

Internet der Dinge

Übersichtsstudie



Leif Brand, Tim Hülser, Vera Grimm und Axel Zweck

Internet der Dinge - Perspektiven für die Logistik

Übersichtsstudie

Leif Brand, Tim Hülser, Vera Grimm und Axel Zweck

Herausgeber:
Zukünftige Technologien Consulting
der VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

im Auftrag des VDI e.V.

Diese Publikation entstand im Rahmen des Vorhabens „Themenmonitoring für den VDI“ der Abteilung Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH im Auftrag des VDI e. V.

Durchführung: Dr. Leif Brand
Tim Hülser
Dr. Vera Grimm
Dr. Dr. Axel Zweck

Kontakt: Leif Brand (brand@vdi.de)

Zukünftige Technologien Nr. 80
Düsseldorf, im März 2009
ISSN 1436-5928

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Die in der Veröffentlichung geäußerten Auffassungen müssen nicht mit der Meinung des VDI e. V. übereinstimmen.

Außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte sind alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung.

Titelbild: Gedruckter, polymerer RFID-Chip auf biegsamer Plastikfolie (Quelle: Poly-IC-Pressbild)

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)
der VDI Technologiezentrum GmbH

Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	7
1	EINLEITUNG	11
2	„INTERNET DER DINGE“ - EINE VISION	13
3	BEDEUTUNG DES LOGISTIKSEKTORS	23
4	TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNGEN UND TRENDS	31
4.1	RFID/Smart Label	32
4.2	Wireless Communication und Funknetze	47
4.3	Drahtlose Sensoren/Sensornetzwerke	57
4.4	Organische Elektronik	65
4.5	Energieversorgung mobiler Systeme	73
4.6	Rapid Prototyping/Personal Fabricator	84
4.7	Tracking/Ortung	89
4.8	Zahlungssysteme	93
4.9	Datensicherheit	99
5	DAS „INTERNET DER DINGE“ IN DER LOGISTIK	105
6	QUELLENVERZEICHNIS	111

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Moderne Technologien, vor allem aus dem Informations- und Kommunikationsbereich, verändern die Lebens- und Arbeitsumgebungen des Menschen in den Industriestaaten in rasantem Tempo. Während sich Mobiltelefone vor 15 Jahren noch im Markteintritt befanden, sind sie heute zum Massenprodukt geworden, das mehr und mehr Funktionalitäten in sich vereint. Mobiltelefonie, Internetzugang, Satellitennavigation, Fernsehen, MP3 und vieles mehr lassen sich inzwischen in einem einzigen Gerät vereinen. Aber nicht nur Mobiltelefone, auch zahlreiche weitere Geräte und Produkte werden in wachsendem Maße mit eingebetteten Logikkomponenten ausgestattet, die ihr Funktionsspektrum stetig erweitern. Im angelsächsischen Sprachraum wurde der Begriff des „Pervasive Computing“, der wachsenden Durchdringung vieler Lebensbereiche mit Informationstechnologie, geprägt. Für solche Objekte ist es zunehmend möglich, mittels integrierter sensorischer Bausteine ihre Umgebung wahrzunehmen oder über kabelgebundene oder drahtlose Funkverbindungen mit Steuereinheiten oder anderen Objekten in Verbindung zu treten und Informationen auszutauschen. Technologische Entwicklungen, etwa in Bereichen der Funk- und Netzwerktechnik, der Elektronik, der Sensorik und vernetzter Sensoren sowie vielen weiteren Technologiefeldern, haben in den vergangenen Jahren den Boden hierfür bereitet und werden auch in Zukunft kontinuierlich neue Anwendungsmöglichkeiten und neuartige Produkte generieren.

Waren es bislang überwiegend werthaltigere Produkte (Mobiltelefone, TV, Spielekonsolen, Automobile, Fertigungsanlagen etc.), die durch integrierte Logik mit „technischer Intelligenz“ ausgestattet wurden, wird sich dies in naher Zukunft bis hin zu Billigprodukten des Massenmarktes und geringwertigen Konsumgütern des täglichen Bedarfs ausweiten. Die Radiofrequenzidentifikation (RFID) bildet hierfür die Basistechnologie, die es erlaubt, auch „low-cost“-Artikel zu „smarten Objekten“ zu machen. Durch absehbare Entwicklungen etwa im Bereich der organischen Elektronik werden sich die Kosten für entsprechende Funketiketten bald schon in den niedrigen Cent-Bereich drücken lassen.

Parallel zu den genannten Entwicklungen hat sich das Internet in einem Maße zu einem weltumspannenden, überall präsenten Informations-, Kommunikations-, Unterhaltungs- und Wirtschaftsmedium entwickelt, wie es in diesem Umfang noch vor wenigen Jahren nicht vorstellbar war. Aber auch für das Internet zeichnet sich ein weiterer Wandel ab. So ist das heutige Internet ein „Internet der Personen“ bzw. ein „Internet der Information“. Es bildet eine Verbindung zwischen *Menschen* und bietet ihnen die Möglichkeit, auf verschiedenste Weisen miteinander zu kommunizieren, d. h. *Information* auszutauschen. Durch die oben erwähnte zunehmende Ausstattung von Objekten mit „Intelligenz“ und deren steigende informationstechnische Vernetzung sowohl mit den zugeordneten Steuerungssystemen als auch untereinander entstehen neue Netzwerke,

Ausstattung von
Objekten mit
„technischer
Intelligenz“

Rasante
Entwicklung des
Internets

die in vielerlei Hinsicht mit dem Internet vergleichbar sind oder sogar mit diesem interagieren können. Diese Netze verbinden nun jedoch nicht mehr nur Personen, sondern zusätzlich auch unbelebte Objekte, so dass sich die Bezeichnung „Internet der Dinge“ in jüngster Zeit zunehmend etabliert.

Vernetzung und
Autonomie als
zentrale
Charakteristika

Ein neben der Vernetzung weiteres zentrales Charakteristikum des „Internets der Dinge“ ist die Autonomie. So werden technologische Entwicklungen in zahlreichen Bereichen ein autonomes oder teil-autonomes Handeln von Objekten innerhalb ihrer Netzwerke in wachsendem Maße ermöglichen. In Fachkreisen wird eine Vielzahl von Szenarien durchgespielt. Sie reichen von sich selbst überwachender Gebäudetechnik, wie etwa Heizungsanlagen, die im Fehlerfall selbständig den Wartungsservice informieren, bis zu gesundheitstelematischen Patientensystemen, die im Notfall medizinische Hilfe selbständig herbeirufen. Autonomes Handeln unbelebter Objekte und Systeme ist heute Gegenstand zahlreicher Forschungsaktivitäten.

Technologische
Konvergenz

Das „Internet der Dinge“ ist keine geschlossene Technologie. Es führt vielmehr zahlreiche Technologien aus vielen Wissenschaftsfeldern zu einem nach dem jeweiligen Bedarf ausgelegten Gesamtsystem zusammen. Neben den Entwicklungen in diesen (Teil)-Technologien besteht die wesentliche Innovation in der technologischen Konvergenz.

Das „Internet der Dinge“ gilt als eines der aussichtsreichsten Zukunftsfelder und wird in wachsendem Maße auch unter diesem Begriff gefördert. Zahlreiche Unternehmen und Forschungsinstitutionen haben sich in Verbundprojekten zusammengeschlossen und entwickeln das „Internet der Dinge“ für spezielle Anwendungen. Als auch kommerziell aussichtsreichste Anwendungen werden die Bereiche „Gesundheitstelematik“, „Haus- oder Gebäudeautomation“, „industrielle Produktion“ und „Logistik“ angesehen.

Wirtschaftliche
Bedeutung der
Logistik

Die Logistik gehört zu den größten ökonomischen Bereichen in Deutschland und ist von großer Bedeutung für den Wirtschaftsstandort. So liegt das jährliche Umsatzvolumen im dreistelligen Milliardenbereich, und mehrere Millionen Arbeitsplätze hängen direkt oder indirekt von der Logistikwirtschaft ab. Angesichts der Globalisierung und des wachsenden internationalen Konkurrenzdrucks sieht sich der deutsche Logistiksektor großen Herausforderungen gegenüber. Daneben verlangt die zunehmende Individualisierung in den Industriestaaten stetige Anpassungen an eine immer größere Variantenvielfalt der Produkte bei gleichzeitig abnehmenden Losgrößen. Diesen Herausforderungen kann am Hochpreisstandort Deutschland langfristig nur mit technologischen Innovationen begegnet werden. Das „Internet der Dinge“ bietet in der Logistik vielversprechende Möglichkeiten. Mit seiner Realisierung verbinden Experten erhebliche wirtschaftliche Potenziale.

Die Vision des „Internets der Dinge“ bietet für die Logistikwirtschaft einen zukunftsweisenden Ansatz. Im konkreten Kontext beschreibt sie den autonomen Transport von Waren und Gütern durch inner- und au-ßerbetriebliche Netze. Analog zum Fluss digitaler Information im Inter-net finden im „Internet der Dinge“ logistische Objekte ihre Wege selb-ständig, wobei sie an Knotenpunkten unter der Maßgabe der dort gege-benen Bedingungen flexibel über den günstigsten Weg des Weitertrans-ports entscheiden und die dazu notwendigen Ressourcen anfordern.

„Internet der
Dinge“ in der
Logistik

Hinsichtlich der Steuerung logistischer Prozesse bedeutet das „Internet der Dinge“ den Übergang von zentraler Fremdsteuerung zur dezentralen Selbstorganisation logistischer Netze. Voraussetzung selbststeuernder logistischer Systeme ist ein selbständiger Informationsaustausch autono-mer Objekte in sich selbst organisierenden Logistiknetzen. Dies erfordert die ausreichende drahtlose Informationsvernetzung aller Objekte sowie deren Ausstattung mit einer elektronischen Identität und einer eigenen Umgebungsentelligenz, die auf der massiven Vernetzung von Sensoren, Aktoren, Funkmodulen und Rechnern beruht. So können von logistischen Objekten autonome lokale Entscheidungen auf der Basis momentan ge-gebener Rahmenparameter getroffen und entsprechende Handlungen von-genommen werden.

Am „Internet der Dinge in der Logistik“ wird derzeit intensiv geforscht, und zahlreiche Arbeitsgruppen befassen sich mit den verschiedenen As-pekten. Auf VDI-Ebene wurde erst kürzlich die Arbeitsgruppe „Logisti-sche Assistenzsysteme“ gegründet, die sich mit innovativen Verfahren zur Echtzeit-Visualisierung und -Steuerung komplexer Materialflüsse in der Logistik befasst.

