von Materialflüssen zeigt das Puffermodell, dass die logistischen Systeme während des Gestaltungsprozesses von ihrer Umwelt zu entkoppeln sind, um die Austauschbeziehungen zwischen den Prozessstufen analysieren zu können. Aufbauend darauf entwickelte KLÖPPER das Modell der logistischen Wertkette, die auch als Prozesskette bezeichnet wird /KLÖP91/. In seinem Modell definiert KLÖPPER erstmals das Pro-

zesskettenelement als Basisobjekt, das die Grundlage für das Prozesskettenmodell nach KUHN bildet /KUHN95; KÄPP02; LAAK05/.

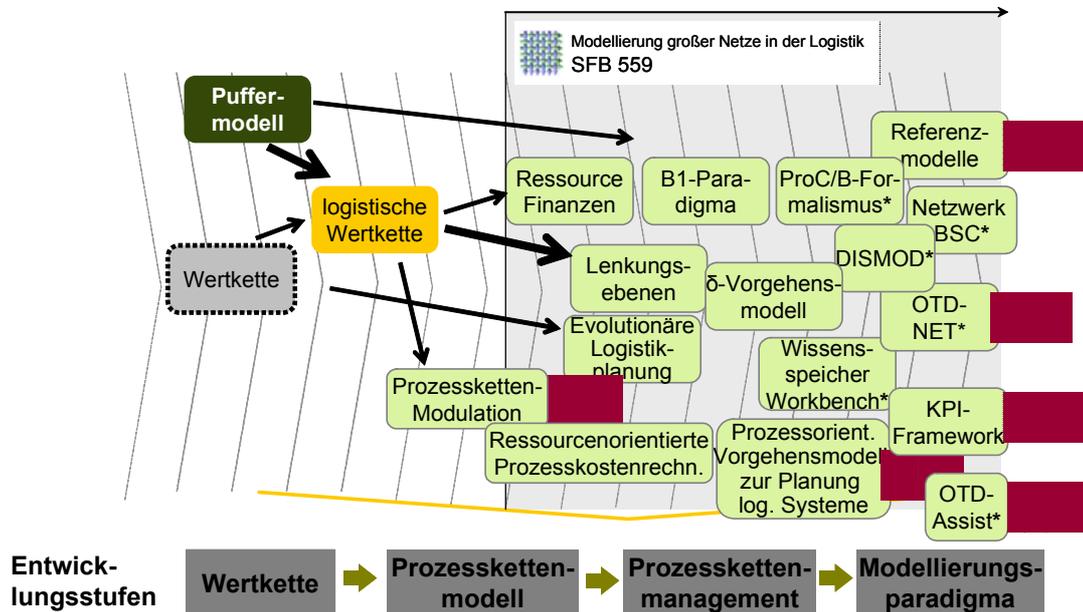


Abb. 2: Entwicklung des Prozesskettenmodells zum Modellierungsparadigma für logistische Netze (zu den mit * markierten Begriffen finden sich weitere Erläuterungen in Abbildung 6)

Eine Prozesskette besteht demnach aus einzelnen Prozesskettenelementen, die entlang der Zeitachse miteinander verknüpft sind. Die Elemente repräsentieren eine geordnete Abfolge von Aktivitäten, die einen definierten Input (Leistungsobjekte vom Lieferanten) in einen definierten Output (transformierte Leistungsobjekte an den Kunden) überführt. Die einzelnen Basisobjekte lassen sich durch Parameter beschreiben (vgl. Abbildung 3; zur genauen Beschreibung der Parameter vgl. /KUHN95; KÄPP02/). Hierbei handelt es sich um die ‚Stellschrauben‘ eines Logistiksystems, an denen Veränderungen vorgenommen werden können, um Leistungs- und Kostenziele zu erreichen. Das Prozesskettenmodell kennt insgesamt vier Parameter (Prozesse, Lenkung, Ressourcen und Strukturen) mit 18 Stellschrauben /KUHN08c/. Durch das Prinzip der Selbstähnlichkeit lassen sich in dem Modell Systeme in autonome Subsysteme untergliedern, so dass beliebige Abstraktionsniveaus abgebildet werden können. Ein einzelnes Prozesskettenelement einer Prozesskette kann daher wiederum als Prozesskette aufgefasst werden, um Detailbetrachtungen zu ermöglichen. Damit lassen sich Maßnahmen identifizieren, systematisieren und diskutieren, mit denen man Prozesse und Strukturen ganzer Unternehmensnetzwerke, einzelner Produktions- oder Logistikstandorte sowie sozio-technischer Systeme in diesen Standorten verändern, anpassen oder optimieren kann. Es lassen sich logistische Systeme abbilden und deren Lenkungsmechanismen erklären, um die resultierenden Erkenntnisse bei Gestaltungs- oder Managementaufgaben einsetzen zu können. Das Prozesskettenmodell bietet folglich einen durchgehenden und integrierenden Ansatz, um trotz der Komplexität von vernetzten logistischen Prozessen einen durchgehenden Material- und Informationsfluss beschreiben und analysieren zu können. Mit ihm existiert ein hierarchisches, aus selbstähnlichen Bausteinen aufgebautes, unternehmensinterne und -externe Aspekte berücksichtigendes Modell für Logistiksysteme.

