

CHRISTOPH NEUBERT

„THE END OF THE LINE“
ZU THEORIE UND GESCHICHTE DER SELBSTSTEUERUNG
IN DER MODERNEN LOGISTIK

Im letzten Kapitel von *Understanding Media* analysiert Marshall McLuhan die Entstehung des ‚elektrischen Zeitalters‘ als Epoche der industriellen Automatisierung. Hatte Adam Smith die Figur der ‚unsichtbaren Hand‘ aufgegriffen, um ökonomische Regulierungsprozesse jenseits staatlicher Interventionen zu beschreiben, geht McLuhan von einer technisch-medial synchronisierten Weltwirtschaft aus, in der die Prozesse der Produktion, Distribution und Konsumtion miteinander verschmelzen.¹ McLuhans Intuition, dass Automatismen der Technik, des Marktes und der (Massen-)Kommunikation in einem engen Austauschverhältnis stehen, legt es nahe, der Idee der ‚unsichtbaren Hände‘ auf einem Wissensgebiet nachzugehen, das an der Schnittstelle zwischen Ökonomie, Technologie und Medientheorie operiert – dem der Logistik.

Hervorgegangen aus dem militärischen Versorgungs- und dem wirtschaftlichen Gütertransportwesen, lässt sich die Logistik als universale Theorie der Zirkulation von Material, Personen, Geld, Energie und Information charakterisieren. Eine solch umfassende Definition klingt zunächst befremdlich: Dem Alltagsverständnis nach haben es Transport und Logistik mit der Bewegung von Personen und Waren zu tun, während die Übertragung von Information Sache der Nachrichtentechniken ist; Körper und Dinge auf der einen, Zeichen auf der anderen Seite. In der theoretischen Abstraktion ist das Transportwesen entsprechend Gegenstand der Ökonomie, während Nachrichtensysteme unter die Zuständigkeit von Medien- und Kommunikationstheorien fallen.² Nun sind diese Trennungen einigermaßen künstlich und historisch relativ jung. Bis ins 19. Jahrhundert bezeichnet der deutsche Begriff „Verkehr“ wirtschaftliche, gesellschaftliche, physikalische und symbolische Austauschprozesse gleicherma-

¹ Vgl. Marshall McLuhan, *Die magischen Kanäle. Understanding Media*, 2. erw. Aufl., Basel, 1995, S. 520-540. [Engl. OA 1964.]

² Vgl. zu dieser Ausdifferenzierungsthese, die für die aktuelle Medienforschung nach wie vor konstitutiv ist, ebd., S. 141-166, sowie Friedrich A. Kittler, „Geschichte der Kommunikationsmedien“, in: Jörg Huber/Alois Martin Müller (Hg.), *Raum und Verfahren*, Basel, Frankfurt/M., 1993, S. 169-188: 170-172; zur Geschichte der Logistiktheorie siehe Gabriele Schabacher, „Raum-Zeit-Regime. Logistikgeschichte als Wissenszirkulation zwischen Medien, Verkehr und Ökonomie“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 8 (2008): *Agenten und Agenturen*, S. 135-148.

ßen.³ Und noch Harold Innis geht von einem Begriff von *communications* aus, der Handelsrouten und Finanzströme, politische Organisationen und geologische Formationen ebenso in den Blick zu nehmen erlaubt wie Pyramiden und Pferdezucht, Biberkunde und Papyrus.⁴

Gerade um sich dem Zusammenhang zwischen Logistik und Automatismen zu nähern, scheint es deshalb geboten, hinter die epistemologischen und ontologischen Weichenstellungen zurückzugehen, die mit der Unterscheidung von Verkehrs- und Nachrichtensystemen gegeben sind. Einen ganz aktuellen Anlass hierzu bieten Diskussionen um zukünftige Kommunikationsformen der Weltgesellschaft, die in der Vision eines „Internets der Dinge“ kulminieren. *The Internet of Things* heißt ein Report, den Strategiespezialisten der *International Telecommunication Union (ITU)*⁵ 2005 auf dem „Weltgipfel der Informationsgesellschaft“ präsentierten.⁶ Ging es auf dem Gipfel allgemein um das Anliegen der Vereinten Nationen, die Vernetzung ‚der Menschheit‘ voranzutreiben, geht das besagte Papier einen Schritt weiter:

[T]he report takes a look at the next step in ‚always on‘ communications, in which new technologies like radio-frequency identification (RFID) and smart computing promise a world of networked and interconnected devices. Everything from tyres to toothbrushes might soon be in communications range, heralding the dawn of a new era; one in which today’s Internet (of data and people) gives way to tomorrow’s Internet of Things.⁷

Hatte das Social Web bereits eine neue Kopplung zwischen Personen und Informationen hergestellt, ist der Begriff der ‚always on‘ *communications* hier offenbar auch wieder hinreichend weit, um die Dinge willkommen zu heißen. Aber wie erklärt sich das paradoxe Interesse an einer Kommunikation mit Zahnbürsten oder Reifen? Seit der Erfindung der Telegraphie hatte sich die Informations- und Kommunikationstechnologie zunehmend von den Beschränkungen der physischen Welt emanzipiert, und nun scheint sie sich diese umgekehrt einverleiben zu wollen. Nicht zufällig ist die *ITU* die historische Nachfolgerin des 1865 gegründeten Internationalen Telegraphenvereins, dessen

³ Vgl. K. Chr. Köhnke, „Verkehr“, in: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 11, Darmstadt, 2001, Sp. 703-705; Jacob und Wilhelm Grimm, „Verkehr“, in: dies., *Deutsches Wörterbuch*, 33 Bände, Leipzig, 1854-1960, Bd. 25, Sp. 625 ff.; Christoph Neubert, „Verkehr“, in: Tina Bartz /Ludwig Jäger/Markus Krause/Erika Linz (Hg.), *Signaturen der Medien. Ein Handbuch zur kulturwissenschaftlichen Medientheorie*, München, 2010 (im Erscheinen).

⁴ Vgl. Harold A. Innis, *Empire and Communications*, Oxford, 1950, aber auch bereits die früheren Arbeiten zur kanadischen Wirtschaftsgeschichte in ders., *Staples, Markets, and Cultural Change. Selected Essays*, hg. v. Daniel Drache, Montreal & Kingston, London u. Buffalo, 1995.

⁵ Vgl. <http://www.itu.int>, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

⁶ Vgl. zum „World Summit on the Information Society (WSIS)“ 2005 die Informationen unter: <http://www.itu.int/wsis/tunis/index.html>, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

⁷ International Telecommunication Union (ITU), *The Internet of Things. Executive Summary*, ITU Internet Reports, Genf, 2005, S. 1.

Vernetzungsauftrag sie bis heute fortsetzt.⁸ Der Telegraph des Industriezeitalters und die digitalen Netze des Informationszeitalters gehorchen einer medialen Ökonomie, die auf Expansion und den Anschluss aller abzielt. Das Internet beerbt das Telos der „Restlosigkeit“ (Krajewski), das den sprichwörtlichen Weltverkehr des 19. Jahrhunderts geprägt hatte.⁹ Dabei geht es heute nicht nur um Frequenz und Reichweite, sondern vor allem um die Integrationstiefe von Kommunikation: Ubiquitous Computing, Sensor-Netzwerke und Ambient Intelligence führen die Mission des Anschlusses fort, auch wenn die ontologischen Register gewechselt haben und von der Makro- zur Mikrostruktur übergegangen wird.

Im Folgenden wird es darum gehen, diese Kommunikationsutopien (und -dystopien) auf die ökonomischen Wurzeln des Internets der Dinge zurückzubeziehen, insbesondere auf seinen Zusammenhang mit der Logistik. Das Vorgehen umfasst vier Schritte: Zunächst wird ein historischer und systematischer Blick auf die Grundfragen der modernen Logistik am Beispiel von Automobilindustrie und Supermarkt geworfen (1.). Anschließend wird ein am MIT entwickeltes Konzept vernetzter Logistik auf der Basis des Internet vorgestellt (2.) und seine Weiterentwicklung im Rahmen jüngster Ansätze zu agentenbasierten logistischen Systemen verfolgt (3.). Um die Implikationen dieser Modelle und Technologien für eine Bestimmung der Figur der ‚unsichtbaren Hände‘ und der Rolle von Automatismen in Medien-, Technik- und Diskursgeschichte fruchtbar zu machen, werden schließlich zentrale Konzepte von Emergenz, Selbststeuerung und Selbstorganisation auf die Perspektiven der Kybernetik (zweiter Ordnung) und der Akteur-Netzwerk-Theorie bezogen (4.).

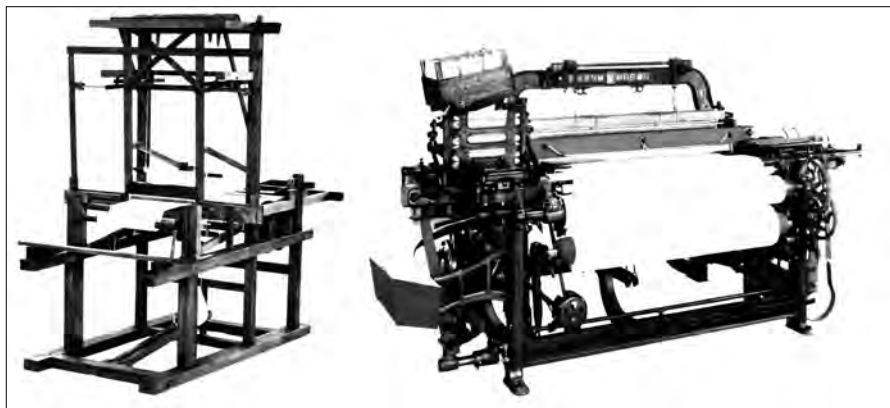
1. Zirkulation: Toyota und Piggly Wiggly

Die Genese der Trennung zwischen Verkehrs- und Nachrichtensystemen wird klassischer Weise entlang den ‚Erfindungen‘ und Entwicklungen der Elektrizität oder der Telegraphie erzählt. Wenn es dagegen um die logistische Koordination von Material und Information geht, liegt es wesentlich näher, sich einer anderen und viel älteren Technologie zuzuwenden, nämlich dem Webstuhl. Bekanntlich ist die Automatisierung von Webstühlen kanonischer Bestandteil der Mediengeschichte des Computers. Der Weg führt von der Automatenbegeisterung des 17. und 18. Jahrhunderts über die Konstruktionen Vaucansons