Das „Internet der Dinge“ wird in den nächsten Jahren für die Logistik eine wachsende Bedeutung erlangen. Zu seiner Realisierung besteht je-doch derzeit noch erheblicher weiterer Forschungs- und Entwicklungsbe-darf. Trotz aller wirtschaftlichen und technologischen Herausforderungen zeigt sich Deutschland im internationalen Vergleich jedoch gut positio-niert.

Deutschland in
F&E gut
positioniert

1 EINLEITUNG

Objekte mit eigener dezentraler Intelligenz vernetzen sich, tauschen Informationen aus und bewegen sich autonom in ihrer Umgebung; so sehen Visionäre das „Internet der Dinge“ in Zukunft. Diese Entwicklung könnte noch eine Weile auf sich warten lassen. Fakt ist jedoch, dass sich bereits heute eine sich beschleunigende Konvergenz zwischen der realen Welt und der virtuellen Welt des Internets abzeichnet. Charakteristisch hierfür ist die zunehmende Ausstattung auch von Alltagsgegenständen (Dingen) mit immer kostengünstiger verfügbarer „technischer Intelligenz“ sowie deren elektronischer Vernetzung, die vielfältige Interaktionen sowohl der Gegenstände untereinander als auch zwischen Gegenständen und natürlichen Personen ermöglicht.

Das „Internet der Dinge“ durchdringt immer stärker das Alltagsleben der Verbraucher: Der elektronische Personalausweis, Funketiketten auf Waren und die individuelle Konfiguration vom Auto bis zum Sportschuh über das Internet sind schon heute Realität. Intelligente Einkaufswagen, Verkaufsregale und Selbstbedienungskassen stehen vor dem Markteintritt. Im Zusammenspiel mit Robotik, virtueller Realität und zunehmender Individualität ist ein Kühlschrank, der Rezepte für die bald zu verbrauchenden Lebensmittel vorschlägt und per Internetbestellung selbst für Nachschub sorgt, in wenigen Jahren so selbstverständlich wie heute ein Mobiltelefon. Das „Internet der Dinge“ bildet damit einen wesentlichen Forschungs- und Entwicklungstrend im Bereich der zukünftigen Internet-Gesellschaft.

Insbesondere in der Logistik, die auf einer fein abgestimmten Kette von auf- und ineinander greifenden Abläufen entlang der Wertschöpfungskette angewiesen ist, nimmt der Grad der intelligenten Vernetzung und der Selbstorganisation der Objekte, zum Beispiel Pakete oder Container, stetig zu. Das „Internet der Dinge“ kann jedoch weit mehr. Durch seine dezentrale Struktur des Systems beschränken sich Ausfälle auf die beteiligten Objekte, während sich das gesamte System selbständig an eine neue Situation anpassen und Hindernisse umgehen kann. Dies ist in der Logistikbranche, die häufig Verluste durch fehlerhaft übertragene Daten, wie etwa den Ort einer Warensendung, hinnehmen muss, von großer Bedeutung.

Die Logistik repräsentiert in der sich globalisierenden Welt in zunehmendem Maße eine Schlüsselbranche, und der Logistiksektor ist sowohl für den Wirtschaftsstandort Deutschland als auch weltweit von überragender Bedeutung. Angesichts der Globalisierung, des weltweit wachsenden Warentransportes und des zunehmenden Konkurrenzdrucks besteht ein gesteigerter Bedarf für den Einsatz neuer, innovativer Technologien und der Entwicklung neuer Strategien zur Optimierung logistischer Prozesse. Trends gehen hin zu werthaltigeren Dienstleistungen, zur

Das „Internet der Dinge“ durchdringt das Alltagsleben

„Internet der Dinge“ besonders wichtig in der Logistik

Individualisierung von Produkten und zur zunehmenden „On Demand“-Produktion.

Studie zum
„Internet der
Dinge“ mit
Schwerpunkt
Logistik

In der vorliegenden Studie steht deshalb neben visionären Aspekten insbesondere die Bedeutung des „Internets der Dinge“ für den Logistiksektor sowie eine detaillierte Untersuchung der technologischen Entwicklungen und Trends im Fokus der Betrachtung. Diese bilden die Basis der heutigen Realität des „Internets der Dinge“. Mit der fortlaufenden Entwicklung und Weiterentwicklung neuer Technologien, beispielsweise in den Bereichen RFID, Energieversorgung mobiler Systeme, wireless communication oder auch virtueller Realität, öffnet sich das Anwendungsspektrum des „Internets der Dinge“. Heute noch visionäre Anwendungen rücken in Zukunft in erreichbare Nähe.

2 „INTERNET DER DINGE“ - EINE VISION

In den zurückliegenden Jahren haben Fortschritte in zahlreichen Wissenschafts- und Technologiefeldern – vor allem in Bereichen der Informations- und Kommunikationstechnologien, aber auch der Nanotechnologie und der Materialwissenschaften – zu einer wachsenden Integration elektronischer, sensorischer und aktorischer Komponenten in technische Instrumente geführt. Technische Geräte sind so in wachsendem Maße fähig, innerhalb bestimmter, vordefinierter Grenzen Entscheidungen autonom zu treffen und entsprechende Handlungen auszulösen. Entwicklungen im Bereich der Radiofrequenzidentifikation (RFID), der Polymerelektronik, der Mikrosystemtechnik etc. führen zudem zu einer stetigen Verbilligung elektronischer Komponenten, so dass jenseits höherwertiger technischer Geräte auch (Alltags-)Gegenstände in immer größerem Umfang mit ihnen ausgestattet werden können. Eingebettete elektronische Systeme können Gegenstände etwa mit elektronischen Identitäten, mit Datenspeichern, mit elektronischer Rechenkapazität, mit Möglichkeiten der Umgebungswahrnehmung o. ä. versehen. Diese Entwicklung wird sich in den nächsten Jahren weiter verstärken.

Neben dieser Ausstattung unbelebter Objekte mit „technischer Intelligenz“ ergibt sich eine zunehmende Vernetzung dieser Gegenstände sowohl untereinander als auch mit zentralen oder dezentralen Steuereinheiten sowie mit dem Internet. Derzeit dienen das Internet und lokale Netzwerke vornehmlich dem Austausch von Informationen zwischen natürlichen Personen. In Zukunft wird sich das Anwenderspektrum auch auf Gegenstände erweitern, und die Informationsübermittlung zwischen Personen und Gegenständen sowie zwischen Gegenständen untereinander wird stark an Bedeutung gewinnen. Das Internet wird sich somit in wachsendem Maße zu einem „Internet der Dinge“ erweitern. Zudem wird sich das „Internet der Dinge“ auch nicht auf den reinen Austausch von Information beschränken. Vielmehr wird die Vernetzung intelligenter Gegenstände zunehmend auch den autonomen Austausch physischer Güter ermöglichen. Vor allem diese Variante des selbstgesteuerten Transports „(teil)intelligenter“ Objekte ist für die Logistikwirtschaft von großer Tragweite und eröffnet erhebliche langfristige Innovationspotenziale (vgl. auch Kap. 5).

Der Begriff „Internet of Things“ (IoT) geht auf Kevin Ashton, den Mitgründer und vormaligen Geschäftsführer des Auto-ID Centers des Massachusetts Institute of Technology (MIT) zurück. Er beschrieb mit diesem Begriff bereits 1999 die Vision eines informationstechnisch vernetzten Systems autonom interagierender Gegenstände und Prozesse, die sich durch eine zunehmende Selbstorganisation charakterisieren und zu einer wachsenden Verschmelzung physischer Dinge mit der digitalen Welt des Internets führen.

Objekte
bekommen
„technische
Intelligenz“

„Internet of
Things“;
Begriffshistorie

„Internet der Dinge“; keine geschlossene Technologie

Das „Internet der Dinge“ beschreibt keine geschlossene Technologie. Es existiert derzeit auch noch keine exakte oder allgemein anerkannte Begriffsdefinition. Der Begriff des „Internets der Dinge“ hat sich erst in jüngster Zeit, vor allem in Europa weiter verbreitet und findet nach und nach Eingang in Prozess- und Programmbeschreibungen von F&E-Vorhaben seitens der Industrie und öffentlicher Förderinstitutionen.

„Ubiquitous Computing“

„Pervasive Computing“

Insbesondere im angelsächsischen Raum hat sich die Bezeichnung „Internet of Things“ (IoT) bis heute noch nicht durchgesetzt. Hier sind die Begriffe des „Ubiquitous Computing“ (UC) bzw. des „Pervasive Computing“ (PC) weiter verbreitet, die dort im Wesentlichen synonym zum IoT gebraucht werden. „Ubiquitous Computing“ bezeichnet dabei die Allgegenwart rechnergestützter Informationsverarbeitung auch jenseits des Computers. Im Mittelpunkt steht die zunehmende Integration von elektronischer Logik und Informationstechnologie in die Hintergrundfunktionalität von Alltagsobjekten und -prozessen. Nutzer von UC-Systemen bewirken dabei die simultane „Beauftragung“ zahlreicher solcher Logikkomponenten, ohne dass sie sich dessen direkt bewusst sein müssen. Ähnlich gelagert ist der Begriff des „Pervasive Computing“, der die „alles durchdringende“ Vernetzung des Alltags durch den Einsatz „intelligenter“ Gegenstände bezeichnet. Soweit sensorische Elemente in diese informationstechnologischen Netze integriert werden, werden häufig auch die Begriffe „Real World Awareness“ oder „Context Awareness“ gebraucht, die für unbelebte Objekte oder technische Systeme die Wahrnehmung ihres physischen Kontextes bzw. ihrer realweltlichen Umgebung, etwa durch Temperatur-, Feuchtigkeits-, Beschleunigungs-, Chemosensoren etc., beschreibt.

Umgebungs-wahrnehmung

„Ambient Intelligence“

Das „Internet der Dinge“ geht jedoch über „Ubiquitous Computing“ und „Pervasive Computing“ hinaus. Während UC und PC überwiegend auf der Ausstattung von Objekten mit technischer Logik und der (dezentralen) Verarbeitung akquirierter Umgebungsdaten beruht, spielt beim „Internet der Dinge“ vor allem auch der Aspekt des autonomen Handelns unbelebter Dinge innerhalb eines Netzwerkes eine entscheidende Rolle. Der Schritt vom „Ubiquitous Computing“ zum „Internet der Dinge“ markiert in diesem Kontext den Übergang von der „Umgebungs-wahrnehmung“ („Context Awareness“) zur „Umgebungsintelligenz“ („Ambient Intelligence“). Für technische Systeme bezeichnet dieser nicht nur die Wahrnehmungsfähigkeit der unmittelbaren Umgebung durch sensorische Elemente, sondern darüber hinaus auch den (teil-)autonomen Umgang mit diesen Daten bzw. ein autonomes, „antwortendes“ Handeln etwa mittels aktorischer Komponenten. In einem „umgebungsintelligenten“ Umfeld kooperieren unbelebte Dinge und Systeme, um den Nutzer in seiner Alltags- oder Arbeitsumgebung selbständig und adaptiv zu unterstützen. Dabei ist die „Intelligenz“ für diesen weitgehend unsichtbar im Netzwerk angesiedelt, das die Objekte informationstechnisch verbindet. Durch die zunehmende Miniaturisierung und Einbettung logischer Komponenten

und deren zunehmende Integration in die jeweilige Lebensumgebung verschwinden intelligente technische Systeme überdies verstärkt hinter den Nutzerschnittstellen.