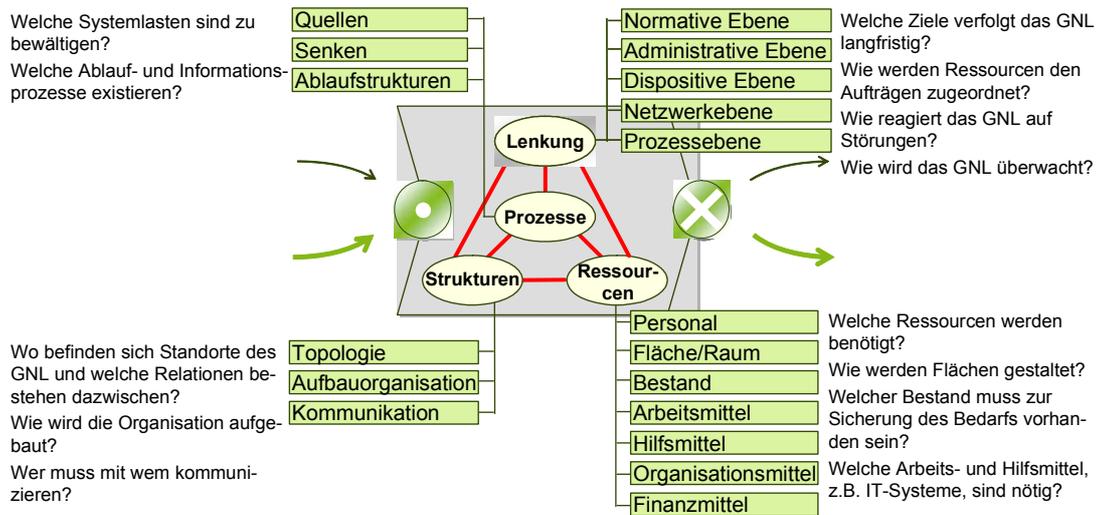


Abb. 3: Das Prozesskettenmodell und seine Stellschrauben in großen Netzen der Logistik

Prozesskettenmodelle stellen im SFB 559 folglich das Basisparadigma für viele Modellierungsprobleme auch im Bereich großer Netze der Logistik dar. Zusätzliche Erweiterungen waren jedoch notwendig, um zu ausführbaren bzw. analysierbaren Modellen zu kommen (vgl. Abbildung 2, rechts). Beispiele hierfür sind:

- Das Konzept der Prozesskettenmodulation nach PIELOK hat das Prozessketteninstrumentarium um Methoden und Leitlinien zur Reorganisation ergänzt. Unter der Modulation einer Prozesskette wird dabei die ganzheitliche und systemische Betrachtung einzelner, aufgebrochener Prozesskettenelemente verstanden mit dem Bemühen, ‚crossfunktionale‘ Veränderungen im Sinne einer ständigen Verbesserung durchzuführen. Hierzu wurden unterschiedliche Modulationstechniken definiert (z.B. Vertauschen, Eliminieren, Parallelisieren von Prozesskettenelementen). Zur Umsetzung wird die Methode des Logistic Function Deployment (LFD) verwendet (vgl. /PIEL95/).
- Die Integration des Prozesskettenmodells in ein grundlegendes, praxisorientiertes Vorgehensmodell zur Prozessreorganisation durch WINZ UND QUINT, wird als Prozesskettenmanagement (PKM) mit dem Schwerpunkt der Geschäftsprozessreorganisation bezeichnet (vgl. auch /WINZ97/). Das Prozesskettenmanagement basiert auf dem Gedanken des Business Process Reengineering (BPR) sowie des Kaizen und versucht diese beiden Ansätze zu verknüpfen, indem die kundenorientierte Neugestaltung von Prozessen mit deren anschließender kontinuierlichen Verbesserung verbunden wird.
- MANTHEY UND FUCHS konzipierten mit der Entwicklung der ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung (rPKR) eine wichtige Analyse- und Entscheidungsmethode zur Kostenbewertung logistischer Prozesse /FUCH04/. Quantitative und monetäre Parameter einzelner Prozesskettenelemente oder ganzer Prozessketten werden mittels dieser Methode bei variierenden Systemlasten betrachtet. Vorteilhaft bei der rPKR ist, dass bestimmte Effekte logistischer Ressourcen, wie ungenutzte Kapazitäten, differenzierter betrachtet werden können, als es traditionelle Methoden der Prozesskostenrechnung ermöglichen. Arbeiten z.B. zur Netzwerk-Balanced Scorecard oder zum Key Performance Indicator (KPI)-Framework ergänzten die der rPKR zugrundeliegende Kostensicht sukzessive um weitere Kennzahlen.

