

„Logistics by Design“ – ein Ansatz für zukunftsfähige Intralogistik

Serviceorientierte Architektur als

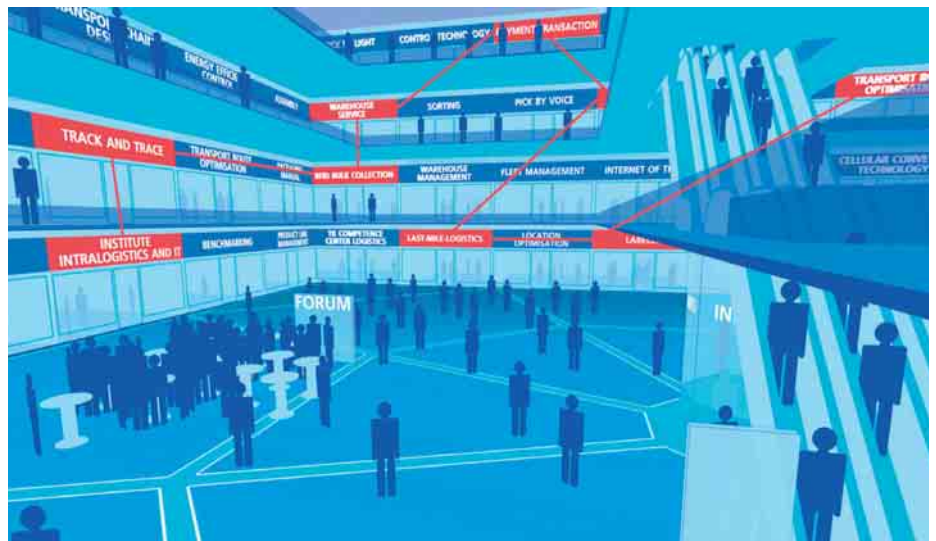
Ein neues Maß für Flexibilität in der Logistik, wie es Analysen für die künftige Aufgabenbewältigung eindeutig vorzeichnen, ist die theoretische Basis für das Projekt „Logistics by Design“. Die serviceorientierte Architektur steht im Mittelpunkt. Statt atomarer Prozesskettenelemente werden vergleichbar kleinteilige atomare Services bestimmt und lose untereinander gekoppelt. Die vorgespiegelte Sicherheit eines vorausdenkenden Supply-Chain-Managements wird folglich durch die hohe Flexibilität von „Logistics by Design“ ersetzt. Die Informationen für Abrufe und Parametrierung speichert das logistische Objekt. Die in Verbindung mit der RFID-Technologie als „Internet der Dinge“ bezeichnete Steuerungsphilosophie findet hier ihre logische Fortsetzung. Die künftige Entwicklung deutet in Richtung kleinskaliger Wirkelemente und Fahrzeuge, die sich autonom und interaktiv in den Distributionsystemen der Zukunft bewegen.

■ Michael ten Hompel

Die Welt ist nicht deterministisch, darauf verwies die Physik in ihrer ersten revolutionären Phase Anfang des 20. Jahrhunderts. Zwar kommt niemand auf die Idee, diese Erkenntnisse als Ganzes auf die Welt des Supply-Chain-Managements und die Logistik zu übertragen. Gleichwohl finden sich einige Analogien, die deutliche Hinweise dafür liefern, dass sich das Modell der Prozessketten ähnlich radikal ändern muss wie seinerzeit das Modell der Materie. Denn wenn es Zufälle und Unvorhersehbares gibt, muss eine zukunftsfähige Intralogistik das starre System der Prozessketten aufgeben, und zwar zugunsten eines flexiblen, ereignisoffenen Ansatzes, der nicht alles berechnet, aber auf alles zumindest angemessen reagieren kann.

Mit dem Zufall leben – serviceorientiertes Design in der Logistik

In einer weiteren Analyse – verglichen mit den Ergebnissen der Physik – könnte von einer prinzipiellen „Unschärfe“ in der Logistik gesprochen werden. Diese Eigenschaft findet in der Anwendung des klassischen Supply-Chain-Managements wenig Beachtung. Zu intuitiv ist der stete Wunsch nach Vorbestimmtheit, nach Harmonisierung der Abläufe und Standardisierung



1 Vision eines serviceorientierten Designs logistischer Systeme

der Prozesse, der immer wieder zu dem Versuch führt, das Unvorhersagbare vorherzusagen.