Das zukünftige „Internet der Dinge“ zeichnet sich vor diesem Hintergrund durch Systeme und Technologien aus, die folgende Aspekte erfüllen:

- *Einbettung*: zahlreiche vernetzte Objekte werden in das Lebensumfeld des Menschen integriert
- *Umgebungssensitivität*: Objekte und technische Systeme nehmen den Nutzer in seinem Situationskontext wahr
- *Personalisierung/Individualisierung*: Objekte und technische Systeme können entsprechend der Nutzeranforderungen maßgeschneidert konfiguriert oder ausgelegt werden
- *Adaptierbarkeit*: Objekte und technische Systeme verändern sich entsprechend der an sie gestellten Anforderungen
- *Vorwegnahme*: Objekte und technische Systeme können in gewissem Rahmen Anforderungen des Nutzers voraussehen

Das „Internet der Dinge“ ist Ausdruck einer tiefgreifenden Interaktion zwischen dem Menschen und technischen Systemen sowie von technischen Systemen untereinander, wobei die Systeme selbst in zunehmendem Maße mit technischer Intelligenz ausgestattet sind, die sie in bestimmtem Umfang zu eigenständigem Handeln befähigt.

Für das „Internet der Dinge“ sind somit insbesondere auch „Mensch-Maschine-Schnittstellen“ (MMS) und „Künstliche Intelligenz“ (KI) von großer Bedeutung.

MMS sind ein interdisziplinäres Forschungsfeld mit dem Ziel der Schaffung interaktiver technischer Systeme für den menschlichen Gebrauch. Bei der Ausgestaltung der Schnittstellen sind neben Hard- und Software vor allem auch Bereiche der „Künstlichen Intelligenz“, der Kommunikationsforschung, der Soziologie und der Psychologie von Bedeutung. Zielstellung ist die Entwicklung intuitiver, situationsangepasster Schnittstellen, die auch von technisch nicht versierten Nutzern bedient werden können [TAUCIS 2006], [Lipp 2004]. Gegenwärtig werden neue Interaktionsformen intensiv erforscht und erlangen in zunehmendem Maße erste Marktreife. Das Spektrum reicht von Head-up-Displays, akustischen und haptischen Anzeigen über Sprach-, Schrift-, Mimik- und Gestikerken- nung bis hin zu „Eye-Tracking“-Systemen und Hirnschnittstellen.

Aspekte des
„Internets der
Dinge“

„Mensch-
Maschine-
Schnittstellen“

„Künstliche Intelligenz“

Eng verzahnt mit der Thematik der Mensch-Maschine-Interaktion ist der Bereich der „Künstlichen Intelligenz“ (KI). Die KI befasst sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens bzw. der Nachahmung menschlichen Verhaltens durch Maschinen. Im Fokus steht die Simulation intelligenten Verhaltens mit Mitteln der Mathematik und der Informatik. Im Bereich der KI konnten in den vergangenen Jahren große Fortschritte erzielt werden. Die Anwendungen reichen von Internetsuchmaschinen, Übersetzungsmaschinen und Texterkennungsprogrammen über Sprach- und Handschrifterkennung bis zur autonomen Steuerung von Robotern oder Logistikketten. Während einige Anwendungen bereits vor Jahren kommerzialisiert wurden und als weitgehend ausgereift angesehen werden können, befinden sich andere Ansätze noch eher im Stadium von Prototypenapplikationen.

„Digital Entertainment“ als Innovationstreiber

Als einer der wesentlichen Innovationstreiber auf den Gebieten der „Mensch-Maschine-Schnittstellen“ und der „Künstliche Intelligenz“ stellte sich in den zurückliegenden Jahren u. a. der Bereich des „Digitalen Entertainments“, also vor allem der Video- und Computerspiele dar [Zweck 2006]. Er hat sich inzwischen zu einem rasant wachsenden globalen Markt entwickelt und wirkt zunehmend als Impulsgeber für technologische und gesellschaftliche Entwicklungen. Das Faszinations- und Anwendungspotenzial basiert vor allem auf der interdisziplinären Kombination aus Kunst, Kreativität, Interaktion und Technologie, die Künstler, Designer, Programmierer, Wissenschaftler, Produzenten etc. zusammenführt.

Im digitalen Entertainment verschmilzt eine Vielzahl von Technologien, die häufig an ihrer jeweiligen Leistungsgrenze zur Anwendung kommen. In dieser Hinsicht trägt dieses Feld maßgeblich zur Entwicklung neuer Technologien bei und kann als Innovationstreiber für zahlreiche weitere Anwendungsfelder, gerade auch im Bereich des „Internets der Dinge“, angesehen werden. Insbesondere in der virtuellen Realität verschmelzen Spieleanwendungen zunehmend mit „seriösen“ Applikationen und finden Eingang in Prozessplanungstools, Computersimulationen, „digitale Fabriken“ etc. [Brand und Zweck 2008].

Vereinigung vieler Technologien

Die Realisierung des „Internets der Dinge“ erfordert die Nutzung zahlreicher technologischer Innovationen. Ausgangspunkte des „Internets der Dinge“ sind daher die Weiterentwicklung und der Einsatz einer Vielzahl relevanter Basistechnologien aus unterschiedlichen Technologiebereichen wie Elektronik, RFID, Sensorik/Aktorik, Energieversorgung, Datenübertragung, Datensicherheit etc. Entwicklungen und Anwendungen dieser Technologien reichen jedoch zur Schaffung des „Internets der Dinge“ nicht aus. Entscheidend ist vielmehr deren Zusammenspiel bzw. intelligente Interaktion.

Von großer Bedeutung ist in diesem Kontext der Begriff der „Konvergenz“. Er definiert sich als das „Zusammenwachsen von Einsichten und Verfahren der zugrunde liegenden Wissenschaft und Technik für ein gemeinsames Ziel“ [Nordmann 2005]. Allgemein beschreibt er zunehmende Überschneidungen in den vier bisher getrennten Forschungsfeldern Nano-, Bio- und Informationstechnologie sowie den Kognitionswissenschaften (NBIC). „Konvergierende Technologien“ stellen dabei definitionsgemäß Schlüsseltechnologien und wissenschaftliche Erkenntnisse dar, die miteinander interagieren und sich für ein gemeinsames Ziel gegenseitig befruchten. Durch die rasanten Entwicklungen in den vier genannten Bereichen haben konvergierende Technologien international an forschungspolitischer Bedeutung gewonnen.

„Konvergenz“

Der Kognitionswissenschaft als „Enabler“ wird dabei eine treibende Rolle als zentrales Bindeglied zwischen der Nano-, Bio- und Informationstechnologie zugesprochen. Darüber hinaus treibt die Kognitionswissenschaft als eigenständiges Feld, zum Beispiel im Rahmen der Hirn- und Verhaltensforschung, selbst neue technologische Konvergenzen voran. In ihr sind Konzepte, Methoden und Erkenntnisse – u. a. aus Teilen der Psychologie, den Neurowissenschaften, der Evolutionsbiologie, der Linguistik, der Anthropologie und anderen Sozialwissenschaften – mit formalen Methoden aus der Physik, Mathematik und Computerwissenschaft vereinigt. Ziel ist es, ein grundlegendes Verständnis über kognitive Prozesse zu erhalten und diese in technologische Anwendungen und Systeme zu implementieren.

Kognitionsforschung als „Enabler“

Der Begriff der „Konvergenz“ wird in Wissenschaft und Technik in vielerlei Weise verwendet. Im Bereich der IuK-Technologien wird er häufig genutzt, um etwa gerätespezifische Multifunktionalitäten zu bezeichnen, in der beispielsweise Funktionen von Telefon, Monitor, Computer, Internetzugang und Kamera in einer Anwendung verschmolzen sind.

Konvergenz im IuK-Bereich

Für das „Internet der Dinge“ sind in diesem Sinne zunächst die Konvergenz verschiedener IuK-Technologien sowie die Verschmelzung von Objekten mit informationstechnischen Systemen relevant. Für den oben bereits beschriebenen Aspekt der „Autonomie“ bzw. des „autonomen Handelns“ von Dingen und technischen Systemen ist darüber hinaus vor allem die Konvergenz der Informationstechnologie mit Ansätzen der Kognitionsforschung von entscheidender Bedeutung. An der Schnittstelle zwischen Kognitionswissenschaft und IuK stehen vor allem Technologien im Blickpunkt, in denen durch verstärkte technologische Konvergenzen Synergieeffekte generiert werden und in der Zukunft Innovations- und Entwicklungsimpulse zu erwarten sind.

Forschung und Anwendungsszenarien

Das „Internet der Dinge“ stellt einen Entwicklungsschritt dar, der zahlreiche Bereiche durchdringen und beeinflussen wird. An Anwendungs- und Implementationsszenarien im Kontext des „Internets der Dinge“ so-

wie an den vielfältigen hierzu erforderlichen Basistechnologien wird im Umfeld zahlreicher Branchen derzeit intensiv geforscht. Sie zeigen zum Teil neuartige Möglichkeiten zur Effizienz- und Qualitätssteigerung auf und betreffen sowohl das persönliche Lebens- und Arbeitsumfeld des Menschen als auch ganze industrielle und gewerbliche Prozesse.

Forschungs-
förderung
durch die EU

Auf europäischer Ebene wird das Themengebiet etwa im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU, vor allem im Bereich der „IuK-Technologien“, adressiert [EU 2008a]. Im Herbst 2008 hat die EU-Kommission zudem eine Konsultation „Frühe Herausforderungen eines „Internet der Dinge““ gestartet, die die Möglichkeiten einer europäischen Führungsrolle auf diesem Innovationsgebiet ausloten soll [EU 2008b]. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch das EU-Projekt „CONET“ – hier arbeiten elf europäische Partner aus Forschung und Industrie zusammen –, in dem das „Ubiquitous Computing“ zu einer „Welt der kooperierenden Dinge“ weiterentwickelt werden soll [EU 2008c].

Forschungs-
förderung in
Deutschland

In Deutschland wird das thematische Umfeld des „Internets der Dinge“ vor allem durch Programme der Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) [BMBF 2007a] sowie für Wirtschaft und Technologie (BMWi) [BMWi 2006a] gefördert.