- Für weiterreichende Möglichkeiten der Simulation logistischer Prozesse hat die Entwicklung des B1-Paradigmas bzw. ProC/B-Formalismus durch BEILNER UND BAUSE gesorgt /BAUS03/. Prozesskettenmodelle, die nach dem herkömmlichen, semi-formellen Formalismus modelliert sind, sind einer direkten rechnergestützten Analyse nicht zugänglich. Der ProC/B-Formalismus überträgt die Modellierung von Prozessketten auf Petri-Netze für die weitere Verwendung in Simulations- und Analysewerkzeugen.
- Verschiedene Entwicklungen verdeutlichen zudem das Bestreben, eine explizite Verknüpfung zwischen Modellen zur Beschreibung von Planungsobjekten (Prozesskettenmodell) und Modellen zur Beschreibung des eigentlichen Planungsprozesses zu erreichen. In diesen Kontext sind die Arbeiten BECKMANNS zur Theorie einer evolutionären Logistikplanung /BECK96/ sowie KÜHLINGS zum Delta-Vorgehensmodell zu setzen. Letzterer stellt ein phasenorientiertes, generalisiertes Vorgehensmodell zur Gestaltung soziotechnischer Systeme dar /KÜHL00/. Es lässt sich durch seine Eigenschaften Selbstähnlichkeit, Vernetzung und Geschlossenheit der Phasen auch für Planungsaufgaben in logistischen Systemen verwenden. Um die Prozessorientierung insbesondere in den originären Planungsphasen des Modells stärker zu betonen, wurde ferner ein „Vorgehensmodell zur prozessorientierten Logistikplanung“ entwickelt und in die generalisierte Vorgehensweise KÜHLINGS integriert (vgl. /KUHN06; KESS09/).

Die dargestellten und andere Weiterentwicklungen wurden im Rahmen des SFB 559 systematisch vorangetrieben, so dass das Prozesskettenmodell heute als Modellierungsparadigma, Reorganisations- und Geschäftsprozessmodellierungsmethode sowie Prozessbewertungs- und Prozesskostenrechnungsmethode aufgefasst werden kann. Viele Planungsmethoden, wie die Simulation oder Optimierung, stützen sich darauf oder adaptieren es. Es findet heute breite Anwendung in fast allen Anwendungsbereichen der Logistik.

4. Komplexitätsbeherrschung in großen Netzen der Logistik als Forschungsaufgabe

Die Forschungsaufgabe insbesondere der dritten Phase des SFB 559 bestand darin, Beiträge zu einer Theorie zur Komplexitätsbeherrschung in Logistiknetzwerken zu erarbeiten. In Anlehnung an den systemtheoretischen Komplexitätsbegriff sind Systeme dann komplex, wenn sie vielschichtig sind und sich der Vereinfachung entziehen /BIBE03/. Dies gilt beispielsweise für das menschliche Gehirn und das System des Erdklimas, aufgrund der eingangs angeführten Eigenschaften (Konflikte im Zielsystem, Autonomie, Nichtlokalität, Eigendynamik) aber zweifellos auch für große Netze der Logistik.

Für diesen Gegenstandsbereich galt es die Komplexitätskategorien der Ablauf-, Struktur-, Entscheidungs- und Datenkomplexität vereinfacht und anschaulich darzustellen und dadurch handhabbar zu machen. Die in den einzelnen Teilprojekten erarbeiteten Teillösungen waren dabei so zu gestalten, dass sie hinsichtlich Wiederverwendbarkeit, Konstruierbarkeit und Standardisierung möglichst vielseitig nutzbar sind. Das gemeinsame Ziel aller Forschungsarbeiten betraf die Modellierung relevanter Systeme und Prozesse von GNL, um sie künftig besser und sicherer hinsichtlich technischer, ökonomischer und ökologischer Zielsetzungen auslegen und betreiben zu können.