Eine zielgerichtete Steuerung – nicht nur logistischer Systeme – erfordert die Nutzung von Erfahrungswissen zur Verbesserung aktueller und zukünftiger Prozesse. Die Vereinheitlichung und Standardisierung in der Logistik ist der Versuch, zukünftige Ereignisse vorherzusagen, um bei deren Eintreffen mit standardisierten Verhaltensmustern zu reagieren. Damit setzt eine sinnvolle Standardisierung eine vorherzusagbare Zukunft voraus. In der Logistik führte dieses Paradoxon zur Einführung heuristischer Formalismen, deren (Allgemein-)Gültigkeit angenommen, aber niemals erreicht wird.

Zunächst basiert „Logistics by Design“ auf einer serviceorientierten Architektur. Anstelle atomarer Prozesskettenelemente werden ebenso kleinteilige, atomare Services bestimmt, die im Gegensatz zu einer relativ festgefügteten Prozesskette nur lose untereinander gekoppelt sind. Da die Reihenfolge des Aufrufs nicht vorbestimmt ist, kann eine große Menge unterschiedlicher Prozesse bzw. „Serviceketten“ abgebildet werden, ohne die einzelnen Services selbst zu ändern. Die Präjudizierung des klassischen Prozessketten-Managements weicht einer Wahrscheinlichkeit der Zielerfüllung in einem gegebenen Zeitrahmen – mit anderen Worten: es wird die vorgespiegelte Sicherheit eines alles vorausdenkenden Supply-Chain-Managements durch die hohe Flexibilität von „Logistics by Design“ ersetzt. Diese Entwicklung wird durch die Erkenntnis getragen, dass es in Zukunft wesentlich wichtiger sein wird, die Flexibilität logistischer Systeme sicherzustellen, als ein Optimum für eine dezidierte Konstellation zu be-

stimmen, die niemals exakt so eintreffen wird, wie sie berechnet wurde.

Atomare Services lassen sich, ähnlich wie Prozesskettenelemente, in ihrer Funktion standardisieren. Die Reihenfolge ihres Aufrufs innerhalb eines begrenzten Systems ist jedoch nicht mehr vorgegeben und im Wesentlichen durch die aktuelle Anordnung physischer Komponenten (Topologie) bestimmt. Diese Topologie kann den wechselnden Bedarfen flexibel angepasst werden, ohne die Services ändern zu müssen. So kann z. B. das Layout eines intralogistischen Materialflusssystems während der Laufzeit geändert werden (Bild 1).

Da die Reihenfolge des Aufrufs der Services innerhalb eines Anwendungsbereichs (Domäne) nicht vorherzusagbar ist, entsteht die Herausforderung, allgemeingültige Schnittstellen zu implementieren, deren Anzahl und Komplexität mit der Anzahl der Services überproportional steigen wird. Eine Möglichkeit, diese Schnittstellen zu überbrücken, liegt in dem Grundgedanken, alle Informationen, die zum Aufruf und zur Parametrierung, im echtzeitnahen Bereich benötigt werden, unmittelbar am Gut bzw. im logistischen Objekt zu speichern. Diese in Verbindung mit RFID als „Internet der Dinge“ bezeichnete Steuerungsphilosophie findet so ihre logische Fortsetzung [1].

Die Implementierung serviceorientierter Architekturen wurde in allen führenden ERP-Systemen vollzogen. Für die Logistik, die viel mehr als die Produktion in kurzen Zeiträumen auf neue Anforderungen reagieren muss, ist es eine Frage sine qua non geworden, sich von den Fesseln eines hierarchisch vorbestimmten Supply-Chain-Managements zu befreien. Es ist absehbar, dass dies auch Auswirkungen auf die physische Logistik haben wird.