So wird etwa im Automobilsektor seit geraumer Zeit an verkehrstelematischen Systemen oder „Car-to-Car“-Technologien gearbeitet, die den schnellen, lokalen Austausch verkehrsrelevanter Daten zwischen Fahrzeugen erlauben und so zum Beispiel frühzeitig auf Gefahrenstellen oder Stausituationen hinweisen (vgl. [BMBF 2000], [Stibor und Yunpeng 2007]).



Abb. 1

Lokale Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation (Quelle: CAR 2 CAR Communication Consortium)

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist die Gesundheitstelematik, bei der etwa die Erfassung und Weiterleitung gesundheitsrelevanter Daten, die Überwachung von Patienten, auch in ihrer gewohnten Wohnumgebung, erlaubt. Ziele sind hier sowohl die Erhöhung der Lebensqualität von Patienten als auch die Entlastung des Gesundheitswesens von hohen Kosten für lange Klinikaufenthalte [BMWi 2005].

Gesundheits-
telematik

Als vielversprechend wird auch der Bereich der Heimautomatisierung bzw. des „intelligenten Hauses“ angesehen. Hier geht es um die intelligente Vernetzung sowie die einheitliche und nutzergerechte Steuerung von Gegenständen und Systemen des häuslichen Wohnumfeldes. PC und Fernseher werden in diesem Kontext in wachsendem Maße zu Leitzentralen der Haustechnik (Heizung, Beleuchtungssysteme, Jalousien, Herd, Kühlschrank, Waschmaschine etc.) oder der Kommunikations- und Entertainmentelektronik (Telefon, Internet, Radio, TV, Video-on-Demand etc.). Ziel ist die Koordination unterschiedlichster Anwendungen und Dienste unter den Prämissen des Nutzerkomforts und der Energieoptimierung. Anwendungsszenarien von „Smart Home“-Technologien lassen sich auch auf den generellen Bereich der Gebäudeautomatisierung übertragen, der sich nicht mehr nur auf einzelnen Wohnungen fokussiert, sondern auch ganze Gebäude, wie etwa Verwaltungs- und Geschäftsgebäude umfasst. Hier stehen beispielsweise das intelligente Management haustechnischer Systeme, der komfortable Zugriff auf technische Betriebsdaten, aber auch die Durchführung von Zugangskontrollen oder die individuelle Anpassung von Arbeitsumgebungen im Vordergrund.

„Smart Home“
„Smart House“

Eine erhebliche Anwendungsrelevanz besteht auch für Bereiche der Industrieproduktion bzw. industrieller Produktionsanlagen. So ist die Warenproduktion in den modernen Industriegesellschaften durch eine wachsende Komplexität, sowohl der Produktionstechnologien als auch vieler Produkte, gekennzeichnet. Weitere Charakteristika sind die Zunahme der Fertigungsschritte sowie eine zunehmende Individualisierung der Produkte bei gleichzeitig geringeren Chargengrößen. Insgesamt werden industrielle Produktionsverfahren immer komplexer. Im Mittelpunkt stehen verstärkt adaptive und skalierbare Prozesse, die häufig angepasst, umgebaut oder neu ausgerichtet werden müssen [EU 2004]. Folge dieser Entwicklung ist das Erfordernis einer permanenten Überwachung und Optimierung dieser Prozesse. Das „Internet der Dinge“ liefert hier aussichtsreiche Ansätze zur intelligenten Vernetzung von Sensoren und Produktionsanlagen, die sich auf der Basis „smarter“ Maschine-zu-Maschine-Kommunikation rekonfigurieren lassen oder Fertigungsschritte verstärkt auch autonom durchführen. Meldungen über örtliche Prozesszustände und eventuelle Engpässe und Fehler erlauben zudem zeitnahe Reaktionen. Im Mittelpunkt stehen die drahtlose Kommunikation zur Steuerung von Anlagen und Maschinen sowie die Vernetzung von Sensoren und Aktoren. Letztere lassen sich in vielen Fällen zunehmend auch „energieautark“ gestalten, indem sie die zu ihrem Betrieb erforderliche Energie

Industrielle
Produktion

aus ihrer Umgebung „ernten“ und sich selbst versorgen. („Energy Harvesting“, vgl. Kap. 4.5).

Projekt „G-Lab“

Die Weiterentwicklung des Internets zum „Internet der Dinge“ steht auch im Fokus des Projektes „G-Lab“, das seitens des BMBF zunächst mit 3,8 Mio. € gefördert wird. Hier sollen sichere und zuverlässige Plattformen für internetbasierte Anwendungen und Dienstleistungen entwickelt werden, die die Vernetzung technischer Systeme im Sinne eines „Internets der Dinge“ zum Ziel haben. An dem Projekt sind verschiedene deutsche Universitäten und Netzwerk-Unternehmen wie Nokia, Ericsson oder Alcatel-Lucent beteiligt [BMBF 2008d].

„Ambient Assisted Living“

Neben den bereits genannten Bereichen sind vor allem auch Fragen des „Ambient Assisted Living“ von Interesse, die den Themenbereich der alternden Gesellschaft adressieren. Hier werden Anwendungen aus dem Bereich des „Internets der Dinge“ neue Möglichkeiten eines längeren eigenständigen Lebens älterer oder behinderter Menschen in ihren gewohnten Umgebungen schaffen. Ein Aspekt, der vor dem Hintergrund der Altersentwicklung in den europäischen Industriegesellschaften und der Kostenentwicklung im Pflegebereich von enormer Tragweite ist.

Sicherheits-
technologie

Ein weiteres großes Anwendungsfeld tut sich im Bereich der Sicherheitstechnologie und des Wachstums auf. Hier werden etwa Sensornetze durch die wachsenden technologischen Möglichkeiten der drahtlosen „ad hoc“-Vernetzung neue Möglichkeiten der Überwachung sicherheitskritischer Infrastrukturen schaffen, die ein schnelleres Eingreifen bei Anschlägen oder Naturkatastrophen ermöglichen. So sind in Gebäuden etwa Rauchmelder mit integrierter Internetverbindung denkbar, die im Notfall die Feuerwehr informieren. Ein solches System wäre gegenüber konventionellen Meldern im Vorteil, die zwar warnen, aber Hilfe nicht selbständig herbeirufen können.

Logistik

Eine weitreichende Bedeutung ergibt sich auch für den Logistiksektor. Technologien aus dem Bereich des „Internets der Dinge“ zeigen hier neuartige Lösungsansätze auf, mit denen die immer komplexer werdenden logistischen Prozesse organisiert werden können. Auf die speziellen Perspektiven des „Internet der Dinge“ im Bereich der Logistik wird in Kap. 5 detaillierter eingegangen.

Insgesamt ist die Vielfalt der Anwendungen des „Internets der Dinge“, auch kommerzieller Art, zum jetzigen Zeitpunkt in ihrem vollen Umfang noch nicht absehbar, jedoch zeichnen sich Perspektiven bereits heute in zahlreichen Feldern ab.

Kurzfristiges Ziel des „Internets der Dinge“ ist es, realweltlichen Objekten durch eine Verbindung mit dem Internet zusätzliche Funktionalitäten zu geben. In verschiedenen Branchen werden Technologien des „Internets der Dinge“ bereits angewendet, ohne dass sie jedoch als solche bezeichnet würden. Auch einzelne Produkte, wie etwa Navigationsgeräte, die sich per Internet selbst aktualisieren und sich selbständig auf Gefah-

rensituationen wie Stau oder Unfälle einstellen können, werden bereits vermarktet. Grundsätzlich befinden sich viele Anwendungen aber noch im Forschungs- oder Prototypen-Stadium.

Das „Internet der Dinge“ (IdD) und die zunehmende Vernetzung von Mensch und Maschine sind längerfristig auch mit weitreichenden Folgen für die Gesellschaft verbunden. Neben den Vorteilen dieser technologischen Entwicklung, wie etwa der Optimierung von Kommunikationsprozessen und dem wirtschaftlichen IdD-basierter Anwendungen, werden verstärkt auch potenzielle Gefahren und Risiken diskutiert. Diese reichen von gesundheitlichen Aspekten, wie der zunehmenden Anwesenheit elektromagnetischer Felder und einem mit dem IdD verbundenen höheren Energieverbrauch über den großen Bereich der Datensicherheit bis hin zu soziologischen Aspekten der menschlichen Selbstbestimmung.

So sieht das schweizerische Zentrum für Technologiefolgenabschätzung TA-SWISS insbesondere fünf Lebensbereiche bzw. Themen, die besonders betroffen sind: [ZTA 2003], [ZTA 2004].

- *Datenschutz*: Wo endet die Freiheit des Einzelnen, Daten zu sammeln?
- *Sicherheit*: Wer ist für Sicherheitsmängel verantwortlich?
- *Unbeherrschbare Komplexität*: Wer ist verantwortlich, wenn ein technisches System versagt?
- *Freie Meinungsäußerung*: Wo gerät dieses Grundrecht mit anderen Rechten in Konflikt?
- *Geistiges Eigentum*: Wo verläuft die Grenze zu Information als öffentlichem Gut?

Ähnlich wie die technologieorientierte Forschung wird auch die soziologische Forschung im thematischen Umfeld des „Internets der Dinge“ in den kommenden Jahren an Bedeutung gewinnen und gesellschaftsrelevante Aspekte in der gesamten Breite des Themenfeldes analysieren.

„Internet der Dinge“:
gesellschaftliche
Aspekte

3 BEDEUTUNG DES LOGISTIKSEKTORS

Situation des globalen Güterhandels

Angesichts der Globalisierung des Welthandels und der Internationalisierung der Waren- und Informationsströme und der mit diesen verbundenen Finanztransfers kommt dem Logistik-Bereich eine entscheidende und stark wachsende Bedeutung zu. So nahmen die globalen Warenhandelsströme im zurückliegenden Jahrzehnt ständig zu und wuchsen mit durchschnittlich 7 % p. a. erheblich stärker als das globale Bruttoinlandsprodukt, das im gleichen Zeitraum jährlich etwa um 4 % stieg.