⁸ Siehe die Selbstbeschreibungen unter <http://www.itu.int> sowie zur Initiative „Connect the World“ <http://www.itu.int/ITU-D/connect/index.html>, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

⁹ Vgl. Michael Geistbeck, *Der Weltverkehr. Seeschifffahrt und Eisenbahnen, Post und Telegraphie in ihrer Entwicklung dargestellt*, Freiburg/Brsg., 1886; zweite, neu bearbeitete Aufl., 1895. Wie Markus Krajewski zeigt, basieren die Globalisierungsschübe dieser Zeit in hohem Maße auf der Vereinheitlichung technisch-physikalischer Normen und Standards, vgl. ders., *Restlosigkeit. Weltprojekte um 1900*, Frankfurt/M., 2006.

zur Lochkartenprogrammierung Jacquards und Holleriths bis hin zu IBM.¹⁰ Daneben gibt es eine zweite, weniger bekannte Linie, die hier verfolgt werden soll. Diese Linie führt nicht zum Computer, sondern zum Automobil, und sie beginnt nicht in Europa, sondern in Japan.¹¹



1 – Toyoda Wooden Hand Loom (1891) und Type-G Automatic Loom (1924)

In den 1890er Jahren beginnt der Japaner Sakichi Toyoda, sich mit der technischen Verfeinerung und Automatisierung von Holzwebstühlen zu beschäftigen. Unter den von Sakichi laufend verbesserten Modellen befindet sich eine besonders aufwendige Entwicklung, der *Type-G Power Loom* (vgl. Abb. 1), der schließlich 1924 zur Serienreife gelangt und maßgeblich für die wenig später erfolgende Gründung der *Toyoda Automatic Loom Works* unter der Leitung von Sakichis Sohn Kiichiro ist.¹² Der G-Typ zeichnete sich durch zahlreiche technische Innovationen aus und brachte es allein auf zwei Dutzend Patente. Von besonderer Bedeutung war eine ebenso einfache wie effektvolle Neuerung. Anders als herkömmliche Webstühle verfügte der G-Typ über einen automatischen Abschaltmechanismus, der ansprach, sobald einer der in Bearbeitung befindlichen Fäden riss, und den Webstuhl dann umgehend stoppte. Die personalintensive Überwachung der Maschinen und die Produktion von Ausschuss konnten somit wirkungsvoll reduziert werden. Die Abschaltvorrichtung, die es dem Webstuhl erlaubte, auf seine eigenen Zustände zu reagieren,

¹⁰ Vgl. etwa Pierre Lévy, „Die Erfindung des Computers“, in: Michel Serres (Hg.), *Elemente einer Geschichte der Wissenschaften*, 2. Aufl., Frankfurt/M., 2002, S. 905-944.

¹¹ Vgl. zum Folgenden auch Christoph Neubert, „Onto-Logistik. Kommunikation und Steuerung im Internet der Dinge“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 8 (2008): *Agenten und Agenturen*, S. 119-133.

¹² Vgl. hierzu und zum Folgenden William Maas/Andrew Robertson, „From Textiles to Automobiles. Mechanical and Organizational Innovation in the Toyoda Enterprises, 1895-1933“, in: *Business and Economic History* Band 25, 2 (1996), S. 1-37; Art Smalley, *A Brief History of Set-Up Reduction. How the Work of Many People Improved Modern Manufacturing*, Art of Lean, Inc., o.J.

repräsentiert im Prinzip einen Regelkreis. Der G-Typ lässt sich somit nicht nur als ein automatisches, sondern als ein kybernetisches System betrachten, das über rudimentäre Funktionen der Selbststeuerung verfügte. Für diese Verfahrenslogik wurde innerhalb der japanischen Unternehmensphilosophie der Terminus *Jidoka* eingeführt, der sich als ‚autonome Automation‘ bzw. ‚Autonomie‘ übersetzen lässt. Das Ideal ist die Implementierung quasi humaner Intelligenz in automatisierte Prozesse.¹³

In Europa wird man schnell auf den G-Typ aufmerksam. Einer der größten Webstuhlproduzenten, die britische Firma *Platt Brothers*, investiert hohe Summen in die Patentrechte, so dass Kiichiro in die Lage versetzt wird, ein neues Projekt in Angriff zu nehmen: die Entwicklung von Automobilen. Aus dieser Beschäftigung geht die 1937 als Unternehmenszweig gegründete *Toyota Motor Corporation* hervor¹⁴ – eben jener Konzern, der heute als weltgrößter Automobilhersteller neben *General Motors* firmiert. Bereits in seiner Frühphase gerät das Unternehmen jedoch wie die gesamte japanische Ökonomie in Folge der alliierten Embargopolitik im Pazifikkrieg und der militärischen Kapitulation Japans 1945 in eine schwere Krise. Als Reaktion wird ein systematisches Konzept der Unternehmensorganisation entwickelt, das nach jahrzehntelanger Perfektionierung schließlich als das *Toyota Production System (TPS)* auch in die westlichen Theorien der betriebswirtschaftlichen Logistik eingeht.

Der maßgebliche Begründer dieses Systems ist Taiichi Ohno, der in den 1940er Jahren mehrfach in die USA reist, um die Produktionsverfahren der amerikanischen Automobilindustrie zu studieren. Ohno besuchte dabei auch die Werke Fords, dessen Erfolg bekanntlich auf dem Prinzip der Massenfertigung beruhte. Damit einher gingen hohe Losgrößen und Stückzahlen, eine zentrale Steuerung der Arbeitsprozesse, große End- und Zwischenlager, eine hohe Produktstandardisierung und nicht zuletzt: inhumane Arbeitsbedingungen. Keines dieser Prinzipien ließ sich aber auf die ökonomischen und sozialen Verhältnisse Japans übertragen¹⁵, dessen Automobilindustrie und Gesamtwirtschaft nachhaltig unter den verheerenden Folgen des Pazifikkriegs litten. Anstatt wenige standardisierte Autotypen in massenhaften Stückzahlen zu produzieren und dem Markt zu oktroyieren, musste hier eine Vielzahl verschiedener Produktvarianten in je geringen Stückzahlen nach Kundenwünschen hergestellt werden. Es galt also, nicht angebots-, sondern bedarfsorientiert vorzugehen. Hinzu kam, dass hohe Rohstoff- und Bodenpreise die Anlage umfangreicher Material-, Zwischen- und Endlager ausschlossen. Die Fertigung musste also insgesamt ‚schlank‘ gehalten werden, eine praktische Notwendigkeit, die später zum System der *Lean Production* ausgearbeitet wurde. Diese Theorie, die am sparsamen und zeiteffektiven Einsatz von Produktionsfaktoren

¹³ Vgl. Taiichi Ohno, *Das Toyota-Produktionssystem*, Frankfurt/M., New York, 1993, S. 32-34.

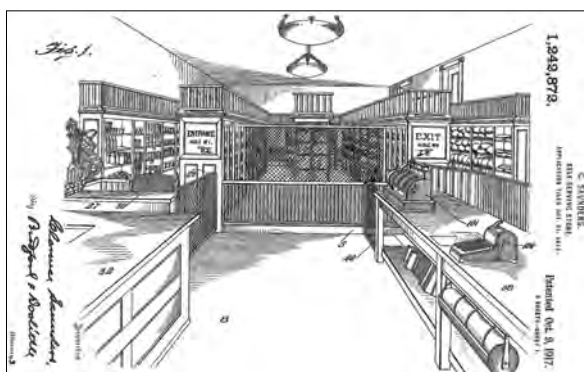
¹⁴ Vgl. Maas/Robertson (1996), *From Textiles to Automobiles*; Kazuo Wada, *Kiichiro Toyoda and the Birth of the Japanese Automobile Industry. Reconsideration of Toyoda-Platt Agreement*, The Graduate School of Economics, University of Tokyo, o.J.

¹⁵ Vgl. zum Folgenden Ohno (1993), *Das Toyota-Produktionssystem*, S. 107 ff. und S. 121 ff.

orientiert ist, basiert im Wesentlichen auf einem Prinzip der Zirkulation: Ziel ist es, den Fertigungsprozess als einen kontinuierlichen Fluss zu gestalten, in dem alle Teile zu jedem Zeitpunkt in Bewegung sind. Wesentlich hierfür ist wiederum eine zeitkritische Koordination aller Abläufe nach dem Prinzip *Just-in-Time (JIT)*: Jedes Teil muss zur rechten Zeit in der benötigten Menge dort sein, wo es gebraucht wird, so dass sich der Teilefluss einem Nulllagerbestand nähert.¹⁶ Was Taiichi Ohnos Auslandsstudien betrifft, fand er das Vorbild dieser Ökonomie entsprechend nicht im Fließband Fords, sondern an einem unerwarteten Ort – im amerikanischen Supermarkt.