Grundlage

Herausforderung Echtzeit

Die physische Seite der innerbetrieblichen Logistik einschließlich der verbindenden Transporttechnik und Informationstechnik wird seit dem Jahr 2003 unter dem Begriff Intralogistik subsumiert. Sie umfasst vor allem auch jenen Bereich, der die echtzeitnahe Steuerung und Durchführung jedweder logistischer Operation ausführt. Der Begriff Echtzeit setzt wiederum in seiner ursprünglichen, stringenten Interpretation die Reaktion eines Systems auf ein äußeres Ereignis (Event) in vorbestimmbarer Zeit voraus.¹⁾ Hierdurch ist das Verhalten, zum Beispiel eines Förderers und seiner Steuerung, vollständig determinierbar. Die Steuerung selbst ist klassischerweise als SPS mit einem zyklisch ablaufenden Programm ausgeführt. Der Programmzyklus, addiert mit Signallaufzeiten und vorgegebenen Latenzzeiten, ergibt eine berechenbare Zeit, innerhalb derer das System auf ein Ereignis, zum Beispiel auf den Signalwechsel einer Lichtschranke, reagieren wird. Eine derartige Determinierbarkeit erscheint innerhalb der Steuerungstechnik zunächst unumgänglich und war viele Jahre ein unumstößliches Paradigma konventioneller Fördertechniksteuerung. Seit Mitte der 90er-Jahre haben jedoch zunehmend Betriebssysteme, Netzwerke und Internettechnologien Einzug gehalten, die nicht im eigentlichen Sinne echtzeitfähig sind. Klassische Vertreter dieser Gattung sind das auch im Internet verwendete Über-

tragungsprotokoll TCP/IP oder das Ethernet-Netzwerkprotokoll CSMA/CD. Obwohl keine Antwortzeiten garantiert werden können, finden sie Verwendung, da alle ankommenden Ereignisse schnell genug bearbeitet werden. In diesem Zusammenhang hat sich der Begriff „weiche“ Echtzeitanforderung etabliert. Untersuchungen wie das Projekt „Realtime Logistics“ (www.realtime-logistics.com) haben den Nachweis erbracht, dass sich die Prinzipien serviceorientierter Architekturen ebenso wie die RFID-Steuerung des „Internet der Dinge“ in diesem Sinne auf reale, intralogistische (Steuerungs-)Systeme anwenden lassen und weiche Echtzeit-Anforderungen erfüllen.

Auch mit einzelnen, passiven UHF-RFID-Tags ist es möglich, die notwendigen Informationsmengen bei üblichen Fördergeschwindigkeiten zu lesen und an Entscheidungsstellen (teilweise) neu zu beschreiben. Es zeichnet sich eine Größenordnung von lediglich 2-KByte-Informationen ab, die zur Steuerung, Parametrierung und für das innerbetriebliche Routing notwendig sind. Die dezentrale Auswertung und Steuerung auf Basis der Informationen, die im Tag des logistischen Objektes (Palette, Behälter usw.) gespeichert werden, geschieht – den Prinzipien einer serviceorientierten „Logistics by Design“ folgend – über ein Multiagentensystem²⁾, wobei die einzelnen Agenten innerhalb einer Holarchie instanziiert und über die RFID-Informationen parametrierbar werden. Konsequenz zu Ende gedacht, führt dies zur physischen Anwendung Künstlicher Intelligenz.

1) Definition nach [2]: Die Echtzeit-Verarbeitung (engl. realtime processing) ist die Verarbeitung schritthaltend mit dem angeschlossenen technischen Prozess. Echtzeit-Verarbeitung muss den Anforderungen bezüglich der Rechtzeitigkeit der Bearbeitung von Anforderungen und der Gleichzeitigkeit der Bearbeitung entsprechender Programme genügen. Um diesen vollständig zu entsprechen, sind spezielle Betriebssysteme erforderlich. Echtzeitfähigkeit setzt die Reaktion eines Systems auf ein äußeres Ereignis (Event) in vorbestimmbarer Zeit voraus.