Logistik gewinnt in der globalisierten Welt an Bedeutung

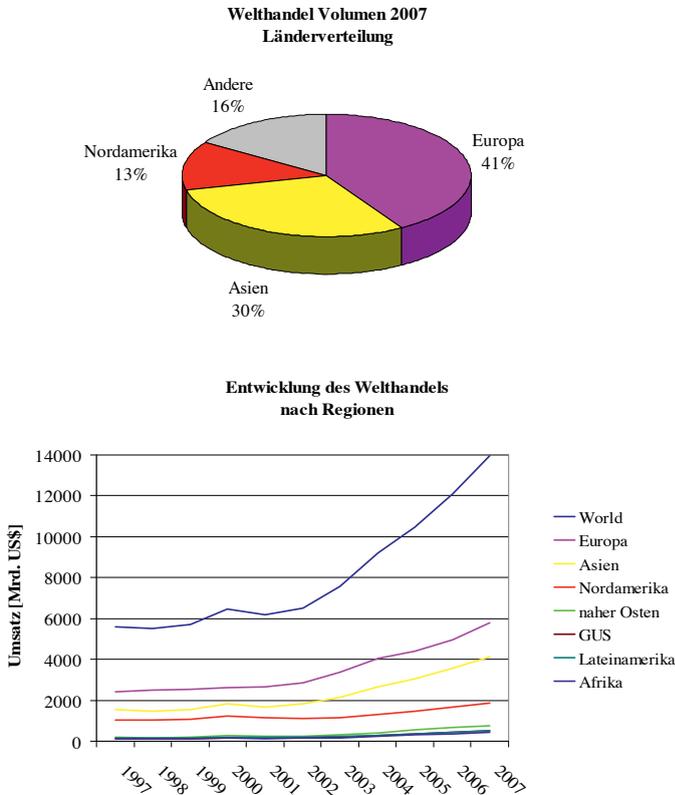


Abb. 2 Entwicklung des weltweiten Warenhandels (Exportvolumen) zwischen 1997 und 2007 und Verteilung auf Weltregionen (Datenquelle: WTO)

Entwicklung des
Welthandels

Abb. 2 zeigt die Entwicklung des globalen Warenhandels während der vergangenen zehn Jahre sowie dessen Verteilung auf die großen Weltregionen. Datenbasis ist die Internationale Handelsstatistik 2008 der Welthandelsorganisation (WTO) [WTO 2008], die das globale Exportvolumen des Güterhandels für diesen Zeitraum detailliert auflistet. Der Statistik zufolge ist Europa mit 41 % der mit Abstand bedeutendste Akteur im Welthandel. Der europäische Anteil ist über den Betrachtungszeitraum weitgehend unverändert geblieben.

Begriffsklärung

Die Logistik repräsentiert in der sich globalisierenden Welt in zunehmendem Maße eine Schlüsselbranche.

Logistik-
Definitionen

Für den Begriff der „Logistik“ finden sich verschiedene Definitionen. So stellt die Bundesvereinigung Logistik e.V. etwa folgende Aspekte heraus: „Logistik umfasst [...] die ganzheitliche Planung, Steuerung, Koordination, Durchführung und Kontrolle aller unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Güter- und Informationsflüsse.“¹ Dies beinhaltet alle Transport-, Lager-, Umschlags- und Mehrwertleistungen. Enthalten ist hierin auch die traditionelle „Seven-Rights“-Definition nach Plowman: „Logistik heißt, die Verfügbarkeit des richtigen Gutes, in der richtigen Menge, im richtigen Zustand, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, für den richtigen Kunden, zu den richtigen Kosten zu sichern“ [Plowman 1964].

„Supply-Chain-
Management“

Im angelsächsischen Raum wird zur Charakterisierung des Begriffes „Logistik“ häufig der Terminus „Supply-Chain-Management“ (SCM) benutzt, der die intelligente Planung und Steuerung von Wertschöpfungsketten beschreibt. Die Organisation dieser Wertschöpfungsketten (Supply Chains) hat dabei maßgeblichem Einfluss auf den Unternehmenserfolg.

Teilgebiete der
Logistik

Im Rahmen der DIN 69904 zum Projektmanagement werden die drei Bereiche Beschaffung, Distribution und Entsorgung unterschieden,² die weiter aufgegliedert werden können: in die Beschaffungs-, Produktions-, Distributions-, Entsorgungs- und Verkehrslogistik. Sie markieren wichtige Teilgebiete der Logistik, die in alle Prozessketten und -kreisläufe einfließen. Auch neue Entwicklungen, wie die auf IuK-Technologien basierende eLogistik, finden in dieser weiten Begriffsbestimmung ihren Platz.

Logistik ist in diesem Zusammenhang nicht nur als eigenständige Branche zu sehen. Sie weist mit ihren inner-betrieblichen und externen Abläufen vielmehr auch eine branchenübergreifende Querschnittsfunktion auf.

¹ http://www.bvl.de/68_1

² <http://www.din.de>

Marktsituation

Die aktuelle Marktstudie „Top 100 der Logistik“ gibt den deutschen Logistikmarkt im Jahr 2007 mit 205 Mrd. € an [Klaus und Kolle 2008]. Insgesamt ist gegenüber den Vorjahren mit 175 Mrd. € (2005) und 189 Mrd. € (2006) ein starkes Wachstum von über 7,5 % festzustellen, das deutlich über dem Zuwachs des Bruttoinlandsproduktes liegt. Infolge dieser Entwicklung steigt auch der Anteil der Logistik an der gesamten Wirtschaftsleistung seit einigen Jahren an. So lag der Anteil 2007 bereits bei etwa 8,5 % des deutschen Bruttoinlandsproduktes [Statistisches BA 2007] im Vergleich zu 7 % im Jahr 2004. Würde die Logistik als eigenständige Branche betrachtet, so würde der Sektor nach der Automobilbranche, dem Maschinenbau sowie dem Gesundheitswesen und noch vor der Chemie und der Ernährungswirtschaft an vierter Stelle rangieren.

Der deutsche Logistikmarkt belief sich 2007 auf 205 Mrd. €

Besondere Treiber dieses Wachstums waren die globale Zunahme des Warenverkehrs, an der Deutschland durch seine Flug- und Seehäfen partizipiert, sowie die positive Wirtschaftsentwicklung in Osteuropa. Hier etablierte sich Deutschland zunehmend als Drehkreuz zwischen West und Ost.

Zunahme des globalen Warenverkehrs

Etwa je die Hälfte des genannten Umsatzvolumens entfällt auf Logistikdienstleister wie Speditionen, Frachtunternehmen etc. und auf sogenannte „Werkslogistik“, also in Eigenleistung erbrachte betriebsinterne Logistikleistungen in den einzelnen Unternehmen und Branchen.

Aufgeteilt nach Funktionsbereichen entfallen 44 % des Logistikvolumens auf Transporte, 25 % auf Lagerhaltung und Frachtumschlag. Der restliche Anteil verteilt sich auf höherwertiger Dienstleistungen wie Auftragsabwicklung, Beständeverwaltung und Logistikplanung („Supply Chain Management“, Prozesskoordination, effiziente Fuhrparkverwaltung etc.).

Da einfache logistische Leistungen wie Transport, Lagerung, Umschlag von Unternehmen etc. bereits heute in starkem Maße an externe Dienstleister vergeben werden, wird das wesentliche Wachstum im Bereich höherwertiger Dienstleistungen gesehen.

Einer der stärksten Wachstumstreiber im Logistikbereich ist das zunehmende „Outsourcing“, also der wachsende Trend von Unternehmen, Teile ihrer Produktion an externe Zulieferer zu vergeben. Entsprechend bildet die sogenannte Kontraktlogistik das derzeit am schnellsten wachsende Marktsegment innerhalb der Logistik. Sie umfasst die vertragsgebundene, längerfristige, arbeitsteilige Kooperation zwischen einem Güterproduzenten und einem Logistikdienstleister. Kontraktlogistik-Dienstleister (engl. „3PL-Third Party Logistics“) übernehmen dabei sämtliche logistischen und logistknahen Aufgaben entlang der Wertschöpfungskette. Der Kontraktlogistik-Bereich erreichte 2007 in Deutschland ein Umsatzvolumen von 23 Mrd. €. In den nächsten Jahren werden speziell in diesem Bereich Wachstumsraten von mehr als 10 % erwartet. Bis 2010 wird ein Volumen von über 30 Mrd. € prognostiziert

„Outsourcing“ als Treiber der Kontraktlogistik

Kontraktlogistik
stärkstes Wachstumssegment

[Klaus und Kolle 2008]. Das theoretische Umsatzvolumen, also das komplette Volumen, das zur Fremdvergabe prinzipiell zur Verfügung stünde, liegt bei bis zu 80 Mrd. €.

Intralogistik
gewinnt an Bedeutung

An Bedeutung gewinnt auch der Bereich der Intralogistik. Unter diesem Begriff werden die Organisation, Durchführung und Optimierung von Material- und Informationsflüssen innerhalb von Industrie- und Handelsunternehmen oder öffentlichen Einrichtungen zusammengefasst. Durch effiziente Rationalisierungen und den Einsatz neuer Technologien lassen sich in diesem Bereich große Einsparpotenziale erzielen. Deutsche Intralogistik-Anbieter belegen mit einem Marktanteil von 50 % den ersten Platz auf europäischer Ebene.

Deutscher
Logistikmarkt
führend in
Europa

Im europäischen Vergleich nimmt der deutsche Logistikmarkt mit großem Abstand den ersten Platz ein. Entsprechend ihrer Wirtschaftsleistung und Einwohnerzahl folgten im Jahr 2007 Frankreich mit einem Volumen von etwa 112 Mrd. € und Großbritannien mit ca. 107 Mrd. €. Der EU-weite Gesamtmarkt belief sich auf etwa 900 Mrd. €.

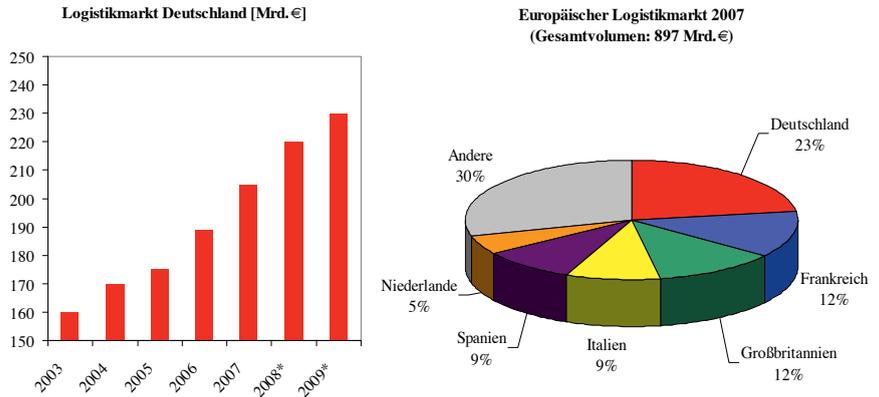


Abb. 3 Umsätze im Logistikbereich. Links: Zeitliche Entwicklung des Logistikmarktes in Deutschland (Werte für 2008 und 2009 prognostiziert). Rechts: Länderverteilung des europäischen Marktolumens (EU plus Norwegen und Schweiz). Das Gesamtvolumen in diesen Ländern belief sich im Jahr 2007 auf etwa 900 Mrd. € (Quelle: Klaus et. al.; ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Beschäftigungswirkung

Aus dem dargestellten Umsatzvolumen ergibt sich für den Logistiksektor auch hinsichtlich der Beschäftigungswirkung eine herausragende Bedeutung. So sind derzeit in Deutschland mehr als 2,6 Mio. Erwerbstätige hauptsächlich in mittelständischen Unternehmen direkt in der Logistikwirtschaft beschäftigt [BMVBS 2008]. Dies entspricht etwa 8 % aller Erwerbstätigen in der Bundesrepublik. Für das unmittelbare Zulieferumfeld – wie etwa Fahrzeugservice, Betriebsstoffe, Dienstleistungen aus Immobilien-, IT- und Finanzwirtschaft etc. – lässt sich eine weitere Beschäftigungswirkung von etwa 700.000 Arbeitsplätzen errechnen. Im weiteren Wirtschaftsumfeld, zu dem etwa die Bauwirtschaft, Verkehrsinfrastrukturen, öffentliche Verwaltungen, Forschung, Aus- und Weiterbildung etc. gehören, ergibt sich eine zusätzliche Beschäftigungsinduzierung von bis zu 1,7 Mio. Arbeitsplätzen.