Die Geschichte der Selbststeuerung verbindet sich hier nicht zufällig mit der Geschichte der Selbstbedienung, was Anlass zu einem kurzen Rückblick gibt: Am 9. Oktober 1917 hatte Clarence Saunders aus Memphis, Tennessee, das Patent für seine Erfindung des „Self Serving Store“ erhalten (vgl. Abb. 2). Gegenstand der Erfindung ist, wie es in der Patentschrift heißt, eine Ladeneinrichtung, die es dem Kunden ermöglicht bzw. auferlegt, seine Waren selbst zusammenzustellen und eigenhändig zum Check-out zu befördern, wo sie zentral berechnet, verpackt und bezahlt werden, d. h.

to provide a store equipment by which the customer will be enabled to serve himself [...], and after selecting the list of goods desired, will be required to pass a checking and paying station at which the goods selected may be billed, packed, and settled for before retiring from the store, thus relieving the store of a large proportion of the usual incidental expenses, or overhead charges, required to operate it [...].¹⁷



2 – Clarence Saunders, Self Serving Store (1917)

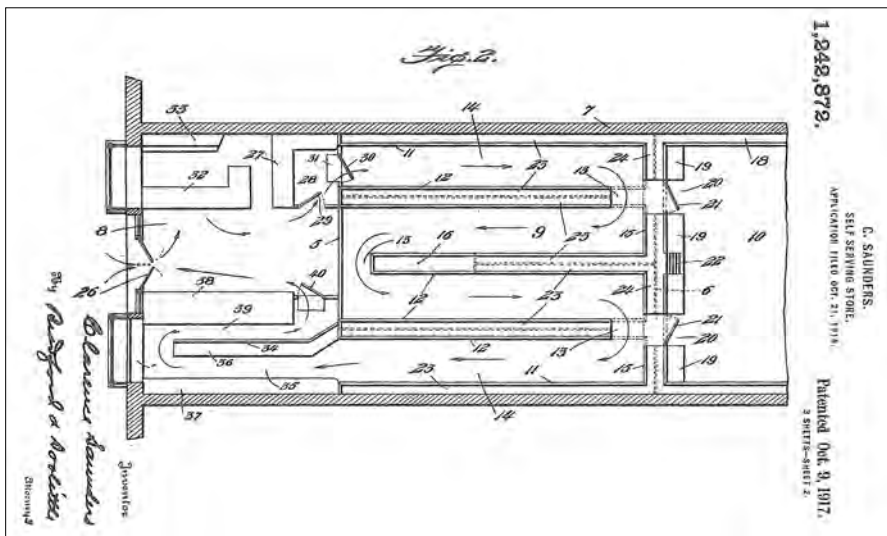
Eine wichtige Rolle spielen dabei ökonomische Überlegungen zur Flächennutzung – „to utilize all the available floor space of the room to the best advan-

¹⁶ Vgl. ebd., S. 30.

¹⁷ Clarence Saunders, „Self-Serving Store“, United States Patent Office, Nr. 1.242.872, 09.10.1917, S. 1.

tage“ – und Personaleinsparung – „to dispense with the employment of many clerks who are usually engaged to wait upon the customers“¹⁸. Richtungweisend ist an Saunders Idee aber etwas anderes, nämlich die systematische Entkopplung des Einkaufs von sozialer Interaktion zwischen Käufer und Verkäufer. Bei Saunders ‚Self-Serving Store‘ ermöglichen der Wegfall der Bedienung und die ausgeklügelten, detailliert beschriebenen baulichen Maßnahmen der Trennung zwischen Eingangs-, Verkaufs-, Kassen- und Packbereich eine erhebliche Effizienz- und Durchsatzsteigerung des Distributionssystems (vgl. Abb. 3). Ab jetzt können möglichst viele Käufer gleichzeitig durch das abgeteilte Labyrinth des Verkaufsraums zirkulieren und sich ‚autonom‘ mit Waren versorgen, ohne dass es zu Störungen in der logistischen Kette kommt:

One purpose of the invention is to provide an arrangement for distributing the merchandise of a store in such a manner that the goods may be selected and taken by the customers themselves while making a circuitous path through the store; and whereby a large number of customers may be accommodated at the same time without confusion, and in an expeditious manner.¹⁹



3 – Clarence Saunders, Self Serving Store (1917)

Saunders eröffnet seinen ersten Selbstbedienungsladen für Lebensmittel 1916 in Memphis und tauft ihn – die Ursachen hierfür wurden nie abschließend geklärt – *Piggly Wiggly*. Die zeitgleich gegründete Ladenkette, die unter diesem Namen noch heute existiert²⁰, läutete jenen Siegeszug der Supermärkte in den

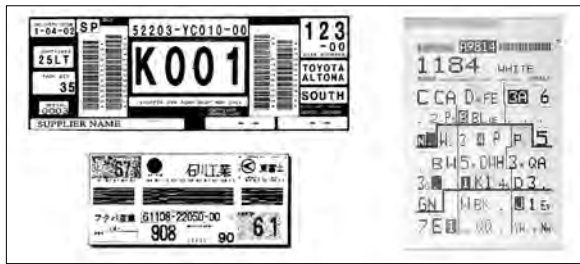
¹⁸ Ebd.

¹⁹ Ebd.

²⁰ Siehe <http://www.pigglywiggly.com>, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

USA ein, auf den die Manager von Toyota bereits in den 1940er Jahren aufmerksam werden.

Dass Taiichi Ohno von den amerikanischen Supermärkten stärker fasziniert war als von den Produktionsstätten General Motors oder Fords, ist nach dem kurzen Blick auf Saunders Konzept erklärlich: Das Selbstbedienungsprinzip ist nichts anderes als die praktische Umsetzung der *Just-in-Time*-Logik. Im Unterschied zum traditionellen Einzelhandelsgeschäft oder dem Straßenverkauf nimmt sich der Supermarktkunde genau zum gewünschten Zeitpunkt die gewünschte Menge eines gewünschten Produktes, während der Verkäufer lediglich die entnommene Ware im Regal wieder nachzufüllen hat. Das Selbstbedienungsregal repräsentiert also einen bedarfsgesteuerten Umschlagplatz, bei dem der Materialfluss nicht nach dem Bring-, sondern nach dem Holprinzip organisiert ist.²¹



4 – Kanban-Karten

Genau diese Logik übertrug Taiichi Ohno nun auf die betrieblichen Abläufe der Automobilfabrikation: Anstatt Material von einem vor- an einen nachgelagerten Arbeitsgang zu liefern, sollte umgekehrt der nachgelagerte Arbeitsgang die Regie übernehmen und jeweils die Teile anfordern, die aktuell gerade gebraucht wurden. Dieses Entnahmeprinzip machte es erforderlich, einen „automatischen Transport von Teilen“ – also die Fließbandlogik – aufzugeben.²² Von der zentralen Ablaufkontrolle, die auf eine Mobilisierung möglichst hoher Materialquantitäten zielt, musste nun auf eine dezentrale Steuerung der Produktion umgestellt werden, die es jedem Arbeitsprozess ermöglichte, dem vorgelagerten Prozess seinen Bedarf mitzuteilen. Es musste also neben dem *Materialfluss* ein *Informationsfluss* etabliert werden, der sich gegenläufig zum Materialfluss verhielt. Zu diesem Zweck wurde bei Toyota das sogenannte *Kanban*-System eingeführt.²³ Kanban ist die japanische Bezeichnung für ‚Karte‘ bzw. ‚Schild‘ (vgl. Abb. 4). Entsprechend wird jedes Teil innerhalb des Fertigungsablaufs mit einer Karte versehen, die über seine Identität, seinen Zustand und seine Bestimmung informiert; daneben gibt es weitere Typen von

²¹ Vgl. Ohno (1993), *Das Toyota-Produktionssystem*, S. 53.

²² Vgl. ebd., S. 31 und S. 40 f.

²³ Vgl. ebd., S. 54 ff., S. 68 ff. und S. 153 f.

Kanban-Karten, die je unterschiedlich gehandhabt und weitergeleitet werden. Insbesondere stellt das Kanban-System das zentrale Kommunikationsmedium zwischen nach- und vorgelagerten Arbeitsprozessen dar und reguliert somit den gesamten Produktionsfluss.

Ein weiteres Kommunikationsmedium, das beim Toyota-System zur Steuerung des Fertigungsablaufs eingesetzt wird, ist das sogenannte *Andon*.²⁴ Es handelt sich um großformatige, heute digital gesteuerte Anzeigetafeln, die in den Werkshallen installiert sind und ständig aktuelle Informationen über die Produktionsabläufe vermitteln (vgl. Abb. 5). Die Rationalität des Systems besteht darin, jeden Arbeiter zu verpflichten, Probleme oder Fehler umgehend zu signalisieren und den Fertigungsfluss in gravierenden Fällen eigenständig zu unterbrechen.



5 – Andon-Boards

Was bei Ford jeder Produktionslogik widerspricht, das Abschalten des Bandes und der Automaten, stellt im Toyota-System dagegen eine zentrale Tugend dar: Die Unterbrechung der Produktion steht hier im Dienst einer Produktionssteigerung, deren Logik in der permanenten Eliminierung von Fehlern besteht. Wie bereits beim *Type-G Power Loom* repräsentiert das Haltprinzip – *Jidoka* – einen elementaren Regelkreis des Produktionsprozesses, der nun allerdings systematisch die Arbeiter involviert, indem er den reibungslosen Funktionsablauf in ihre unmittelbare Verantwortung stellt. War der Arbeiter bei Ford einem Disziplinarregime unterworfen, das sich durch Zentralisierung, Kontrolle und Heteronomie auszeichnete, setzt das Toyota-System stärker auf Dezentralisierung, Selbstkontrolle und Autonomie, also gewissermaßen auf eine Gouvernamentalisierung, die den Arbeiter zum humanen Agenten innerhalb der ‚intelligenten‘ Automatisierung des Produktionsablaufs macht.²⁵

²⁴ Vgl. ebd., S. 32-35, S. 47 und S. 148 f.

²⁵ Zum Begriff der ‚Disziplinarmacht‘, der hier im Hintergrund steht, vgl. Michel Foucault, *Überwachen und Strafen. Die Geburt des Gefängnisses*, Frankfurt/M., 1977. [Frz. OA 1975.] Unter dem Begriff der ‚Disziplin‘ fasst Foucault bekanntlich im 17. Jahrhundert entstehende Machttechniken des Strafvollzugs, des Militärs, der Pädagogik etc. zusammen, die nicht auf unmittelbarer Gewaltausübung (souveräne Macht), sondern auf Verfahren der Dressur, Ein-

Übergreifend lässt sich das *Toyota Production System* als kybernetisches Modell industrieller Produktion begreifen, bei der Material- und Informationsverarbeitung systematisch ineinandergreifen. Methoden wie *Kanban*, *Jidoka* und *Andon* vernetzen Menschen, Dinge und Information im Rahmen dezentral und autonom organisierter Kontroll- und Regelmechanismen. Es entsteht ein eng gekoppeltes soziotechnisches System, dessen vitale Funktionen sich gleichsam unbewusst und unwillkürlich zu vollziehen scheinen:

Die Organisation eines Unternehmens gleicht der des menschlichen Körpers. Dieser hat autonome Nerven, die ohne Rücksicht auf das Wollen des Menschen funktionieren (vegetatives Nervensystem), und motorische Nerven, mit denen er willkürlich seine Muskelbewegungen kontrollieren kann (peripheres Nervensystem). [...] Bei Toyota weitete sich das autonome Nervensystem aus, als die Idee des Just-in-Time im Fertigungsbereich immer mehr an Boden gewann und die Regeln für den Einsatz von *kanban* mehr und mehr befolgt wurden.²⁶