Abb. 4: Betrachtete Komplexitätskategorien in großen Netzen der Logistik

Im Folgenden wird zunächst kurz auf drei der angesprochenen Komplexitätsdimensionen eingegangen, um einzelne entwickelte Teillösungen zu ihrer Beherrschung anzudeuten (vgl. auch /KUHN08a; KUHN09/). Im Anschluss wird die Kategorie Entscheidungskomplexität herausgegriffen und näher erörtert.

Strukturkomplexität in GNL entsteht durch die Anzahl und Art der das Netzwerk konstituierenden Knoten und Kanten. Ihr wird z.B. dadurch begegnet, dass ein Netzwerk über verschiedene Detaillierungsebenen hinweg betrachtet wird; in diesem Kontext wird von der Dekomposition von Netzen – auch von der Netzwerksegmentierung – gesprochen. Es geht dabei darum, möglichst autonome Bereiche zu finden, die man ‚freischneiden‘ und für sich gestalten, optimieren und steuern kann. Die Bedarfe einer Netzwerkfunktionalität stellt man über Schnittstellen sicher. Entsprechende Austauschprozesse an Informationen und Materialien werden dafür meistens als Leistungskennzahlen erfasst und für eine Betrachtungsebene festgelegt. Wenn jedoch auf einer Ebene eine Leistungsgrenze überschritten und der Lieferservicegrad eines Knotens im Netz nicht mehr erreicht wird, müssen die Standortstrukturen oder die Teilnetzstrukturen in Frage gestellt und Ursache-Wirkungsketten über mehrere Strukturebenen hinweg analysiert werden.

Dominierend für die Netzwerk-Funktionalität ist das Leistungsobjekt ‚Auftrag‘. Ein Auftrag ‚betritt‘ ein Netzwerk über eine Quelle (den Kunden), wird über heterogene Geschäftsprozesse transformiert, muss in Planungs- bzw. Dispositionsalgorithmen mit anderen Aufträgen koordiniert werden (Lenkungsprozesse), erzeugt Servicebedarfe (Informationsprozesse) und löst dadurch wieder neue Aufträge aus, u.a. auch in diversen Prozessketten (Materialflussprozesse), in denen wiederum physische Leistungsobjekte transformiert werden. Schließlich verlässt das Leistungsobjekt Auftrag das Netzwerk an der gleichen Stelle an der es ausgelöst wurde: beim Kunden. Durch die zwischen Ein- und Austritt aufgezeigten vielfältigen Abhängigkeiten und Prozessalternativen entsteht die Ablaufkomplexität in GNL.

Die Fülle und Verteilung von Informationen und Daten in logistischen Netzen ist Ursache für die Informations- und Datenkomplexität /WENZ08/. Schon die in den Prozessketten zu überwachenden und zu kontrollierenden Umschlagprozesse sorgen für die Entstehung und Auflösung von Logistikeinheiten und ein damit einhergehend ständig wachsendes Datenvolumen. Mit den neuen Möglichkeiten der Identifizierungstechniken werden mittlerweile sogar gesetzliche Vorschriften erlassen, nach denen die Rückverfolgbarkeit nicht auf die Logistikprozesse beschränkt bleibt, sondern Materialentstehungs- und Teileverwendungsprozesse ebenfalls umfassen muss. Hierdurch entstehen zusätzliche Datenvolumina, für die geeignete Ansätze zur Beherrschung erforderlich sind. Der SFB 559 hat sich daher in einem Teilprojekt mit diversen Methoden zur Reduzierung der Datenkomplexität befasst /WENZ08/. Darüber hinaus wird man aber entsprechende Datenmengen handhaben müssen, um dann geeignete Verdichtungen zu Kennzahlen erreichen zu können, die Netzwerktransparenz entstehen lassen.

Im Folgenden werden insbesondere Simulationsmodelle und -experimente beleuchtet, die in der Lage sind, Entscheidungsunterstützung bei einem Veränderungsbedarf für Netzwerkstrukturen und -prozesse zu liefern und somit die Entscheidungskomplexität in GNL beherrschbar zu machen. Die dafür gefundenen Lösungen, die Logistik-Assistenzsysteme, werden beschrieben (vgl. Abschnitt 4.1 sowie insbesondere /KUHN06b; KUHN08a/) und ein bereits realisiertes Assistenzsystem dargestellt (vgl. Abschnitt 4.2 sowie insbesondere /KUHN08a; TOOTH09/).