Mehr als 2,6 Mio. Beschäftigte in der Logistik in Deutschland

Aktuelle Entwicklung

Derzeit ist insbesondere auch aufgrund der jüngsten Verwerfungen im Zuge der Finanzkrise und der in dieser Folge erwarteten globalen Konjunkturschwäche das Klima im Logistiksektor getrübt. Ein deutliches Zeichen hierfür ist etwa der Verlauf des Logistikindicators, der im dritten Quartal 2008 einen starken Rückgang verzeichnete [BVL/DIW 2006]. Der Indikator wird im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik durch das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung erhoben und basiert auf Unternehmensbefragungen zu erwarteten Geschäftsentwicklungen und Lagebeurteilungen für die jeweils kommenden zwölf Monate. Dennoch wird auch für die kommenden Jahre insgesamt mit einem im Vergleich zur Gesamtwirtschaft überdurchschnittlichen Wachstum gerechnet.

Rückgang aufgrund der Finanz- und Wirtschaftskrise

Chancen/Risiken

Aus der dargestellten Situation ergeben sich für Logistikunternehmen in nächster Zukunft folgende Risiken bzw. Chancen:

Risiken:

- *Steigende Transportkosten:* In den kommenden Jahren werden die Transportkosten weiter steigen. Gründe hierfür sind u. a. größere zurückzulegende Strecken in Folge von Globalisierung und EU-Erweiterung, steigende Kraftstoffpreise, Ausweitung von Mautsystemen, die Einführung digitaler Fahrtenschreiber [White Paper 2006], aber auch steigende Personalkosten etwa durch die Einführung des neuen EU-Fahrpersonalrechts hinsichtlich der Lenk- und Ruhezeiten.
- *Fachkräftemangel:* Für die kommenden Jahre wird der Mangel an Fachkräften als Entwicklungshemmnis im Logistiksektor gesehen [IKB 2007]. Dies bezieht sich vor allem auf Ingenieure, Kommissionierer und Logistikplaner für komplexe Betriebsabläufe.

- *Konkurrenzdruck*: Unternehmen im Bereich der Logistik sehen sich seit Jahren einem sich intensivierenden Konkurrenzdruck gegenüber. Ein Situationsindikator ist etwa die Zahl der Unternehmensinsolvenzen, die seit Jahren über der Gesamtwirtschaft liegt. Kleine und mittelständische Logistikunternehmen sind im Vergleich zu großen stärker bedroht, insbesondere wenn sie sich stark auf Standardleistungen wie etwa Transporte fokussieren [IKB 2007]. Der Trend zu größeren Logistikunternehmen wird sich fortsetzen. Mittelständische Unternehmen werden vor allem durch Spezialisierung auf werthaltige Logistikdienstleistungen bestehen können.

Chancen:

- *Kontraktlogistik*: Unternehmen fokussieren sich aus Effizienzgründen auch in Zukunft immer stärker auf ihr Kerngeschäft und werden Logistikdienstleistungen verstärkt „outsourcen“. Insgesamt bietet die Kontraktlogistik große Wachstumschancen.
- *Intralogistik*: Die Transportkosten sind für Unternehmen häufig nur wenig beeinflussbar. Der Druck zur Effizienzsteigerung wird sich daher in besonderer Weise auf innerbetriebliche Abläufe auswirken. Der Organisation intralogistischer Vorgänge wird deshalb eine wachsende Bedeutung zukommen.
- *Werthaltige Dienstleistungen*: Die zukünftigen Anforderungen von Unternehmen und Konsumenten erfordern eine Neugestaltung von Logistikkonzepten, insbesondere in Bereichen wie Prozessoptimierung und Supply-Chain-Management. Der Markt für solche Mehrwertdienstleistungen wird sich stärker entwickeln als der für klassische Transportleistungen. Dem Trend zu werthaltigen Dienstleistungen trägt auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen seines Förderschwerpunktes „Integration von Produktion und Dienstleistungen“ Rechnung, in dem beispielsweise unter dem Themenfeld „Wachstumsstrategien für hybride Wertschöpfung“ neue Formen der unternehmensbezogenen Dienstleistungen gefördert werden [Korte et. al. 2008].

Entwicklungstendenzen

Insgesamt sieht sich die Logistikwirtschaft einer Reihe von Herausforderungen gegenüber, die den Sektor in Zukunft kennzeichnen und zu einem beschleunigten Wandel führen werden. So nennt etwa die Fraunhofer-Arbeitsgruppe „Technologien der Logistik-Dienstleistungswirtschaft (ATL)“ eine Reihe von „Megatrends“ aus dem wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Umfeld, denen sich der Logistikbereich stellen muss.³ Als besonders relevant erscheinen folgende Aspekte:

- *Individualisierung von Produkten:* Der Wandel vor allem in den entwickelten Gesellschaften Europas und Nordamerikas führt zu einer verstärkten Diversifizierung des Produktspektrums bei gleichzeitig abnehmenden Chargengrößen sowie zu einer zunehmenden Verschmelzung von Gütern und Serviceleistungen.
- *„On Demand“-Produktion:* Eine steigende Zahl von Gütern, auch von Konsumgütern, wird erst als Reaktion auf Kundenaufträge produziert und „Just-in-Time“ zur Verfügung gestellt. Hieraus ergibt sich eine „Atomisierung der Auftragsstrukturen“, die eine wachsende Flexibilisierung der Logistiksysteme erfordert.

Auf die Herausforderungen muss die Logistikwirtschaft durch eine Anpassung ihres Angebotspektrums reagieren. Aus technologischer Sicht bedeutsam sind die folgenden in der Liste der „Megatrends“ genannten Punkte:

- *Optimierung der Prozessorganisation:* Logistische Leistungen müssen unter verstärktem Einsatz von Prozess- und IT-Knowhow auf „Just-in-Time-“ und „Just-in-Sequence“ Prozesse sowie auf kontinuierliche Warenversorgung („Continuous Replenishment Programm“; CRP) abgestimmt werden. Dabei wird das nachfrageorientierte, flexible Prozessmanagement verstärkt im Mittelpunkt stehen.
- *Neue Technologien:* Der Logistikbereich wird verstärkt neue Technologien einsetzen, die der immer umfassenderen Vernetzung der Welt Rechnung tragen und diese nutzen werden. So wird das Internet als Träger von Informationsflüssen, Finanztransaktionen, Warenortungssystemen etc. eine immer stärkere Bedeutung gewinnen. Gleichzeitig werden logistische Objekte in zunehmendem Maße mit elektronischen Identitäten und technischer Intelligenz ausgestattet, die vielfältige Interaktionen entlang der logistischen Prozesskette ermöglichen.

Herausforderungen
in der Zukunft

Megatrends in
der Logistik

³ <http://www.atl.fraunhofer.de>

Trends

Vor dem Hintergrund der Globalisierung und des steigenden Konkurrenz- und Kostendrucks zeichnet sich insbesondere für die Industrie und das produzierende Gewerbe bereits seit einigen Jahren eine Reihe von Trends ab:

- Zunehmende Auslagerung der Fertigung
- Verteilung der Fertigung über die ganze Welt
- Steigende Bedeutung Chinas und anderer Auslagerungsländer
- Ausweitung der Zahl der Zulieferer; zunehmende „Kleinteiligkeit“ der Produktion
- Geringere Fertigungstiefe in einzelnen Unternehmen
- Steigender Kooperationsbedarf der Produzenten mit ihren Zulieferern sowie der Zulieferer untereinander
- Steigende Notwendigkeit der Kontrolle der Fertigungs- und der Transportkette
- Steigende Bedeutung innerbetrieblicher Lager- und Transportabläufe

Nutzung neuer
Technologien

Diesen Trends muss sich der Logistikbereich insbesondere durch eine zunehmende Nutzung neuer Technologien stellen. Für den Aufbau effizienter Logistikströme sind vor allem Informations- und Kommunikationstechnologien schon heute unverzichtbar. Für die Zukunft gehen Experten von einem weiterhin stetigen Wachstum des Anteils der IT-Nutzung in der Logistik aus.

Fazit

Der Logistikbereich ist für Deutschland von hoher wirtschaftlicher Bedeutung. Für die kommenden Jahre sieht sich die Logistikbranche vor allem im Zuge der Globalisierung einer Reihe von Herausforderungen gegenüber, denen in adäquater Weise begegnet werden muss. Chancen bieten insbesondere neuartige Anwendungen, die durch das Zusammenführen neuer Entwicklungen aus verschiedenen Technologiebereichen wie etwa IT, Sensorik, Robotik, Automatisierung, Steuerung etc. entstehen.

„Internet der
Dinge“ als Chance
für die Logistik

Die Vision des „Internets der Dinge“ bietet für die Logistikwirtschaft hier einen zukunftsweisenden Ansatz, der eine Vielzahl von Technologien für bedarfsspezifische Anwendungen zusammenbringt (vgl. Kap. 1 und 4).

4 TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNGEN UND TRENDS

Das „Internet der Dinge“ (IdD) stellt keine thematisch geschlossene Technologie dar. Vielmehr repräsentiert es eine Querschnittsanwendung, die sich aus der Konvergenz zahlreicher Teiltechnologien ergibt. Die Basis technischer Systeme oder kommerzieller Anwendungen, die unter den Begriff des „Internets der Dinge“ fallen, bildet die Ausstattung unbelebter Objekte („Dinge“) mit „technischer Intelligenz“, also bestimmten Technologien vor allem aus dem Informations- und Kommunikationsbereich, die sie in die Lage versetzen, ihre Umgebung wahrzunehmen, Daten zu speichern, (teil-)autonom zu handeln und mit anderen „Dingen“ zu kommunizieren.