2. Supply Chain Management 2.0: Das EPC-Netzwerk

Systemdenken, Vernetzung, Flusskonzept, Integration von Material und Information – mit diesen Grundprinzipien repräsentiert das Toyota-System zugleich ein Paradigma der gesamten modernen Logistiktheorie.²⁷ Medienhistorisch erscheint es nur konsequent, dass in der Epoche der elektronischen Datenverarbeitung und Digitalisierung mittlerweile das Internet zum zentralen Medium der Logistik avanciert, und zwar in Gestalt eben jenes „Internets der Dinge“, das als universale Kommunikationsutopie der Vereinten Nationen auf dem WSIS-Gipfel 2005 vorgestellt worden war. Nicht zufällig erklärt die *Fraunhofer-Gesellschaft* das ‚Internet der Dinge‘ im selben Jahr zu einem ihrer „Top-Themen“²⁸; das zugehörige *Institut für Materialfluss und Logistik (IML)*²⁹ beruft sich dabei auf die Formel „*Panta rhei* – alles fließt“ des Heraklit:

übung und Gewöhnung rekurren. Diese Techniken, die ihrerseits auf Verfahren wie etwa der räumlichen Absonderung und der zeitlichen Rhythmisierung von Tätigkeiten basieren, wirken in erster Linie auf die Körper der Subjekte, um sie nach Maßgabe des Gehorsams und der Nützlichkeit zu formieren. Unter dem Begriff der „Gouvernementalität“ stellt Foucault später den Machttypen der Souveränität und der Disziplin eine „Regierungskunst“ gegenüber bzw. an die Seite, die auf Dispositive der Sicherheit, der Verwaltung und der politischen Ökonomie setzt, vgl. Michel Foucault, *Geschichte der Gouvernementalität I: Sicherheit, Territorium, Bevölkerung. Vorlesung am Collège de France 1977-1978*, hg. v. Michel Sennelart, Frankfurt/M., 2004.

²⁶ Ohno (1993), *Das Toyota-Produktionssystem*, S. 74.

²⁷ Vgl. Schabacher (2008), *Raum-Zeit-Regime*, S. 135-148: 141-144.

²⁸ Hans-Jörg Bullinger, „Intelligenteres Leben im ‚Internet der Dinge‘ – RFID als Grundlage für autonome Objekte und selbstorganisierende Systeme in intelligenten Umgebungen“, in: ders./Michael ten Hompel (Hg.), *Internet der Dinge*, Berlin, 2007, S. XXIII-XXVII: XXIII.

²⁹ Siehe online unter: <http://www.iml.fraunhofer.de>, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

Sobald die *Dinge* anfangen, sich zu bewegen, ist die Logistik gefragt. Die *Dinge* und Informationen im (Material-)Fluss zu halten, könnte als erstes Axiom der Logistik postuliert werden. Mit dem *Internet der Dinge* tritt die Logistik in eine völlig neue Dimension ein. Material- und Informationsfluss werden eins.³⁰

Die Schlüsseltechnologie, von der man sich diese Fusion verspricht, heißt *Radio Frequency Identification (RFID)*, und ihr Prinzip ist die Erkennung von Objekten mithilfe von Funkchips, die zu senden beginnen, wenn sie ins Umfeld eines Lesegerätes kommen.³¹ Die Entwicklung dieser Technik geht auf Verfahren der radargestützten Freund-Feind-Erkennung in der Luft- und Seeaufklärung im zweiten Weltkrieg zurück.³² Obwohl sich das militärische und zivile Einsatzgebiet der RFID konstant erweitert hat, ist ihr Hauptzweck bis heute wesentlich derselbe geblieben: Die automatische Identifikation von Objekten. Gegenüber anderen *Auto-ID-Techniken* wie Fingerabdruck- oder Chipkartenverfahren besitzt die RFID-Lösung zahlreiche erhebliche Vorteile: Die Datenübertragung funktioniert berührungslos und ohne optischen Kontakt, sie durchdringt die verschiedensten Materialien, erzielt hohe Reichweiten und Geschwindigkeiten, und sie erlaubt eine Pulkerfassung.³³

Inspiziert durch die Möglichkeiten dieser Technologie, wird 1999 am MIT das *Auto-ID-Center* gegründet.³⁴ Unter seiner Leitung konstituiert sich ein Verbund aus internationalen Forschungseinrichtungen und einem Konsortium zahlreicher global agierender Wirtschaftsunternehmen – darunter Coca-Cola und Wal-Mart –, um die Standardisierung und Rationalisierung automatischer Identifizierungsverfahren voranzutreiben. Die Idee des Auto-ID-Centers ist, die Kommunikationsstandards der RFID-Technologie mit den Bezeichnungsstandards des UPC-Barcodes³⁵ und beides mit der Infrastruktur des Internets zu kombinieren. Genau für dieses heterogene Ensemble wird der Name des ‚Internet of Things‘ geprägt.³⁶

³⁰ Michael ten Hompel, „Wie das ‚Internet der Dinge‘ die Welt der Logistik verändert“, in: Hans-Jörg Bullinger/Michael ten Hompel (Hg.), *Internet der Dinge*, Berlin, Heidelberg, 2007, S. XXIX-XXXIV: XXIX. [Herv. i. O.] Zu den aktuellen Forschungen des IML in diesen Bereichen vgl. <http://www.openid-center.de>, zuletzt aufgerufen am 01.11.2010.

³¹ Vgl. zur Technik und den Anwendungsbereichen von RFID Klaus Finkenzeller, *RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten*, 4. Aufl., München, 2006; Sebastian Kummer/Markus Einbock/Christian Westerheide, *RFID in der Logistik. Handbuch für die Praxis*, Wien, 2006; Hans-Jörg Bullinger/Michael ten Hompel (Hg.), *Internet der Dinge*, Berlin, Heidelberg, 2007; Elgar Fleisch/Friedemann Mattern (Hg.), *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*, Berlin, Heidelberg, 2005.

³² Vgl. Jeremy Landt, *Shrouds of Time. The History of RFID*, Pittsburgh, PA, 2001; Christoph Rosol, *RFID. Vom Ursprung einer (all)gegenwärtigen Kulturtechnologie*, Berlin, 2007.

³³ Vgl. Finkenzeller (2006), *RFID-Handbuch*, S. 2 ff.

³⁴ Siehe online unter: <http://www.autoidlabs.org>, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

³⁵ Zur Geschichte von Barcode und *Universal Product Code (UPC)* vgl. den historischen Überblick auf den Seiten des *Uniform Code Council (UCC)*, heute *GSI-US*, online unter: http://www.gs1us.org/about_us/history, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

³⁶ Vgl. zur Gründungsgeschichte des Auto-ID-Centers Kevin Ashton, „Who Invented the EPC?“, in: Edmund W. Schuster/Stuart J. Allen/David L. Brock, *Global RFID. The Value of*

Die eingangs erwähnte Kommunikationsutopie der UN hat also eher pro-saische Wurzeln: Auf der Agenda steht zunächst nichts anderes als die Planung der Netzwerk-Architektur für ein Supply-Chain-Management im globalen Maßstab. Das vom Auto-ID-Center entwickelte Modell sieht hierzu vier Schichten vor³⁷: Auf der untersten Ebene vollzieht sich die Kommunikation zwischen stationären Lesegeräten und mobilen RFID-Transpondern. Die zentrale Information, die hier übermittelt wird, ist der auf den Transpondern gespeicherte *Electronic Product Code (EPC)*, eine in Analogie zum UPC gebildete elektronische Seriennummer, die in der ersten Generation 96 Bit breit ist (vgl. Abb. 6). Im Unterschied zu allen bis dato gebräuchlichen Bezeichnungssystemen können mit diesem EPC nicht nur Artikelklassen, sondern die jeweils einzelnen Exemplare des Artikels adressiert werden, selbst wenn es sich um Verbrauchsgüter oder Massenware wie Getränkedosen oder Turnschuhe handelt. Der Adressraum des EPC-96 umfasst 268 Millionen Hersteller mit je 16 Millionen Artikeltypen mit je 68 Milliarden Instanzen. Und der EPC der aktuellen Generation 2 sieht bereits eine Breite von 256 Bit vor. Theoretisch lassen sich damit alle überhaupt vorhandenen physischen ‚Gegenstände‘ adressieren: Um jedes einzelne Atom des Universums zu identifizieren, wäre lediglich eine 80-stellige Dezimalzahl erforderlich, was einer 266 Bit breiten Binäradresse entspräche. Der EPC durchbricht somit erstmals systematisch die *Type-Token-Grenze* und ermöglicht die Referenzierung aller logistischen Objekte weltweit.



6 – Electronic Product Code (EPC), Gen. 1, 96 Bit

Die zweite Schicht der Auto-ID-Architektur repräsentiert eine Kombination verteilter Hard- und Softwarekomponenten, eine Middleware, die ursprünglich *Savant* genannt wurde. Die dritte Schicht des Modells bilden sogenannte ONS-Server (*Object Naming Service*), die, ähnlich wie die *Name Server* des Internets, die Nummerncodes auf konkrete Anbieter beziehen; die vierte

the EPCglobal Network for Supply Chain Management, Berlin, Heidelberg u. New York, 2007, S. XI-XIII und Sanjay Sarma, „A Large-Scale-Effort“, in: ebd., S. XV-XXII.

³⁷ Die folgende Darstellung ist notwendig stark vereinfacht. Zu den Details vgl. Sanjay Sarma/David L. Brock/Kevin Ashton, *The Networked Physical World. Proposals for Engineering the Next Generation of Computing, Commerce & Automatic-Identification*, Auto-ID Center Whitepaper, MIT 2000; Christian Flörkemeier, „EPC-Technologie – vom Auto-ID Center zu EPCglobal“, in: Fleisch/Mattern (2005), *Das Internet der Dinge*, S. 87-100; Schuster/Allen/Brock (2007), *Global RFID*; Kummer/Einbock/Westerheide (2006), *RFID in der Logistik*, S. 27-39.

Schicht besteht aus den *EPC Information Services (EPCIS)*, die relevante Objektdaten vermitteln; diese Informationen sind mittels der Beschreibungssprache *PML (Physical Markup Language)* codiert und auf dedizierten PML-Servern abgelegt. Erhält der *Savant* nun von einem RFID-Reader die EPC-Nummer eines Objekts, fragt er bei den EPC Information Services und beim ONS nach den PML-Servern, auf denen die relevanten Objektdaten gespeichert sind. Die Ermittlung von Ressourcen erfolgt somit in enger Anlehnung an Internetstandards.