2) Ein **Agent** ist ein Programm, das folgenden Kriterien gerecht wird (nach Jennings und Wooldridge [3]): **Autonomie**: Agenten operieren autonom, ohne Manipulation von außen; **Soziales Interagieren**: Agenten interagieren mit dem Anwender und mit anderen Agenten. Die Kommunikation geschieht auf einer semantischen Ebene über die Ausführung eines Befehlsvorrats hinaus; **Reaktivität**: Agenten nehmen ihre Umwelt wahr und reagieren rechtzeitig und angepasst auf Veränderungen; **Pro-aktives Handeln**: Agenten reagieren nicht nur auf die Umwelt, sondern sind auch in der Lage, zielgerichtet und initiativ zu agieren.

Intralogistik und Künstliche Intelligenz

Die Wissenschaft der Künstlichen Intelligenz ist ein Teilbereich der Informatik, dessen Wurzeln in den 1950er-Jahren liegen. Seither sind aus diesem Bereich viele Definitionen entstanden, die eine detaillierte Beschreibung dazu bereitstellen, welche Faktoren für Künstliche Intelligenz relevant sind. Diese Definitionen orientieren sich zum einen an der Nachbildung des menschlichen Verhaltens und zum anderen an einem idealisierten Konzept der Intelligenz, der Rationalität. Sie unterscheiden sich dabei in der Forderung einerseits nach Systemen, die wie Menschen bzw. rational denken, und andererseits nach Systemen, die sich wie Menschen bzw. rational verhalten.

Historisch gesehen, hat die Künstliche Intelligenz als Wissenschaftsdisziplin viele Stadien durchlaufen. Nach zögerlichen Anfängen ist sie seit Anfang der 1990er-Jahre mit erfolgreichen Anwendungen in der Wirtschaft vertreten. Zu dieser Zeit wurde

auch das Konzept der Agenten populär, das ganzheitlich intelligente Systeme und ihre Umgebung betrachtet. Mit dem Aufkommen des Internet wurde die Vernetzung solcher Systeme immer wichtiger, so dass auch Konzepte für Multiagentensysteme mit mannigfaltigen Wechselwirkungen zwischen einzelnen Agenten in den Mittelpunkt der Forschungsarbeit rückten. Diese haben in der Zwischenzeit in verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen unter Beweis gestellt, dass sie die Dynaxität (Dynamik, Flexibilität) aktueller technischer Systeme in besonderer Weise handhaben können.

Die Anwendung serviceorientierter Konzepte wie des „Internet der Dinge“ vor dem Hintergrund Künstlicher Intelligenz hat auch eine hochgradige Dezentralisierung von Entscheidungen zur Folge. Ein logistisches Objekt – in Verbindung mit dem korrespondierenden Agenten – soll selbst entscheiden können, wie es sich verhält. Das Verhalten sollte dabei von Rationalität bestimmt sein, es sollte Intelligenz zeigen. Das Konzept des „Internet der Dinge“ beschreibt also eigentlich die Verteilung von Intelligenz an die einzelnen Bestandteile eines logistischen Systems. Dabei handelt es sich nicht unbedingt um menschliche Intelligenz, sondern ganz allgemein um rationales Verhalten von Dingen, mit anderen Worten: um Künstliche Intelligenz.

Ein Objekt (auch Aware Object), das rationales Verhalten zeigt, ein eigenes Gedächtnis hat und autonom Entscheidungen trifft, wird in der Terminologie der Künstlichen Intelligenz als Agent bezeichnet. Ein Agent ist allgemein definiert als „... alles, was seine Umgebung über Sensoren wahrnehmen kann und in dieser Umgebung durch [Aktoren] handelt“ [4]. Diese Definition aus einem Standardwerk der Künstlichen Intelligenz deckt sich mit den Grundlagen der Materialflussautomatisierung. Hier ist es ein Automat, der