„Internet der Dinge“;
Querschnittsanwendung

Eine allgemeine oder globale Auflistung, welche Technologien als Teiltechnologien des „Internets der Dinge“ – sogenannte IdD-Technologien – anzusehen sind, ist nicht abschließend möglich. Sie ergibt sich vielmehr von Fall zu Fall aus den konkreten Anwendungen, für die IdD-Ansätze zum Einsatz gebracht werden sollen, und hängt von den Aspekten und spezifischen Anforderungen dieser Applikationen ab. Dies gilt für alle Anwendungsvarianten des „Internets der Dinge“ und insbesondere auch im Bereich der Logistik.

Prinzipiell spielen Entwicklungen aller großen technologischen Themenfelder in das Umfeld des „Internets der Dinge“ hinein. Von besonderer Relevanz sind Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Mikrosystemtechnik und Sensorik/Aktorik. Überdies sind zahlreiche weitere Themen etwa aus den Bereichen der Materialwissenschaften und der Nanotechnologie, aber auch aus Optik/Photonik, Elektronik, Robotik, Computerwissenschaften etc. von Bedeutung.

„Internet der Dinge“,
IuK besonders relevant

Im Folgenden werden einige, für das „Internet der Dinge“ und den Anwendungsbereich der Logistik besonders relevante Technologien hinsichtlich ihres Entwicklungsstandes und ihrer Anwendungsperspektiven detaillierter betrachtet. Von besonderer Bedeutung sind die Radiofrequenzidentifikation (RFID), Sensornetze, Wireless-Technologien und mobile Energieversorgungssysteme.

Die dargestellten Technologien sind im Hinblick auf das oben Erwähnte als Auswahl zu betrachten, die nicht als vollständig angesehen werden sollte.

Die Themenfelder „Künstliche Intelligenz“ und „Mensch-Maschine-Schnittstellen“ spannen eigene große Themenbereiche auf, die im Rahmen dieser Studie nicht im Detail behandelt werden.

4.1 RFID/Smart Label

RFID ist die zentrale und wichtigste Basistechnologie für das „Internet der Dinge“. Sie ist eine Querschnittstechnologie und wird bereits in unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt. RFID steht für „Radio Frequency Identification“ und bezeichnet eine auf Hochfrequenz basierende Informationsübertragung. Das Verfahren gehört zur Gruppe der automatischen Systeme zur Identifikation von Gütern (AutoID) und funktioniert über kontaktlosen Signalaustausch. Im Gegensatz etwa zu Barcodes ist kein „Sichtkontakt“ zwischen Code und Scanner erforderlich. Die Daten werden entweder nur auf Abruf oder automatisch beim Eintritt in den Empfangsbereich eines Lesegerätes gesendet.

RFID-Systeme lassen sich prinzipiell überall einsetzen, wo automatisierte Kennzeichnung, Erkennung, Registrierung, Lagerung, Überwachung, Transport etc. erforderlich sind. Sie charakterisieren sich im Wesentlichen über:

- Elektronische Identifikation (eindeutige Kennzeichnung von Objekten durch gespeicherte Daten)
- Kontaktlose Datenübertragung
- Senden auf Abruf (ein externes Lesegerät initiiert die Datenübertragung)

RFID-Systeme finden seit einigen Jahren in vielen Anwendungsbereichen eine zunehmende Verbreitung. So spielen sie etwa in der Konsumgüterindustrie, im industriellen Produktionsbereich, in der Pharmazie, im Gesundheitswesen, im Bereich der Sicherheitstechnik, im Automobil- und Aerospacebereich und zahlreichen anderen Branchen eine immer größere Rolle. Eine besonders hohe Relevanz besteht für den Logistiksektor sowie den Einzelhandelsbereich. Hier ermöglicht die RFID-Technologie die individuelle Kennzeichnung und genaue Nachverfolgbarkeit von Produkten durch die Warenkette. Zudem lassen sich im Bereich von Lagerhaltung und Inventur erhebliche Einsparungen bei Kosten und Zeitaufwand generieren.

Eine zentrale Rolle bei der Informationsübertragung spielen RFID-Transponder oder RFID-Tags. Sie sind sehr kompakt und können zum Beispiel als Aufkleber direkt an Gegenständen, Waren, Transportbehältern etc. angebracht werden. Die Tags bestehen aus einem Chip sowie einer Antenne zur Funk-Kommunikation mit einem externen Lesegerät.

Die Vorteile von RFID-Transpondern liegen besonders in der hohen Zuverlässigkeit selbst bei extremen Umwelteinflüssen, der berührungslosen Datenerfassung durch das Lesegerät, der Realisierung hoher Speicherkapazitäten zur Einbeziehung von Prozess- und Lieferkettendaten in der Produktidentifikation und dem Potenzial, in Echtzeit mehrere Datenträger in einem Lesevorgang zu erfassen (Pulkerfassung).

Intelligente Etiketten, sogenannte „Smart Label“, basieren auf der RFID - Technologie und sind sehr flache (typischerweise dünner als 0,3 mm) Transponder (ggf. auch mit Datenspeichertechnologie) die samt Antenne auf einer Folie aufgebracht werden. In dieser Definition sind auch intelligente Tickets und andere einlamierte Transponder enthalten, jedoch keine SmartCards, obwohl diese auch mittels Funktechnik im ähnlichen Abstandsbereich funktionieren. „Smart Label“ sind typischerweise „von Rolle“ verfügbar und können mit einer Klebeschicht versehen werden, um die Label auf Stückgut aufzukleben. Neben den elektronischen Informationen können die Smart Label auch mit Papier laminiert werden, so dass zusätzlich aufgedruckte Informationen zur Verfügung stehen.

„Smart Label“

„Smart Label“ gewinnen insbesondere für Unternehmen, aber auch aus gesellschaftlicher Hinsicht in den letzten Jahren stetig an Bedeutung. So können mittels Personen in gefährlichen Einsatzbereichen geortet und entsprechend gewarnt werden. In Unternehmen lassen sich insbesondere im Bereich des Warenflusses Optimierungen erzielen.

„Smart Label“
gewinnen an
Bedeutung

Aufbau von RFID-Transpondern

RFID ist eine Technik zur Identifikation von Gegenständen über Hochfrequenzfunk. RFID wird insbesondere zur Kennzeichnung von Waren sowie zur Optimierung des Warenflusses im Bereich der Logistik, bei Zutrittskontrollsystemen und im Bereich der Entsorgungswirtschaft eingesetzt. Erste elektronische Passsysteme in den USA basieren bereits auf der RFID-Technologie, werden aufgrund der noch ungeklärten Datensicherheit jedoch kontrovers diskutiert.

Moderne Fertigungsmethoden erlauben die Herstellung von Chips, die elektronische Produkt-Codes (EPC) und prozessrelevante Informationen, wie logistische Daten, speichern können (Abb. 4). Produkte werden so weltweit eindeutig und zu jedem Zeitpunkt identifizierbar markiert.

RFID: Eindeutige
Produktidentifi-
kation

Der Elektronische Produktcode (EPC) wurde in einer Kooperation zwischen den AutoID Labs, einem Netzwerk akademischer Forschungseinrichtungen im Umfeld der RFID-Technologie, und dem Konsortium „EPCglobal“ entwickelt. Die zentrale Aufgabe ist es, den Daten- und Warenverkehr mit Hilfe von Standards zu automatisieren und somit unternehmensübergreifende Organisationsabläufe effizienter gestalten zu können. Der EPC ist eine reine Identifikationsnummer. Er enthält keine Daten, die Produkt- oder Arteikeleigenschaften abbilden. Abb. 4 zeigt schematisch den numerischen Aufbau eines EPC. Zusätzliche Informationen wie etwa Produktionsort, Frachtroute, Lagerung oder Chargennummern zur Produktrückverfolgung können entweder in einer Datenbank oder, bei entsprechend vorhandenem Speicher, auf dem Chip selbst gespeichert werden.

EPC

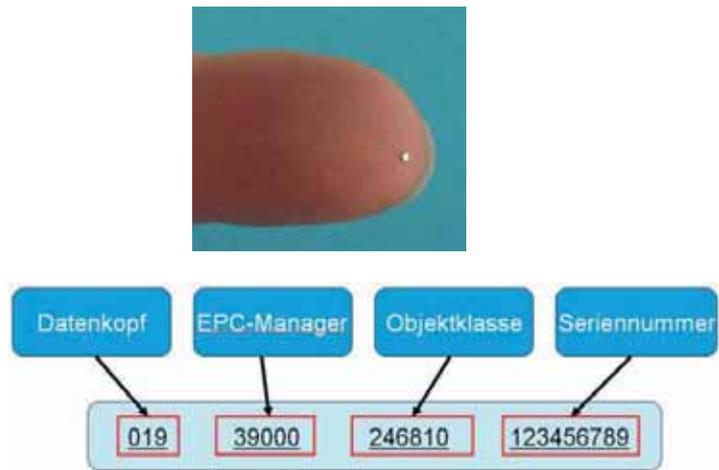


Abb. 4 Oben: RFID-Chip auf einem Finger; unten: Aufbau des EPC (Quelle: ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Ein RFID-System besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten, zum einen dem Transponder (Chip mit Antenne), der zur Kennzeichnung von Objekten verwendet wird. Zum anderen aus dem Reader (Erfassungs- bzw. Lesegerät), der je nach Ausführung aus einer Lese- oder Schreib-Lese-Einheit besteht. Die Bezeichnung Transponder ist ein mittlerweile gebräuchliches Kunstwort und setzt sich aus den Worten „Transmitter“ und „Responder“ zusammen.

Technische
Merkmale
von RFID

Die technischen Merkmale der Transponder sind variabel und hängen stark von den Einsatzbereichen ab. Die einfachste Ausführung stellen Transponder mit der sogenannten „Read-Only“-Funktion dar. Bei diesen Ausführungen können die auf dem Chip gespeicherten Daten, wie beispielsweise der EPC des Chips oder weitere festgelegte Produktinformationen, lediglich ausgelesen werden. Komfortablere Versionen sind nahezu unbegrenzt wiederbeschreibbar, verschlüsselbar oder mit verschiedenen Schreib- und Leserechten ausgestattet. Je nach Speichergröße können unterschiedlich große Datenmengen direkt auf dem Chip gespeichert werden, so dass Daten direkt vor Ort zur Verfügung stehen – ohne eine Datenbank verwenden zu müssen. Abb. 5 zeigt einen RFID-Chip mit Antennenstruktur auf einer Polymerfolie. Die Kombination eines RFID-Chips mit einer Antenne auf einer Polymerfolie wird als RFID-Tag bezeichnet. Die Bauformen von RFID-Transpondern können sehr unterschiedlich sein, dazu gehören beispielsweise:⁴

⁴ <http://www.rfid-ready.de/rfid-bauformen.html>

- Disks und Münzen
- Glasgehäuse
- Plastikgehäuse
- Schlüssel und Schlüsselanhänger
- Uhren
- kontaktlose Chipkarten
- Smart Label
- Smart Ticket
- Coil on Chip (Antenne auf dem Chip)

Mit mobilen oder stationären Readern (Erfassungsgeräte) können Chips je nach Bauart in einer Entfernung von wenigen Zentimetern bis zu 30 Metern angesprochen und ausgelesen werden. Die Daten gekennzeichnete Artikel oder Bauteile werden dann – nicht wie beim Barcode einzeln mit einem optischen Scanner – sondern über Funk ausgelesen. Dazu ist kein direkter Sichtkontakt notwendig und der Erfassungsprozess läuft wesentlich schneller ab.