4.1 Assistenzsysteme als Ansatz zur Beherrschung der Entscheidungskomplexität

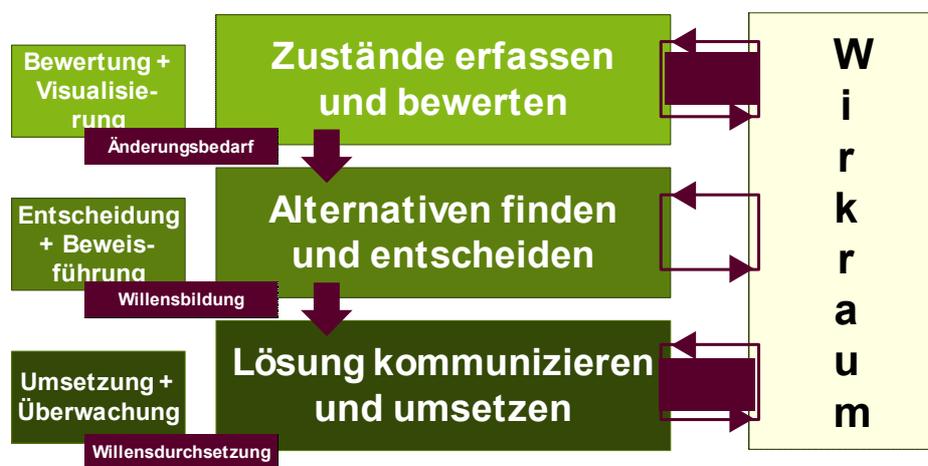


Abb. 5: Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung in GNL (in Anlehnung an /KUHN09/)

Die Komplexitätskategorien von GNL haben die Eigenschaft, dass sie alle gleichzeitig wirken und damit valide Entscheidungen und transparente Begründungen praktisch unmöglich machen. Ein Ausweg wird darin gesehen, Logistik-Netze soweit zu segmentieren, bis sich möglichst autonome Teilbereiche des Netzwerkes identifizieren lassen, in denen zentrale Entscheidungen getroffen sowie kollaborativ umgesetzt werden können (analog der Fabriksegmentierung nach WILDEMAN /WILD88/ oder dem Konzept der Fraktalen Fabrik nach WARNECKE /WARN95/). Dies geschieht mit der Hilfe von maßgeschneiderten Unterstützungssystemen, die alle notwendigen Hilfsmittel, Methoden, Instrumente und Simulationssoftware segmentspezifisch zusammenführen und während des gesamten Lebenszyklus dieser Segmente nutzbar bleiben. Die Leistungen und Funktionalitäten solcher als Assistenzsysteme bezeichneten Entscheidungsunterstützungssysteme sind in

Abbildung 5 grob dargestellt. Ein Assistenzsystem ist demnach ein Computer-System, welches den Menschen durch die teilautomatisierte Sammlung und Filterung von relevanten Informationen, der Generierung und Bewertung von Entscheidungsvorschlägen sowie der Ausführung und Überwachung von Aufgaben unterstützt.

Für sinnvoll abgegrenzte Bereiche bzw. Netzwerksegmente – also einen definierten Wirkraum – löst ein Assistenzsystem drei Aufgabenkomplexe.

1. *Zustandsinformationen*: Alle Systemlasten, Zustände und Leistungen eines Teilnetzes, die innerhalb definierter Leistungs- und Kapazitätskorridore liegen, werden modelliert, mess- bzw. bewertbar gemacht. Werden die Korridore verlassen, entsteht ein Änderungsbedarf.
2. *Entscheidungsfindung*: In diesem Fall muss entschieden werden, welche Maßnahmen zu den gewünschten Änderungen führen, z.B. kurzfristige Lenkungs-, mittelfristige Ablauf- oder langfristige Strukturmaßnahmen. Dafür werden Änderungen vorausschauend betrachtet – im Experiment werden die Auswirkungen auf das Verhalten getestet und die Effekte festgestellt. Das Assistenzsystem bietet dem Anwender auf Basis z.B. der Simulation folglich verschiedene Möglichkeiten an, Entscheidungsalternativen im operativen Betrieb zu überprüfen.
3. *Kollaborative Umsetzung*: Vielen Partnern müssen die Entscheidungen erklärt werden. Alle Partner müssen daher in der Lage sein, den Entscheidungsprozess unbeeinflusst nachvollziehen zu können – letztlich die Voraussetzung dafür, dass eine Entscheidung umsetzbar wird.

Laufende und zukünftige Forschungsarbeiten müssen zeigen, wie solche Assistenzsysteme wirtschaftlich ‚produziert‘ werden können (Konstruierbarkeit, wiederverwendbare ‚Logistik-Elemente‘, Standardisierung). Nachfolgend wird ihr Einsatzpotenzial an einem Anwendungsfall demonstriert.