3. Paket-Schaltung: Agentenbasierte Systeme

Was das EPC-Netzwerk betrifft, garantiert die vorhandene Infrastruktur des WWW eine sehr hohe Integrationsreichweite logistischer Prozesse, von der lokalen Intralogistik bis hin zur globalen Interlogistik. Zum anderen ermöglicht diese Architektur eine hochauflösende Abbildung der physischen Welt auf virtuelle Datenbestände.³⁸ In der Praxis sieht der EPC-Ansatz jedoch eine eher klassische Prozesssteuerung vor: Um Objekte innerhalb der Wertschöpfungskette zu verfolgen und zu steuern, muss die RFID-Middleware permanent lokale, von den Readern gelieferte Daten mit an anderer Stelle gespeicherter Information abgleichen. Die hierzu erforderlichen Rechen- und Übertragungskapazitäten wären unter Praxisbedingungen offensichtlich so hoch, dass ein Einsatz des EPC-Netzwerks zur Steuerung inner- wie zwischenbetrieblicher Produktionsabläufe unmöglich ist.³⁹ In dieser Form würde das ‚Internet der Dinge‘ bestenfalls als globales Wareninformations- oder Trackingsystem funktionieren.

Aktuelle logistische Ansätze sind daher um eine stärkere Dezentralisierung der Flusssteuerung bemüht.⁴⁰ Im Prinzip gilt es, die RFID-Chips intelligenter zu machen, d. h. nicht lediglich zur Speicherung von EPC-Codes zu verwenden, die auf separat verwaltete Information verweisen (*Data-on-Network-Modell*), sondern die relevanten Objektdaten direkt auf den Transpondern abzulegen, um sie dann lokal weiterverarbeiten zu können (*Data-on-Tag-Lösung*).⁴¹ So ließen sich etwa Pakete oder Container mit RFID-Chips versehen, welche die jeweilige Bestimmungsadresse enthielten; automatische Beförderungssysteme wie Sortiermaschinen könnten diese Information dann lokal auswerten

³⁸ Zu diesem Abbildungsmodell vgl. Elgar Fleisch/Oliver Christ/Markus Dierkes, „Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge“, in: ders./Mattern (2005), *Das Internet der Dinge*, S. 3-37: 18-20 und 23 f.

³⁹ Vgl. o. A., „Tests für die Zukunft der Logistik“ in: *Fraunhofer-Magazin*, Beilage 4 (2005), S. 10-11: 10.

⁴⁰ Vgl. Fleisch/Christ/Dierkes (2005), Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge, S. 5-9 und S. 27 ff.; Michael ten Hompel, „Dinge, die die Welt bewegen“, in: *Fraunhofer-Magazin*, Beilage 4 (2005), S. 2.

⁴¹ Niko Hossain, *Das Internet der Dinge. Erfolgsstrategien für den Mittelstand*, Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, Vortrag Karlsruhe, 2006, S. 10.

und das Objekt schrittweise an sein Ziel leiten. Analog zum *packet switching*, mit dem Daten im Internet geroutet werden, würde die Zustellung logistischer Objekte ohne zentral organisierte Verteilung und ohne vordefinierte Wege erfolgen: „Selbst ist das Paket.“⁴²

Neben erweiterten Speichermöglichkeiten sollen Transponder der nächsten Generationen ferner über eigene Informationsverarbeitungsroutinen und über die Fähigkeit verfügen, sich untereinander und mit anderen Geräten ad hoc zu vernetzen. Vormalig passive RFID-Chips werden zu mobilen Agenten, die zu situativ angepasster Problemlösung und zur Zusammenarbeit fähig sind. Innerhalb des ‚Ubiquitous-Computing‘-Paradigmas⁴³ lässt die Logistik ‚aufmerksame Objekte‘, ‚aware objects‘, entstehen, die sich nicht länger fremd-, sondern zunehmend selbstgesteuert durch die Wertschöpfungskette bewegen.⁴⁴ Logistische Objekte werden im Rahmen dieser Rhetorik zu ‚Subjekten‘, für deren Beschreibung die Verwendung von Anthropomorphismen geradezu als konstitutiv erscheint: Die Dinge verfügen über Wahrnehmung, Gedächtnis und Bewusstsein, sie kooperieren und treffen Entscheidungen, vor allem aber sind sie zur permanenten Kommunikation verurteilt. ‚Gute Produkte wollen kommunizieren‘, schreiben Fleisch/Christ/Dierkes, bzw. in Anspielung auf Watzlawick: sie ‚können nicht nicht kommunizieren‘⁴⁵.

Das Verhältnis zwischen Ford und Toyota in Bezug auf die Kontrolle menschlicher Arbeiter lässt sich nun auf das Internet der Dinge übertragen: Repräsentiert das EPC-Netzwerk eine panoptische Struktur der Logistik, die auf eine komplette, möglichst hoch auflösende Abbildung der realen Welt abzielt, so sieht das Szenario der logistischen Selbststeuerung keine zentrale Überwachung vor.⁴⁶ Die Kontrolle ist hier in die Mikrostruktur des Systems eingelassen, das als *Multiagentensystem (MAS)* konzipiert ist und dementsprechende autonom, dezentral, kommunikativ und kollaborativ funktioniert.⁴⁷ Be-

⁴² *Das Internet der Dinge. Materialflüsse einfach steuern mit RFID*, Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, 2006, S. 2.

⁴³ Vgl. Adam Greenfield, *Everyware. The Dawning Age of Ubiquitous Computing*, Berkeley, CA, 2006.

⁴⁴ ten Hompel (2005), Dinge, die die Welt bewegen, S. 2.

⁴⁵ Fleisch/Christ/Dierkes (2005), Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge, S. 23. [Herv. i. O.]

⁴⁶ Vgl. das Panoptismus-Kapitel in Foucault (1977), *Überwachen und Strafen*, S. 251-292. Nach Foucault verkörpert – häufig zitiert – die von Jeremy Bentham 1791 beschriebene Architektur des *Panopticons* die Rationalität einer automatisierten und entindividualisierten Macht, die auf der Idee einer totalen Überwachung basiert. Ihre Steigerung findet diese Machttechnik darin, dass eine Beobachtung jederzeit stattfinden kann, aber nicht notwendig stattfinden muss, ohne dass der Beobachtete weiß, was aktuell der Fall ist; die Objekte dieser Macht sind somit gezwungen, den zentralen Blick zu internalisieren und zu Subjekten ihrer eigenen Überwachung zu werden. Zur Ausarbeitung dieser Überlegungen, auch im Hinblick auf moderne, elektronische Formen der Überwachung, vgl. Gilles Deleuze, „Postskriptum über die Kontrollgesellschaften“, in: ders., *Unterhandlungen 1972-1990*, Frankfurt/M., 1993, S. 254-262.

⁴⁷ Vgl. zu diesem Konzept, das ursprünglich aus den Computerwissenschaften und der Softwareentwicklung stammt, Michael Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, 2. Aufl., Chichester, 2009.

zog die „intelligente“ Automation des Toyota-Systems ganz gezielt menschliche Ressourcen mit ein, so wird in den aktuellen Szenarien ein weiterer Teil der Prozesssteuerung an technische Agenten delegiert.



7 – Emergenz optimierter Materialflüsse in Ameisenkolonien, Computersimulation

Der elementare Zusammenhang von Kontrolle und Kommunikation rückt damit in den Kontext der Kybernetik, die programmatisch auf eine Unterscheidung zwischen lebenden und technischen Systemen verzichtet. Aus der kybernetischen Perspektive, die alle Anthropomorphismen relativiert, lässt sich die strukturelle Kopplung zwischen Verkehrs- und Nachrichtensystemen entsprechend in maschinellen wie in nicht-humanen biologischen Systemen studieren. Aktuelle Ansätze zur Automatisierung logistischer Prozesse interessieren sich hier besonders für soziale Insekten⁴⁸, wobei neben dem Verhalten von Bienen⁴⁹ vor allem die pheromonbasierte Kommunikation zwischen Ameisen für Multiagentensysteme modellbildend ist.⁵⁰ Bei ihrer Bewegung durch das Gelände hinterlassen die Arbeiter Duftstoffe (Pheromone), die ihren Artgenossen jeweils als Information für die eigene Orientierung und Routenwahl dienen. Wie computerbasierte Simulationen zeigen, führt die lokale Auswer-

⁴⁸ Vgl. Bernd Scholz-Reiter et al., „Strategies of Social Insects and Other Bio-Inspired Algorithms for Logistics. State of the Art and New Perspectives“, in: Ingo J. Timm et al. (Hg.), *Proceedings of the First International Workshop on Applied Artificial Intelligence and Logistics at the 27th German Conference on Artificial Intelligence (KI2004)*, Universität Ulm, 2004, S. 17-20. Kontext sind hier die Forschungen des 2004 an der Universität Bremen eingerichteten Sonderforschungsbereichs *Selbststeuerung logistischer Prozesse (SFB 637)*, besonders innerhalb des Projekts zur *Modellierung und Analyse der Dynamik selbststeuernder logistischer Prozesse*, online unter: <http://www.sfb637.uni-bremen.de> bzw. http://www.sfb637.uni-bremen.de/teil_projekt_a5.html, zuletzt aufgerufen am 11.01.2011.

⁴⁹ Vgl. Bernd Scholz-Reiter/Thomas Jagalski/Julia C. Bendul, „Autonomous Control of a Shop Floor Based on Bee’s Foraging Behaviour“, in: Hans-Dietrich Haasis/Hans-Jörg Kreowski/Bernd Scholz-Reiter (Hg.), *Dynamics in Logistics. First International Conference, LDIC 2007*, Bremen, Germany, August, 2007, Proceedings, Berlin, Heidelberg, 2008, S. 415-423; dies., „Bienenalgorithmen zur Selbststeuerung logistischer Prozesse“, in: *Industrie Management* 23, 5 (2007), S. 7-10.