3 Gepäckförderanlagen im Vergleich:

- a) Förderer mit Schalen
- b) Gepäckbeaufschlagtes Förderband

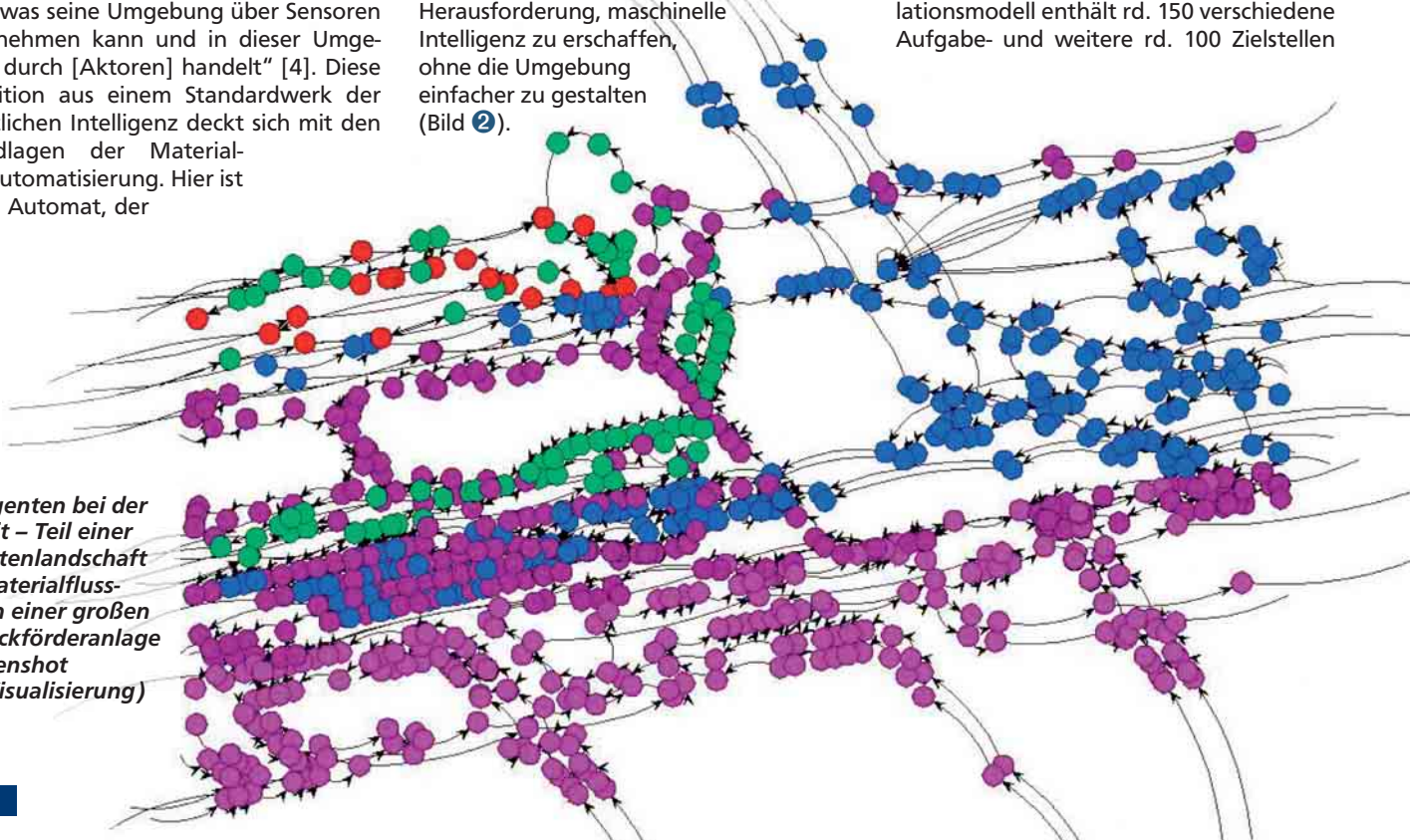
einen Prozesszustand über Sensoren wahrnehmen kann und der diesen Prozess durch Aktoren verändert [5]. Ein solcher Automat kann in manchen Zusammenhängen der Materialflusstechnik als ein Agent gesehen werden, der selbstständig innerhalb eines logistischen Systems handelt. Diese Ähnlichkeit ist nicht zufällig, denn die „Automatisierung umfasst die Gesamtheit aller Maßnahmen, durch die der selbstständige Betrieb eines technischen Systems [...] bewirkt wird“ [5]. Sie kann im Grunde als ein sehr pragmatischer Teilbereich der Künstlichen Intelligenz gesehen werden, da die beschriebenen technischen Systeme rational und ohne menschliche Hilfe handeln können müssen.