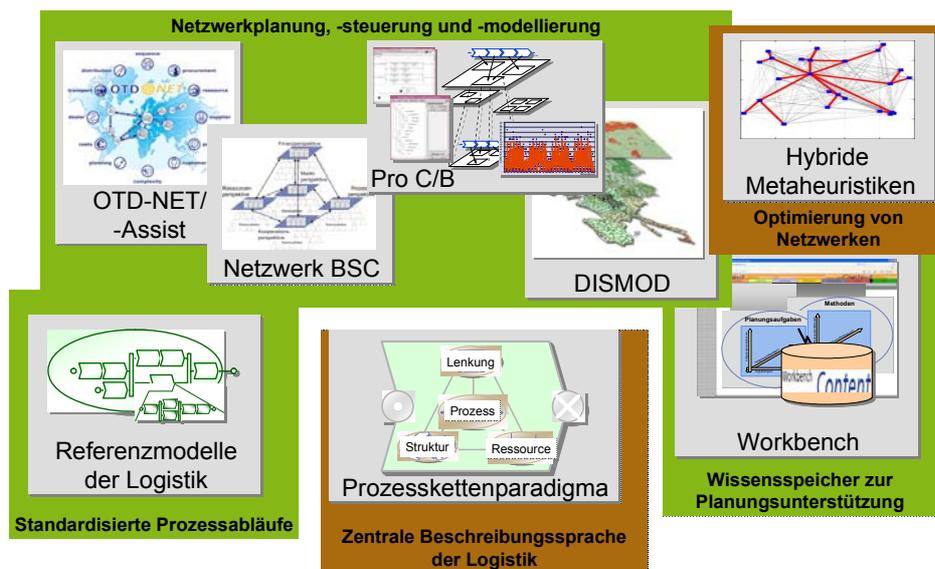
4.2 Anwendungsbeispiel: Assistenzsystem zur Verbesserung der Komponentendisposition eines Nutzfahrzeugherstellers in einem globalen Logistiknetzwerk (vgl. /KUHN08a; TOTH09/)

Die Nutzfahrzeugsparte eines großen deutschen Automobilherstellers bezieht für einen Fahrzeugtyp die Motoren aus Südafrika. Da zahlreiche Teile der Motoren als zerlegte Bausätze über Completely Knocked Down (CKD)-Prozesse aus Deutschland an das Motorenwerk geliefert werden, entstehen vielfältige dynamische Abhängigkeiten im Netzwerk, die von den Disponenten nur schwer zu durchschauen sind. Während der Motorendisponent frühzeitig die entsprechenden Motoren bestellen muss, verlangt der Vertrieb im kurzfristigeren Planungshorizont Flexibilität bei der Fahrzeugeinplanung. In diesem Spannungsfeld ist es Aufgabe des Disponenten eine verlässliche Planungsinstanz darzustellen und für stabile Prozesse zu sorgen.

In einem gemeinsamen Projekt des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik (IML) mit dem Fahrzeughersteller wurden daher Konzepte und Methoden entwickelt, welche diesen globalen Logistikprozess unterstützen. Die erste Aufgabe bestand darin, den Prozess im Detail zu untersuchen und Bestandsstrategien für die Motorenkomponenten abzuleiten, welche dem Vertrieb eine verbesserte Flexibilität zugestehen und gleichzeitig die Versorgungssicherheit in definierten Grenzen sicherstellen. Auf Basis von Vergangenheitsdaten und Prognosen wurde dazu ein Simulationsmodell (vgl. /WAGE07/) aufgebaut, welches die globale Lieferkette exakt nachbildet und somit den dynamischen Bestandsverlauf für die Zukunft ableitbar macht. Das Ergebnis der ersten Studie waren detaillierte Bestandsstrategien für die kritischen Teile.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Assistenzsystem entwickelt, welches die taggenaue Visualisierung aller Bestände in der Supply Chain für die Motoren und Bausatz-Teile ermöglicht. Hierzu werden alle relevanten Statusinformationen (Lager-/Transportbestände, Bedarfe, Kapazitäten etc.) des Netzwerkes vollständig und zeitnah erfasst, verdichtet und interpretiert sowie im ‚Supply Chain Monitor‘ für alle beteiligten Unternehmen zugänglich gemacht. Zudem bietet die integrierte Simulationskomponente die Möglichkeit einer Vorschau über das zukünftige Systemverhalten unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und variablen Planungsparametern. Ein Verursacher von Änderungen nimmt dazu Manipulation am Szenario vor und bewertet mit Hilfe der Simulation die neue Situation über die gesamte Kette hinweg. Engpässe bzw. Überkapazitäten werden somit frühzeitig sichtbar und entsprechende Maßnahmen können proaktiv initiiert werden. Das Assistenzsystem wird mittlerweile von der Disposition des Fahrzeugherstellers und von der Planungsabteilung in Südafrika eingesetzt und bildet eine gemeinsame Planungsbasis. Durch erlangte neuartige Transparenz und Entscheidungsunterstützung konnte die Notwendigkeit von Email, Telefon- oder Fax-gestützter-Kommunikation zwischen den Beteiligten auf Ausnahmesituationen (z.B. Engpässe) minimiert werden.