⁵⁰ Vgl. etwa Dieter Armbruster/Christoph de Beer/Michael Freitag, „Autonomous Control of Production Networks Using a Pheromone Approach“, in: *Physica A* 363 (2006), S. 104-114.

tung dieser Information auf der Grundlage weniger und einfacher Algorithmen durch die einzelne Ameise relativ schnell zur Emergenz optimierter Gesamtwege – „Ameisenstraßen“ –, die kollektiv genutzt werden (vgl. Abb. 7). Mithilfe elementarer Kommunikations- und Informationstechniken gelingt es den Ameisen somit, Irrwege, Staus und Engpässe zu eliminieren und einen gleichmäßigen Materialfluss zu etablieren. Die Pheromone repräsentieren gewissermaßen das Kanban der Ameisen.

Im Kontext der Bionik liegt dann auch nichts näher, als den Übergang von lokal begrenzten, linearen Supply Chains zu komplexeren *International Supply Networks (ISL)* als evolutionäre Anpassungsleistung zu modellieren: Wie soziale und biologische Systeme lassen sich auch logistische Multiagentensysteme aus konstruktivistischer bzw. systemtheoretischer Perspektive als höhere Organismen analysieren, denen im Rahmen einer solchen Sicht dann Fähigkeiten zur Selbstorganisation und -reproduktion zugeschrieben werden: An die Stelle mühsam kontrollierter Wertschöpfungsketten treten jetzt *Complex Adaptive Logistic Systems (CALs)*, deren Design sich am Prinzip der Autopoiesis orientiert.⁵¹

4. Abschalten: Die letzte Maschine

Wie diese Beispiele zeigen, ist die Logistik auf dem neuesten theoretischen Stand: Die ‚unsichtbare Hand‘ hat die biotechnische Gestalt der Schwarmintelligenz angenommen und vermittelt weiter zwischen individuellen Horizonten und kollektiven Interessen. Was die Automatismen betrifft, herrscht in diesem Bild kein Mangel. Die Einsenkung von Steuerungsmechanismen in die verteilten Systeme folgt einer Technologie des Selbst, des *autos*, die buchstäblich genommen werden will. Von der *Selbstbewegung* über die *Selbstbedienung* bis zur *Selbstprogrammierung* proliferieren Komposita, bei denen es auf die Konstanz des ersten Terms ankommt, während der zweite Teil immer variabler wird. *Selbst-X* lautet das mittlerweile einschlägige Schema.⁵²

Was ist nun auf der anderen Seite mit der Strukturgenese, mit dem Verhältnis zwischen Automatismen und Musterbildungen? Nimmt man das Moment der Autonomie ernst, so müssten logistische Systeme geradezu als umso avancierter gelten, je konträrer sie sich zu strukturellen Fixierungen verhalten. Eine Antwort auf diese Paradoxie bietet zunächst der Begriff der „Emergenz“. Mit

⁵¹ Michael Hülsmann et al., „Autonomous Cooperation – A Way to Implement Autopoietic Characteristics into Complex Adaptive Logistic Systems?“, in: Rodrigo Magalhães/Ron Sanchez (Hg.), *Autopoiesis in Organization Theory and Practice*, Bingley, 2009, S. 263-288.

⁵² Zu den ‚self-x capabilities‘ autonomer adaptiver Systeme zählen z. B. self-configuration, self-management, self-diagnosis, self-protection, self-healing, self-optimization, self-coordination, vgl. Benjamin Klöpffer/Wilhelm Dangelmaier (Hg.), *Self-x in Engineering*, Münster, 2009 sowie Falko Dressler, *Self-Organization in Sensor and Actor Networks*, Chichester, 2007, S. 23 f.

seiner Hilfe lässt sich beispielsweise erklären, warum Ameisen optimierte Verkehrswege einrichten und benutzen, denen aus der Perspektive der einzelnen Ameise gleichwohl keinerlei ‚Realität‘ zukommt. Die Idee emergenter Strukturen lässt sich unschwer als moderne Figuration der ‚unsichtbaren Hand‘ identifizieren, die jetzt die Gestalt einer Bottom-up-Modellierung komplexer dynamischer Prozesse annimmt. Und so ist die Veranschaulichung der Strukturgenese als temporale Sequenz in der Computeranimation umso suggestiver, als sie einen entscheidenden Punkt unsichtbar macht: Muster wie die der Ameisenstraße existieren *weder* auf der Ebene des Individuums *noch* auf der des Kollektivs. Ein angemessenes Verständnis stellt sich erst ein, wenn man zu einer Kybernetik zweiter Ordnung übergeht und feststellt, dass sich Strukturen und Zwecke generell nicht innerhalb eines beobachteten Systems, gleichgültig auf welcher Ebene, manifestieren, sondern dass sie ausschließlich extern zugeschrieben bzw. zugerechnet werden, und zwar vom beobachtenden System. Strukturen sind keine unabhängigen, soliden Einschreibungen, sondern vielmehr Effekte von Beobachtung, Second-Order-Phänomene. Nimmt man diese Perspektive ernst, führen kein Weg und keine dialektische Verbindung vom Rauschen zur Ordnung, von *bottom* zu *top*, oder umgekehrt.

Anders als die angebotenen Modelle, Simulationen und Animationen versprechen, vermag der Begriff der Emergenz also die von der ‚unsichtbaren Hand‘ hinterlassene Theorielücke nicht wirklich zu füllen. Um einen alternativen Standpunkt zu gewinnen, gilt es, sich zunächst auf Typen von Strukturen konzentrieren, die gewissermaßen noch unter den Bottom-up-Systemen liegen und diese tragen. Der Kontext der *communications* legt es nahe, dabei nicht nach den Superstrukturen, sondern vielmehr nach den Infrastrukturen zu fragen. Welche soziotechnischen Kontexte werden jeweils vorausgesetzt, welche Apparaturen mobilisiert, welche Ausrüstungen investiert, und zu welchem Zweck?⁵³

Die Frage nach Zielen, Zwecken und Teleologien ist zentral für die Kybernetik. In seinem Essay *God and Golem, Inc.*⁵⁴ hat Norbert Wiener gegenüber einer allzu optimistischen Einstellung zu autonomen Maschinen zu größter Skepsis geraten. Beispielgebend waren für ihn einerseits lernende Maschinen – Schach- und Übersetzungscomputer –, andererseits reproduktionsfähige Maschinen. Von solchen Systemen sah Wiener eine existenzielle Bedrohung ausgehen, benähme man sich der Hoheit, Ziele und Zwecke zu setzen und mög-

⁵³ Diese Fragestellung sollte weder technik- noch sozialdeterministisch missverstanden werden; es geht lediglich darum, im Blick zu behalten, dass die Paradigmen der Selbststeuerung und Autonomie ihrerseits weder autonom noch emergent sind, sondern in konkreten technowissenschaftlichen und ökonomischen Netzwerken hervorgebracht und ausgehandelt werden.

⁵⁴ Norbert Wiener, *God and Golem, Inc. A Comment on Certain Points where Cybernetics Impinges on Religion*, Cambridge, MA, o.J. [1964]. Dieser Essay arbeitet Argumentationen des Kapitels „On Learning and Self-Reproducing Machines“ aus, das Wiener der zweiten Auflage von *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 2. Aufl., Cambridge, MA, 1961., S. 169-180. [1948]

lichst detaillierte Bedingungen ihrer Erreichung zu definieren. Die Bestimmung des Ziels, ursprünglich Aufgabe des automatischen Flugabwehrgeschützes, könne bei komplexeren Systemen und Problemlagen zu Konflikten führen, deren Natur prinzipiell nicht vorhersehbar sei. Die Reihe der Beispiele von Goethes Zauberlehrling bis zur Golemlegende findet ihren Fluchtpunkt bei Wiener im historischen Kontext des Kalten Krieges in der spieltheoretischen Modellierung nuklearer Kriegsführung.⁵⁵ Es sind die apokalyptische Szenarien solcher *war games*, welche die Unterscheidung zwischen Schöpfer und Geschöpf jenseits ontologischer oder epistemologischer Fragen, dafür auf ethischem Gebiet zu einer existenziellen Angelegenheit werden lassen. Wir nähern uns damit also wieder den religiösen Fragestellungen, von denen Automaten seit jeher begleitet sind. Welche Operation aber vollzieht letztlich die Unterscheidung zwischen Schöpfer und Geschöpf? Die einzig mögliche Antwort lautet: das Abschalten.

Wieners Überlegungen basieren auf der Engführung kybernetischer Ideen zur Automatisierung mit den Wissensformen und Praxen von Religion und Zauberei.⁵⁶ Sie folgen somit jener Prämisse, die der Science-Fiction-Autor Arthur C. Clarke als epistemisches Gesetz der Technik formuliert hat: Jede hinreichend fortschrittliche Technologie ist von Magie nicht zu unterscheiden. Die magisch-religiöse Dimension der Technik bildet somit auch den Horizont des Filmklassikers *2001: A Space Odyssey* (1968), der Textvorlagen von Clarke aufgreift und den Stanley Kubrick in enger Zusammenarbeit mit dem Autor drehte.⁵⁷ Als Inkarnation einer autonomen und sich gegen den Menschen verselbstständigenden Technik figuriert hier HAL 9000, der allwissende und allmächtige Bordcomputer des Raumschiffs *Discovery*. Mit sanfter Stimme – und gegebenenfalls perfidem Schweigen – meistert HAL den Turing-Test ebenso mühe- wie skrupellos, denn er schreckt nicht davor zurück, die ihm anvertrauten humanen Besatzungsmitglieder zu töten, als er die Mission des Unternehmens gefährdet sieht. Dem Astronauten Dave Bowman gelingt es schließlich, in einer ebenso dramatischen wie bewegenden Szene, HAL durch die Entfernung seiner zentralen Speicherelemente – eine Art Lobotomie – buchstäblich auszuschalten und damit die Kontrolle über das Schiff zurückzuerlangen.

Von der ‚*always on*‘ communication über Toyodas *Jidoka*, Fords und Chaplins Fließbänder, Wieners *Gott und Golem* bis zu Clarkes und Kubricks HAL 9000 scheint sich die Zurechenbarkeit von Strukturen und Zielen an Automaten an der Macht zu bemessen, den Aus-Schalter zu betätigen. Die Attribution von ‚Intelligenz‘ entscheidet sich nicht in eloquenten Dialogen oder empfind-

⁵⁵ Vgl. Wiener (o.J.), *God and Golem, Inc.*, S. 51 f. und S. 82-85.