Der Unterschied zwischen der Wissenschaftsdisziplin der Künstlichen Intelligenz und der klassischen Materialflussautomatisierung liegt in der Herangehensweise. Das Ziel der Künstlichen Intelligenz ist es, intelligente Agenten für jegliche Arten von möglicherweise widrigen Umgebungen zu schaffen. Dabei entsteht die Herausforderung, maschinelle Intelligenz zu erschaffen, ohne die Umgebung einfacher zu gestalten (Bild 2).

Das Ziel intralogistischer Automatisierung ist es hingegen, ein funktionstüchtiges Gesamtsystem zu erschaffen. Wenn ein Agent nicht intelligent genug ist, dann wird die Umgebung so vereinfacht, dass der Agent dennoch erfolgreich arbeiten kann. Dies führt wiederum zur Vereinheitlichung der Agenten und zur Standardisierung der (serviceorientierten) Umgebung, innerhalb derer die Agenten „leben“ (Bild 3) [6].

Neben zahlreichen Arbeiten zur Selbststeuerung [7] logistischer Netze und Systeme zeigen Simulationen, die diesem Prinzip folgen, dass sich diese Form Künstlicher Intelligenz zur echtzeitnahen Steuerung intralogistischer Systeme eignet. Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts „Internet der Dinge“ wurde durch umfangreiche Simulationen nachgewiesen, dass die echtzeitnahe Steuerung auf Basis vereinheitlichter Umgebungen und eines Multiagentensystems möglich ist. Betrachtet wurde die Gepäckförderanlage eines internationalen Flughafens. Das Simulationsmodell enthält rd. 150 verschiedene Aufgabe- und weitere rd. 100 Zielstellen

2 Agenten bei der Arbeit – Teil einer Agentenlandschaft im Materialflussgraph einer großen Gepäckförderanlage (Screenshot der Visualisierung)





4 Zellulare Transportsysteme – Intralogistik der Zukunft

(Bilder: IML)

für die Gepäckstücke. Insgesamt sind mehr als 2000 Agenten erforderlich, die an den einzelnen Entscheidungsstellen eingesetzt (instanziiert) werden, um die 18000 Fördererentelemente des Systems zu steuern. Alle Agenten werden automatisch instanziiert. Die Codelänge beträgt weniger als 400 Zeilen. Es existiert keine zentrale Datenbank oder Entscheidungsinstanz. Die Topologie wird automatisch aus dem Materialflussgraphen analysiert. Das individuelle Routing wird über eine Adaption des Dynamic Source Routing berechnet, die das (Agenten-)Netzwerk für jedes Gepäckstück mit Routinganfragen flutet. Das Ergebnis dieser Simulation zeigt, dass es möglich ist, komplexe und dynamische Anlagen mit Multiagentensystemen in serviceorientierten Umgebungen zu steuern. Darüber hinaus und für die Zukunft der Intralogistik wahrscheinlich noch entscheidender gelang der folgende Nachweis: Intralogistische Steuerungen können automatisch aus dem Materialflussgraphen instanziiert werden (www.internet-of-things.com). Mit anderen Worten: **Die Programmierung einer intralogistischen Steuerung kann automatisch aus dem Layout der Materialflusstechnik generiert und gestartet werden.**

Autonomie im Materialfluss – zellulare Transportsysteme

Die Grundprinzipien des „Internet der Dinge“ und die daraus resultierenden neuen Formen agentenbasierter Steuerung intralogistischer Systeme sind das Mittel der Wahl zur Beherrschung steigender Dynamizität und Komplexität. Alles deutet in Richtung standardisierter, kleinskaliger, repetitiver Wirkelemente und Fahrzeuge, die sich autonom und interak-