5. Fazit



- OTD-NET: Order-To-Delivery NETWORK Simulator bzw. Auftragsdurchlaufsimulator für Unternehmensnetzwerke
- OTD-Assist: Auf dem OTD-NET-Simulator aufbauende Assistenzsysteme zur Unterstützung der Planung und Steuerung der Supply Chain
- Netzwerk BSC: Netzwerk Balanced Scorecard (auf der Balanced Scorecard nach Kaplan/Norton basierendes Controlling-Instrument für Unternehmensnetzwerke)
- Pro C/B: Formalismus zur Übertragung semi-formaler Prozesskettenmodelle auf Petri-Netze für die rechnergestützte Verwendung in Simulations- und Analysewerkzeugen
- DISMOD: Distribution Planning for Multimodal Transports (Planungsinstrument zur Strukturoptimierung in multimodalen Transportnetzwerken)
- Workbench: Internetbasiertes System zur strukturierten Dokumentation von Wissen zur Gestaltung und zum Betrieb logistischer Netze
- Metaheuristik: Suchalgorithmus zur heuristischen Lösung komplexer Planungsprobleme (bspw. in der Tourenplanung)

Abb. 6: Dortmunder Beiträge zur Netzwerkplanung /KUHNO8b/

Dank des SFB 559 hat sich am Standort Dortmund ein umfangreicher Wissenspool zur Planung, zum Betrieb und zur Optimierung großer Netze der Logistik herausgebildet /BUCH09/. In den Methoden- und Anwendungsteilprojekten wurden aus interdisziplinären Forschungsaktivitäten vielfältige Erkenntnisse und Zusammenhänge zu spezifischen Fragestellungen in diesen Netzwerken gewonnen. Die Verallgemeinerung dieses Wissens führte letztlich zu ersten Lösungsansätzen, um große Netze der Logistik so zu gestalten, dass sie konstruierbar und beherrschbar werden, effizient ablaufen sowie schneller zuverlässige Ergebnisse liefern.

Fernziel bleibt – auch über den Bestand des SFB 559 hinaus – den vorhandenen Bestand an explizitem und implizitem Planungswissen der Logistik systematisch zu erweitern, anzupassen und zu vervollständigen. Dazu wird der bereits verfügbare Wissensfundus erfasst, strukturiert, dokumentiert und anwendungsspezifisch zugänglich gemacht, damit die Abhängigkeiten und gegenseitigen Beeinflussungen, sozusagen die Intelligenz des Logistiknetzes nicht verloren gehen. Es soll schließlich sichergestellt werden, dass auch nachfolgende Forschergenerationen und selbst unerfahrene Planer das Wissen der „Dortmunder Schule zur Netzwerkplanung“ nutzen können und werden.

Literatur

- /BAUS03/ Bause, F.: Semantik des ProC/B-Paradigmas, Spezifikation des ProC/B-Formalismus anhand der Umsetzung in HiSlang. Dortmund, 2003
- /BECK96/ Beckmann, H.: Theorie einer evolutionären Logistik-Planung. Dissertation Universität Dortmund. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1996
- /BIBE03/ Bibel, E.: Wissenssysteme und Komplexitätsbewältigung. In: Dynamisches Denken und Handeln – Philosophie und Wissenschaft in einer komplexen Welt. Festschrift für Klaus Mainzer zum 60. Geburtstag (Th. Leiber Hrsg.). Hirzel Verlag, Stuttgart, 91-109 (2007)
- /BUCH09/ Buchholz, P.; Clausen, U. (Hrsg.): Große Netze der Logistik. Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereiches 559. Springer-Verlag, 2009
- /FUCH04/ Fuchs, F.: Entwicklung eines Werkzeugs zur ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung für das prozessorientierte Logistik-Controlling. Dortmund, 2004
- /KÄPP02/ Käppner, M.; Laakmann, F.; Stracke, N.: Dortmunder Prozesskettenparadigma – Grundlagen. Technical Report, Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 02005. Dortmund, 2002
- /KESS09/ Keßler, S.; Krause, S.; Nagel, L.: Nutzungsmöglichkeiten der Workbench zur Unterstützung des Planungsprozesses von Güterverkehrszentren. In: Clausen, U.; Buchholz, P. (Hrsg.): Große Netze der Logistik – Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559. Springer-Verlag, Heidelberg, 2009, S. 271-295
- /KLÖP91/ Klöpffer, H.-J.: Logistikorientiertes strategisches Management: Erfolgspotentiale im Wettbewerb. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1991
- /KÜHL00/ Kühling, M.: Gestaltung der Produktionsorganisation mit Modell- und Methodenbausteinen. 2000
- /KUHN95/ Kuhn, A.: Prozessketten in der Logistik – Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1995
- /KUHN06a/ Kuhn, A.; Beller, M.: Ein prozessorientiertes Vorgehensmodell zur modellgestützten Fabrikplanung. In Tagungsband VPP 2006. Vernetztes Planen und Produzieren. Chemnitz, 2006