⁵⁶ Vgl. ebd., z.B. S. 49-69.

⁵⁷ Aus dieser Zusammenarbeit resultiert auch Clarkes im Anschluss an den Film erscheinender gleichnamiger Roman.

samen Spiegelfechtereien, sondern im Zustandswechsel zwischen 1 und 0: Der Klügere schaltet ab.

Eine Maschine, die diesen post-hermeneutischen und post-instrumentellen Turing-Test bestehen wollte, müsste also mit dem Jidoka-Prinzip ernst machen und es in die Paradoxie treiben. Eine solche Maschine existiert; sie wurde – wen wundert's – vom Vater des Informationszeitalters, Claude Shannon, gebaut und wurde als „Ultimate Machine“ bekannt. Sie lässt sich nicht mehr abschalten, weil ihre einzige Funktion darin besteht, sich selbst abzuschalten. Die kanonische Bezeichnung und Beschreibung von Shannons Apparat aber stammt von niemand anderem als Arthur C. Clarke. Der Anblick des fraglichen Mechanismus in den Bell Laboratories, so Clarke,

haunts me as it haunts everyone else who has ever seen it in action. It is the Ultimate Machine – the End of the Line. Beyond it there is Nothing. It sat on Claude Shannon's desk driving people mad. Nothing could look simpler. It is merely a small wooden casket the size and shape of a cigar box, with a single switch on one face. When you throw the switch, there is an angry, purposeful buzzing. The lid slowly rises, and from beneath it emerges a hand. The hand reaches down, turns the switch off, and retreats into the box. With the finality of a closing coffin, the lid snaps shut, the buzzing ceases, and peace reigns once more. The psychological effect, if you do not know what to expect, is devastating. There is something unspeakably sinister about a machine that does nothing – absolutely nothing – except switch itself off.⁵⁸

Das Unheimliche der sichtbaren/unsichtbaren Hand, das in Clarkes Beschreibung so prägnant geschildert wird, gemahnt noch einmal an die Herkunft dieses Motivs aus dem Schauerroman.⁵⁹ Im elektrischen Zeitalter lässt sich die geisterhafte Hand als perfekte imaginäre Verkörperung der Manipulation des Digitalen – on/off, 1/0 – als solchem identifizieren, das kontinuierliche Vorgänge in diskrete Repräsentationen überführt und damit die Unterscheidung zwischen Symbolischem und Realem instituiert (vgl. Abb. 8). Und das *lid*, englisch für Klappe, Deckel, aber auch für Augenlid, figuriert den Zustandsübergang zwischen Mensch und Maschine, Organismus und Mechanismus, Leben und Tod gewissermaßen als Blinzeln.⁶⁰

Die letzte Maschine leistet somit eine geeignete Vermittlung und Übersetzung zwischen (a) den ethischen bzw. religiösen Fragen, die mit den agonistischen Szenarien eines Machtkampfs zwischen Geschöpf und Schöpfer, Werkzeug und Benutzer heraufbeschworen werden, (b) den technischen bzw. politischen Fragen der Kontrolle und Regelung sowie (c) den epistemologischen

⁵⁸ Arthur C. Clarke, *Voice Across the Sea*, London 1958, S. 166 f.

⁵⁹ Vgl. Stefan Andriopoulos, „The Invisible Hand: Supernatural Agency in Political Economy and the Gothic Novel“, in: *English Literary History* 66, 3 (1999), S. 739-758, sowie den Beitrag von Harun Maye im vorliegenden Band.

⁶⁰ Vgl. zum Motiv des Blinzeln als Markierung des paradoxen Übergangs zwischen 0 und 1, Öffnung und Schließung bei Shannon Bernhard Siegert, *Passage des Digitalen. Zeichenpraktiken der neuzeitlichen Wissenschaften 1500-1900*, Berlin, 2003, S. 9-11.

bzw. ontologischen Fragen nach der Differenz zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Agenturen. Was die beiden letztgenannten Aspekte betrifft, findet sich bei Wiener eine strikte Gleichbehandlung von Gott, Mensch und Maschine – auf deren reziproke Verkörperung der Titel *God and Golem, Inc.* explizit verweist.⁶¹ Entsprechend postuliert er, etwa im Zusammenhang der kybernetischen Erforschung von Prothesen, hybride Systeme aus menschlichen und nicht-menschlichen Bestandteilen.⁶²



8 – The Ultimate Machine (Nachbau)

Damit ist das Stichwort für eine letzte, übergreifende Perspektive gegeben, welche die ontologischen, epistemologischen und praktischen Dimensionen von Automatismen ebenso wie die Magie der ‚unsichtbaren Hände‘ zu integrieren verspricht. 1997, aus Anlass des fiktiven Geburtsjahrs von HAL 9000, erscheint ein Dialog zwischen Bruno Latour und Richard Powers⁶³, der in seinem Roman *Galatea 2.2* den Pygmalionmythos aufgreift.⁶⁴ In einer virtuellen Parallelisierung des Turing-Tests mit literarischen Verfahren des Anthropomorphismus und der Prosopopöie⁶⁵ rückt auch dieser Dialog die Frage nach dem Automaten in den Horizont des Verhältnisses zwischen Schöpfer und Geschöpf. Im diametralen Unterschied zu Wiener setzt Latour dabei indessen nicht auf die Frage der Beherrschung, sondern auf eine Symmetrisierung von

⁶¹ Wiener (o.J.), *God and Golem*, S. 95.

⁶² Vgl. ebd., S. 73-76.

⁶³ Bruno Latour/Richard Powers, „Two Writers Face One Turing Test. A Dialogue in Honor of HAL“, in: *Common Knowledge* 7, 1 (1997), S. 177-191.

⁶⁴ Richard Powers, *Galatea 2.2*, 2. Aufl., Frankfurt/M., 2004. [Engl. OA 1995.]

⁶⁵ Rhetorische Figur (lat. *personificatio*), die abstrakten und unbelebten Entitäten menschliche Eigenschaften und Ausdrucksmodalitäten (Stimme, Gesicht etc.) verleiht; besonders für die Dekonstruktion eine der zentralen rhetorischen Sprachmittel in fiktionalen wie nicht-fiktionalen Texten, vgl. etwa Paul de Man, „Autobiographie als Maskenspiel“, in: ders., *Die Ideologie des Ästhetischen*, Frankfurt/M., 1993, S. 131-146, [engl. OA 1979]; Bettine Menke, *Prosopopöia. Stimme und Text bei Brentano, Hoffmann, Kleist und Kafka*, München, 2000.

Mensch und Maschine, und zwar auch und gerade dort, wo Fragen gesellschaftlicher, ethischer und religiöser Natur berührt werden, in eben jenen Bereichen also, die für Wiener keinen legitimen Gegenstandsbereich der Kybernetik mehr bilden.⁶⁶ Ziel ist eine Konzeption von Technik jenseits der Alternative zwischen Allmacht und Paranoia. „Making history by changing the theology of technology!“⁶⁷ lautet entsprechend die Prämisse einer Umprogrammierung und Rehabilitierung HALs.

Wenn die Akteur-Netzwerk-Theorie also einerseits eine strikt symmetrische Anthropologie postuliert, die auf Verhandlungen und Übersetzungen zwischen humanen und nicht-humanen Akteuren abstellt⁶⁸, so lässt sie sich andererseits kaum mit den technikzentrierten und machbarkeitsorientierten Automations-szenarien der neueren Logistik verbinden. Anders als das Toyota-Produktionssystem etwa ist das ‚Internet der Dinge‘ kein soziotechnisches Netzwerk im Sinne der ANT, und agentenbasierte Logistiksysteme haben nur entfernt etwas mit dem Konzept der verteilten Handlungsmacht zu tun. Die Hoffnung auf eine reibungslose Selbststeuerung der Dinge, auf eine befreiende Synthese aus Material und Information, steht im Rahmen einer Modernisierungserzählung, die gerade im Hinblick auf nicht-kontrollierbare Hybridisierungen und operative Momente von Verhandlungen und Übersetzungen zwischen Akteuren unterschiedlicher Provenienz der Korrektur bedürfte.

Literatur

- O. A., „Tests für die Zukunft der Logistik“, in: *Fraunhofer-Magazin*, Beilage 4 (2005), S. 10-11.
- Andriopoulos, Stefan, „The Invisible Hand: Supernatural Agency in Political Economy and the Gothic Novel“, in: *English Literary History* 66, 3 (1999), S. 739-758.
- Armbruster, Dieter/de Beer, Christoph/Freitag, Michael, „Autonomous Control of Production Networks Using a Pheromone Approach“, in: *Physica A* 363 (2006), S. 104-114.
- Ashton, Kevin, „Who Invented the EPC?“, in: Edmund W. Schuster/Stuart J. Allen/David L. Brock, *Global RFID. The Value of the EPCglobal Network for Supply Chain Management*, Berlin, Heidelberg u. New York, 2007, S. XI-XIII.
- Bullinger, Hans-Jörg/ten Hompel, Michael (Hg.), *Internet der Dinge*, Berlin, Heidelberg, 2007.

⁶⁶ Vgl. Wiener (o.J.), *God and Golem*, S. 87-93.

⁶⁷ Latour/Powers (1997), *Two Writers Facing One Turing Test*, S. 191.

⁶⁸ Vgl. etwa Bruno Latour, *Aramis, or The Love of Technology*, Cambridge, MA, 1996 [frz. OA 1993]; ders., „Ein Kollektiv von Menschen und nicht-menschlichen Wesen. Auf dem Weg durch Dädalus' Labyrinth“, in: ders., *Die Hoffnung der Pandora*, Frankfurt/M., 2002, S. 211-264.