tiv in den Distributionssystemen der Zukunft bewegen werden. Dabei spielt es zunächst keine Rolle, ob es sich um stetige Fördererentechnik handelt oder um vorgegebene Linienführungen, wie schienengeführte Fahrzeuge, die „intelligente“ logistische Objekte tragen und in der Lage sind, selbstständig einer geänderten Topologie zu folgen. Zahlreiche Entwicklungen, wie Multishuttle (Dematic), HDS (Bewen und Vanderlande Industries) oder OSR (Knapp), zeigen, dass auch auf der physischen Materialflussebene die Dezentralisierung und autonome Interaktion Einzug hält. Schlussendlich ist der Gedanke naheliegend, dass die logistischen Objekte, die ihre Ziele und Missionen auf ihren RFID-Tags tragen, auch selbstständig zum Ziel fahren. Auch auf der physischen Ebene ist das Internet einmal mehr Vorbild der Entwicklung. Die organischen Wachstumsmöglichkeiten des Internet und einige Analogien zur Anwendungsdomäne zellulärer Automaten führten zur Bezeichnung „zellulare Transportsysteme“. Wird deren Definition betrachtet, so zeigt sich deutlich, wie kongruent sich die Gedanken zum serviceorientierten Design in der physischen Umsetzung widerspiegeln:

► Zellulare Transportsysteme ermöglichen intelligenten logistischen Objekten, wie „Smart Items“ oder „Aware Objects“, sich innerhalb ihrer Domäne zu bewegen. Hierzu fordern sie bzw. die durch sie instanziierten Agenten die Dienste (Web Services) an, die zur Überbrückung einer (Teil-)Strecke des Transportnetzwerks dienen. Die hierzu notwendige Ressourcenallokation geschieht ebenfalls durch agentenbasierte Verhandlung.

► Zellulare Transportsysteme sind „topologieflexibel“. Die Anordnung der transporttechnischen Entitäten im Raum (das fördererentechnische Layout) kann jederzeit geändert werden. Werden den (bewegten) logistischen Objekten „Missionen“ und Strategien bzw. entsprechende Koeffizienten implantiert, so verfolgen deren Agenten in der Kommunikation mit der Umgebung und untereinander ein Ziel. Die letztlich gewünschte Emergenz im Sinne einer ressourcenschonenden Zielerfüllung des Gesamtsystems ergibt sich durch Interaktion zwischen den intelligenten logistischen Objekten und der durch die transporttechnischen Entitäten gebildeten (serviceorientierten) Umgebung (Bild 4).

Die Zukunft der Intralogistik liegt in der Anerkennung einer nicht bis ins letzte Detail determinierbaren Welt. Das unabdingbare Paradigma „richtige Ware zur richtigen Zeit“ wird der Maxime „beste Produktivität bei maximaler Flexibilität und Zielerreichung“ weichen. Die deterministische Welt der stetigen Förder-, Sortier- und Verteilertechnik wird von Gruppen intelligenter, autonom interagierender Fahrzeuge abgelöst. Mit anderen Worten: Die Intralogistik der Zukunft wird „den Dingen Beine machen“ – in einer nicht deterministischen Welt. □

Literatur

- [1] Bullinger, H.-J.; ten Hompel, M.: Internet der Dinge. Berlin: Springer-Verlag 2007.
- [2] ten Hompel, M.; Heidenblut, V.: Taschenlexikon Logistik. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2007.
- [3] Jennings, N. R.; Wooldridge, M. J. (Hrsg.): Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2002.
- [4] Russel, S.; Norvig, P.: Künstliche Intelligenz – Ein moderner Ansatz. München: Pearson Education Deutschland Verlag 2004.
- [5] ten Hompel, M.; Schmidt, T.: Warehouse Management. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2007.
- [6] ten Hompel, M., u. a.: Künstliche Intelligenz im Internet der Dinge. In: Jahrbuch Logistik 2008. Korschbroich: free beratung GmbH 2008.
- [7] Scholz-Reiter, B.; Schulz, S.: Selbststeuerung in der Logistik. In: Jahrbuch Logistik 2007. Korschbroich: free beratung GmbH 2007.

Prof. Dr. Michael ten Hompel
ist Inhaber des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen an der TU Dortmund und geschäftsführender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik (IML) in Dortmund