- /KUHNO6b/ Kuhn, A.; Hellingrath, B.: Instrumente und Methoden für das Kooperationsmanagement in Logistiknetzwerken. In: Wojda, F.; Barth, A. (Hrsg.): Innovative Kooperationsnetzwerke. DUV, 2006, S. 295-312
- /KUHNO8a/ Kuhn, A.: Simulation großer Logistik-Netze, Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart (FTK 2008), 10.-11.09.2008
- /KUHNO8b/ Kuhn, A.: Übersicht über die Forschungs- und Transferleistungen des SFB 559. Vortrag auf dem Abschlusskolloquium des SFB 559, Dortmund, 17.06.2008
- /KUHNO8c/ Kuhn A.: B 1.1 Grundlagen des Prozesskettenmanagements; Das Modellierungsparadigma (B1.2). In: Arnold, D.; Furmanns, K.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik, 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2008, S. 216-224
- /KUHNO9/ Kuhn, A.; Keßler, S.; Vornholt, C.: Ergebnisse des Sonderforschungsbereiches SFB 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“. In: Jahrbuch Logistik 2009, S. 255-261
- /LAAK05/ Laakmann, F.: Konstruktionsmethodischer Gestaltungsansatz für die Logistik. Umsetzung eines Modellierungskonzeptes für Planungswissen in der Logistik. Dissertation, Universität Dortmund, 2005
- /PIEL95/ Pielok, T.: Prozessketten-Modulation – Analyse und Modulation von Prozessketten mittels Logistic Function Deployment. Dissertation, Universität Dortmund, Verlag Praxiswissen, 1995
- /PORT99/ Porter, M. E.: Wettbewerbsstrategie (Competitive Strategy). Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. Campus Verlag, Frankfurt/New York, 1999
- /SFB559a/ Sonderforschungsbereich 559:
Online Auftritt unter URL: www.sfb559.uni-dortmund.de. Abrufdatum: 1/2010
- /SFB559b/ Sonderforschungsbereich 559: Abschlussbericht des Sonderforschungsbereichs 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“. Dortmund, 2008
- /TOTH09/ Toth, M.; Wagenitz, A.: Logistical Assistant Systems for Effective Supply Chain Planning. 20th National Conference of Australian Society for Operations Research & the 5th International Intelligent Logistics System Conference, Surfers Paradise Gold Coast, Australia, 27.-30.09.2009
- /WAGE07/ Wagenitz, A.: Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie. In: Wimmer, T. (Hrsg.); Bobel, T. (Hrsg.): Effizienz – Verantwortung – Erfolg. Kongressband zum 24. Internationalen Deutschen Logistik-Kongress in Berlin. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg, S. 242- 256, Oktober 2007
- /WARN95/ Warnecke, H.-J.: Aufbruch zum fraktalen Unternehmen. Springer-Verlag, Heidelberg, 1995
- /WENZ08/ Wenzel, S.; Bernhard, J.: Definition und Modellierung von Systemlasten für die Simulation logistischer Systeme. In: Nyhuis, P.: Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin/Heidelberg, 2008, S. 487-509
- /WILD88/ Wildemann, H.: Die modulare Fabrik – Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. München, 1988
- /WINZ97/ Winz, G.; Quint, M.: Prozesskettenmanagement – Leitfaden für die Praxis. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1997

Anschrift des ersten Autors:

Dr.-Ing. Stephan Keßler
Technische Universität Dortmund, Fakultät Maschinenbau
Lehrstuhl für Fabrikorganisation
Leonhard-Euler-Str. 5
D – 44227 Dortmund
kessler@lfo.tu-dortmund.de
www.lfo.info