- Ders., „Intelligenteres Leben im ‚Internet der Dinge‘ – RFID als Grundlage für autonome Objekte und selbstorganisierende Systeme in intelligenten Umgebungen“, in: ders./Michael ten Hompel (Hg.), *Internet der Dinge*, Berlin, Heidelberg, 2007, S. XXIII-XXVII.
- Clarke, Arthur C., *Voice Across the Sea*, London, 1958.
- Ders., *2001: A Space Odyssey*, New York, 1968.
- Das Internet der Dinge. Materialflüsse einfach steuern mit RFID*, Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, 2006.
- de Man, Paul, „Autobiographie als Maskenspiel“, in: ders., *Die Ideologie des Ästhetischen*, Frankfurt/M., 1993, S. 131-146. [Engl. OA 1979.]
- Deleuze, Gilles, „Postskriptum über die Kontrollgesellschaften“, in: ders., *Unterhandlungen 1972-1990*, Frankfurt/M., 1993, S. 254-262.
- Dressler, Falko, *Self-Organization in Sensor and Actor Networks*, Chichester, 2007.
- Finkenzeller, Klaus, *RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten*, 4. Aufl., München, 2006.
- Fleisch, Elgar/Christ, Oliver/Dierkes, Markus, „Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge“, in: ders./Friedemann Mattern (Hg.), *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*, Berlin, Heidelberg, 2005, S. 3-37.
- Fleisch, Elgar/Mattern, Friedemann (Hg.), *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*, Berlin, Heidelberg, 2005.
- Flörkemeier, Christian, „EPC-Technologie – vom Auto-ID Center zu EPCglobal“, in: Elgar Fleisch/Friedemann Mattern (Hg.), *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*, Berlin, Heidelberg, 2005, S. 87-100.
- Foucault, Michel, *Geschichte der Gouvernementalität I: Sicherheit, Territorium, Bevölkerung. Vorlesung am Collège de France 1977-1978*, hg. v. Michel Sennelart, Frankfurt/M., 2004.
- Ders., *Überwachen und Strafen. Die Geburt des Gefängnisses*, Frankfurt/M., 1977. [Frz. OA 1975.]
- Geistbeck, Michael, *Der Weltverkehr. Seeschifffahrt und Eisenbahnen, Post und Telegraphie in ihrer Entwicklung dargestellt*, Freiburg/Brsg., 1886; zweite, neu bearbeitete Aufl., 1895. Reprograph. Nachdruck der 2. Aufl. u. d. T.: *Weltverkehr. Die Entwicklung von [See]Schifffahrt, Eisenbahn, Post und Telegraphie bis zum Ende des 19. Jahrhunderts*, Hildesheim, 1986.
- Greenfield, Adam, *Everyware. The Dawning Age of Ubiquitous Computing*, Berkeley, CA, 2006.
- Grimm, Jacob und Wilhelm, „Verkehr“, in: dies., *Deutsches Wörterbuch*, 33 Bände, Leipzig, 1854-1960, Bd. 25, Sp. 625 ff.
- Hossain, Niko, *Das Internet der Dinge. Erfolgsstrategien für den Mittelstand*, Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, Vortrag Karlsruhe, 2006.
- Hülsmann, Michael et al., „Autonomous Cooperation – A Way to Implement Autopoietic Characteristics into Complex Adaptive Logistic Systems?“, in: Rodrigo Magalhães/Ron Sanchez (Hg.), *Autopoiesis in Organization Theory and Practice*, Bingley, 2009, S. 263-288.
- Innis, Harold A., *Empire and Communications*, Oxford, 1950.
- Ders., *Staples, Markets, and Cultural Change. Selected Essays*, hg. v. Daniel Drache, Montreal & Kingston, London, Buffalo, 1995.
- International Telecommunication Union (ITU), *The Internet of Things. Executive Summary*, ITU Internet Reports, Genf, 2005.

- Kittler, Friedrich A., „Geschichte der Kommunikationsmedien“, in: Jörg Huber/Alois Martin Müller (Hg.), *Raum und Verfahren*, Basel, Frankfurt/M., 1993, S. 169-188.
- Klöpffer, Benjamin/Dangelmaier, Wilhelm (Hg.), *Self-x in Engineering*, Münster, 2009.
- Köhnke, K. Ch., „Verkehr“, in: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 11, Darmstadt, 2001, Sp. 703-705.
- Krajewski, Markus, *Restlosigkeit. Weltprojekte um 1900*, Frankfurt/M., 2006.
- Kummer, Sebastian/Einbock, Markus/Westerheide, Christian, *RFID in der Logistik. Handbuch für die Praxis*, Wien, 2006.
- Landt, Jeremy, *Shrouds of Time. The History of RFID*, Pittsburgh, PA, 2001.
- Latour, Bruno, *Aramis, or The Love of Technology*, Cambridge, MA, 1996. [Frz. OA 1993.]
- Ders., „Ein Kollektiv von Menschen und nicht-menschlichen Wesen. Auf dem Weg durch Dädalus' Labyrinth“, in: ders., *Die Hoffnung der Pandora*, Frankfurt/M., 2002, S. 211-264.
- Ders./Powers, Richard, „Two Writers Face One Turing Test. A Dialogue in Honor of HAL“, in: *Common Knowledge* 7, 1 (1997), S. 177-191.
- Lévy, Pierre, „Die Erfindung des Computers“, in: Michel Serres (Hg.), *Elemente einer Geschichte der Wissenschaften*, 2. Aufl., Frankfurt/M., 2002, S. 905-944.
- Maas, William/Robertson, Andrew, „From Textiles to Automobiles. Mechanical and Organizational Innovation in the Toyoda Enterprises, 1895-1933“, in: *Business and Economic History* 25, 2 (1996), S. 1-37.
- McLuhan, Marshall, *Die magischen Kanäle. Understanding Media*, 2. erw. Aufl., Basel, 1995. [Engl. OA 1964.]
- Menke, Bettine, *Prosopopöia. Stimme und Text bei Brentano, Hoffmann, Kleist und Kafka*, München, 2000.
- Neubert, Christoph, „Onto-Logistik. Kommunikation und Steuerung im Internet der Dinge“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 8 (2008): *Agenten und Agenturen*, S. 119-133.
- Ders., „Verkehr“, in: Tina Bartz/Ludwig Jäger/Markus Krause/Erika Linz (Hg.), *Signaturen der Medien. Ein Handbuch zur kulturwissenschaftlichen Medientheorie*, Paderborn, 2011 (im Erscheinen).
- Ohno, Taiichi, *Das Toyota-Produktionssystem*, Frankfurt/M., New York, 1993.
- Powers, Richard, *Galatea 2.2*, 2. Aufl., Frankfurt/M., 2004. [Engl. OA 1995.]
- Rosol, Christoph, *RFID. Vom Ursprung einer (all)gegenwärtigen Kulturtechnologie*, Berlin, 2007.
- Sarma, Sanjay/Brock, David L./Ashton, Kevin, *The Networked Physical World. Proposals for Engineering the Next Generation of Computing, Commerce & Automatic-Identification*, Auto-ID Center Whitepaper, MIT 2000.
- Sarma, Sanjay, „A Large-Scale-Effort“, in: Edmund W. Schuster/Stuart J. Allen/David Brock, *Global RFID. The Value of the EPCglobal Network for Supply Chain Management*, Berlin, Heidelberg u. New York, 2007, S. XV-XXII.
- Saunders, Clarence, „Self-Serving Store“, United States Patent Office, Nr. 1.242.872, 09.10.1917.
- Schabacher, Gabriele, „Raum-Zeit-Regime. Logistikgeschichte als Wissenszirkulation zwischen Medien, Verkehr und Ökonomie“, in: *Archiv für Mediengeschichte* 8 (2008): *Agenten und Agenturen*, S. 135-148.
- Scholz-Reiter, Bernd et al., „Strategies of Social Insects and Other Bio-Inspired Algorithms for Logistics. State of the Art and New Perspectives“, in: Ingo J. Timm et al. (Hg.), *Proceedings of the First International Workshop on Applied Artificial Intelli-*

- gence and Logistics at the 27th German Conference on Artificial Intelligence (KI2004)*, Universität Ulm, 2004, S. 17-20.
- Scholz-Reiter, Bernd/Jagalski, Thomas/Bendul, Julia C., „Autonomous Control of a Shop Floor Based on Bee’s Foraging Behaviour“, in: Hans-Dietrich Haasis/Hans-Jörg Kreowski/Bernd Scholz-Reiter (Hg.), *Dynamics in Logistics. First International Conference*, LDIC 2007, Bremen, Germany, August, 2007, Proceedings, Berlin, Heidelberg, 2008, S. 415-423.
- Dies., „Bienenalgorithmen zur Selbststeuerung logistischer Prozesse“, in: *Industrie Management* 23, 5 (2007), S. 7-10.
- Schuster, Edmund W./Allen, Stuart J./Brock, David L., *Global RFID. The Value of the EPCglobal Network for Supply Chain Management*, Berlin, Heidelberg u. New York, 2007.
- Siegert, Bernhard, *Passage des Digitalen. Zeichenpraktiken der neuzeitlichen Wissenschaften 1500-1900*, Berlin, 2003.
- Smalley, Art, *A Brief History of Set-Up Reduction. How the Work of Many People Improved Modern Manufacturing*, Art of Lean, Inc., o.J.
- ten Hompel, Michael, „Dinge, die die Welt bewegen“, in: *Fraunhofer-Magazin*, Beilage 4 (2005), S. 2.
- Ders., „Wie das ‚Internet der Dinge‘ die Welt der Logistik verändert“, in: Hans-Jörg Bullinger/Michael ten Hompel (Hg.), *Internet der Dinge*, Berlin, Heidelberg, 2007, S. XXIX-XXXIV.
- Wada, Kazuo, *Kiichiro Toyoda and the Birth of the Japanese Automobile Industry. Re-consideration of Toyoda-Platt Agreement*, The Graduate School of Economics, University of Tokyo, o.J.
- Wiener, Norbert, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 2. Aufl., Cambridge, MA, 1961. [1948]
- Ders., *God and Golem, Inc. A Comment on Certain Points Where Cybernetics Impinges on Religion*, Cambridge, MA, o.J. [1964]
- Wooldridge, Michael, *An Introduction to MultiAgent Systems*, 2. Aufl., Chichester, 2009.

Film

2001: A Space Odyssey, UK/USA 1968, 141 Minuten, Regie: Stanley Kubrick.

Internetquellen

- <http://www.autoidlabs.org>
http://www.gs1us.org/about_us/history
<http://www.iml.fraunhofer.de>
<http://www.itu.int>
<http://www.itu.int/wsis/tunis/index.html>
<http://www.itu.int/ITU-D/connect/index.html>
<http://www.openid-center.de>
<http://www.pigglywiggly.com>
<http://www.sfb637.uni-bremen.de> bzw. http://www.sfb637.uni-bremen.de/teil_projekt_a5.html