Lesegeräte



Abb. 5 Komponenten eines RFID-Systems. Links: RFID-Transponder. Mitte: RFID Reader, rechts: Computerapplikation im Bereich Logistik (Quelle: Siemens AG, Bearbeitung durch ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Übertragungstechnik

Weit verbreitet sind RFID-Transponder ohne eigene Energieversorgung. Hier muss die Energie für den Betrieb des Transponders durch das Abfragesignal des Erfassungsgeräts zur Verfügung gestellt werden. Die Antenne des Erfassungsgeräts (Reader) emittiert dazu ein hochfrequentes, elektromagnetisches Wechselfeld, welches den umgebenden Raum und die Antenne des RFID-Tags durchdringt. Dieses Feld induziert in der Antenne des Transponders eine Spannung, die zu seiner Energieversorgung dient. Neben der Energieübertragung dient das Wechselfeld eben-

Transponder
ohne eigene
Energie-
versorgung

falls zur Übertragung von Information zum Transponder, falls dieser die Schreib-Lese-Funktion besitzt. Diese zusätzlichen Informationen können im RFID-Chip gespeichert werden, so dass dem Nutzer neben dem EPC weitere Informationen ortsunabhängig zur Verfügung stehen. Der Schreib-Lese-Vorgang basiert je nach Frequenzbereich auf magnetischer bzw. induktiver Kopplung oder auf elektromagnetischen Rückstreumechanismen. Informationen, die eine Schreib-Lese-Einheit sendet, werden im Chip gespeichert bzw. so moduliert und zurückgesendet, dass der Reader die Taginformationen empfangen kann. Beispielsweise können in nachgeschalteten Computerapplikationen Informationen verarbeitet bzw. ausgewertet und in einer Datenbank hinterlegt werden. Abb. 5 zeigt schematisch den Aufbau eines RFID-Systems.

Kommunikation
über
Radiofrequenz

Die Informationsübermittlung selbst basiert auf einem Radiofrequenz-Verfahren. Die dazu notwendigen Transponder besitzen sogenannte LC-Schwingkreise, welche auf eine spezifische Resonanzfrequenz abgeglichen werden. Das Lesegerät erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld. Befindet sich ein Schwingkreis in der Reichweite eines solchen Wechselfeldes wird Energie in den LC-Schwingkreis eingekoppelt (magnetische Induktion). Der Datenaustausch erfolgt über Amplituden-Modulation des Feldes in beide Richtungen.

Aktive und passive Transponder

Transponder werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Energieversorgung in aktive und passive Systeme kategorisiert. Während aktive Systeme batteriegestützt operieren, entnehmen passive Transponder wie oben beschrieben die Energie aus einem eingekoppelten, elektromagnetischen Feld. Die Reichweite von batteriebetriebenen Transpondern kann mehrere 100 Meter betragen, während passive Systeme eine Reichweite im Meterbereich zulassen. Da passive Systeme energielos arbeiten, ist ihre Lebensdauer nahezu nicht beschränkt, während die aktiver Systeme über die Batteriebensdauer definiert wird.

Passive RFID-Tags

Transponder
ohne eigene
Energie-
versorgung

Passive RFID-Tags ziehen die notwendige Energie zur Kommunikation mit einem Lesegerät induktiv aus den empfangenen Funkwellen. Die Menge der speicherbaren Daten ist bei passiven Systemen wesentlich geringer als bei aktiven Transpondern, daher wird der Speicher üblicherweise nur zur Hinterlegung einer eindeutigen Identifikationsnummer verwendet. Passive RFID-Tags sind im Vergleich zu aktiven Tags kleiner, leichter und wesentlich kostengünstiger herzustellen.

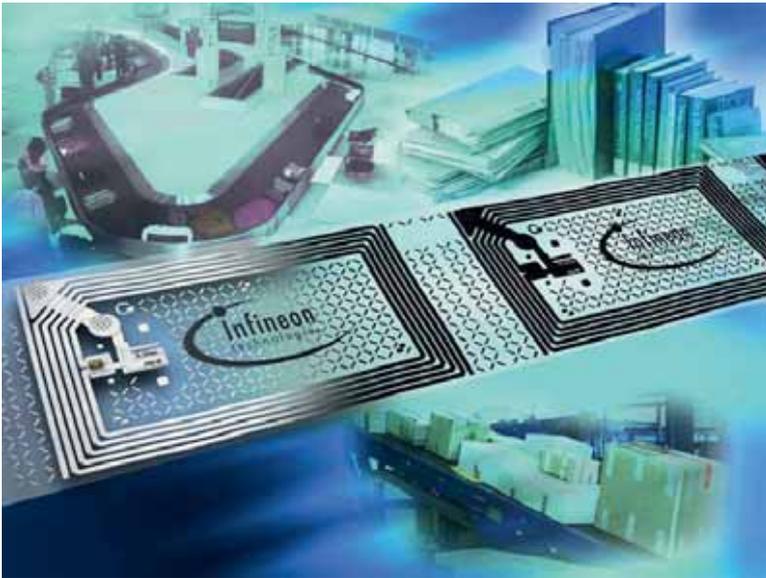


Abb. 6 RFID-Tag hier als Smart Label auf abrollbarer Polymerfolie. Die RFID-Transponder bestehen im Wesentlichen aus drei Komponenten: Dem RFID-Chip auf Silizium-Basis, der Aluminiumgeätzten Antennenstruktur und der Verbindung zwischen Antenne und Chip (Quelle: Infineon Technologies)

Aktive RFID-Tags

Die aktive RFID-Technologie zeichnet sich durch ihre autarke Stromversorgung aus, wobei diese häufig in Form einer Knopfzelle realisiert wird. Mit dieser Energieversorgung ist der Transponder in der Lage, aktiv zu senden. Das übertragene Signal ist typischerweise stärker und kann daher über größere Distanzen übermittelt werden. Aufgrund der Signalstärke kann umgebendes Material besser durchdrungen werden. Beispielsweise können Daten aus Metallbehältern aus größerer Entfernung gesendet und empfangen werden. Eine Kombination mit Sensoren zur Messung von Temperatur, Feuchtigkeit, Bewegung, Gaskonzentration etc. ist ebenfalls möglich. Die ermittelten Daten können gespeichert und beim nächsten Funkkontakt übermittelt werden.⁵

Werden aktive RFID-Transponder nicht über ein Readersystem angesprochen, befinden sie sich typischerweise im Ruhezustand, d. h. sie senden keine Informationen aus. Nur wenn ein spezielles Signal empfangen wird, aktiviert sich der Sender.

Transponder mit eigener Energieversorgung

⁵ http://w1.siemens.ch/ch/de/is/presse/Pages/0308_AktiveRFID-Technologie.aspx



Abb. 7 Aktives RFID-System der Firma Siemens. RFID-Tags in weißen Kunststoffhüllen, Reader in grau/schwarzer Metallhülle (Quelle: Siemens AG)

Vergleich von aktiver und passiver RFID-Technik

Einsatzbereiche

Einsatzbereiche aktiver und passiver Transpondersysteme [ISIS IC GmbH 2002]:

passiv	aktiv
Konsumgüterindustrie	Chemieindustrie
Logistikbranche	Logistik und Cargo
Luftfahrtindustrie	Landwirtschaft
Automobilbranche	Lager- und Tanktechnik
Pharmaindustrie	Kühlkette und Transport
Medizintechnik	Geländekontrolle/ Sicherheitstechnik

Tab. 1 Einsatzbereiche von aktiven und passiven RFID-Transpondern (Quelle: ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Vergleichende, tabellarische Übersicht der Eigenschaften aktiver und passiver Systeme [EU 2002]:

Eigenschaft	Passiv	Aktiv
Größe und Gewicht	klein (dünn)	groß (bei hoher Reichweite)
Kosten	~ 5 Cent -1 €	3 €-100 €
Lebensdauer	unbegrenzt	bis zu zehn Jahren
Reichweite	bis zu 1m, 30m bei opt. Bedingungen	bis zu 300m, einige km bei opt. Bedingungen
Ausfallsicherheit	exzellent	gut
Nutzung von Sensortechnologie	gering oder keine	sehr gut
kontinuierliche Datenübertragung	nein	ja
Multi-Tag-Erfassung	ja, einige Hundert mit hohem Aufwand (Software/Hardware)	ja
Lokalisierung	ja, nur auf kurzer Distanz	ja
Lesegeschwindigkeit	gut	exzellent
Antikollisionseigenschaften	ja, auf Chip implementierbar	ja
geringe Signalstärke (Reader)	keine oder eingeschränkte Funktion	ja
Sicherheitseigenschaften	begrenzt	exzellent
Alarmfunktion	nein	ja
elektronisches Verzeichnis	nein	ja
Datenaufzeichnung	primitiv oder nicht vorhanden	ja

Tab. 2 Eigenschaften von aktiven und passiven RFID-Transpondern
(Quelle: ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Schreib-/Lesegeräte (Reader) und Software

Auf dem Markt ist eine Reihe von stationären und mobilen Readern mit unterschiedlicher Lese- und Reichweite verfügbar. Je nach Anwendung und Anforderungsprofil sind sie auf die entsprechenden RFID-Systeme und technologischen Standards abgestimmt. Die Hersteller von Readern entwickeln permanent neue und kleinere, mobile und stationäre Geräte, um insbesondere die Empfindlichkeit bei der Signalerfassung, die Lesesicherheit sowie die Handhabung und EDV-Anbindung zu verbessern. Neben der Hardware zur Erfassung der Tags spielt die Software für die Reader eine wesentliche Rolle. Im Fokus der Entwicklungen steht insbesondere die „gleichzeitige“ Erfassung mehrerer Tags. In Abb. 8 sind eine solche „Pulkerfassung“ bei der Durchfahrt eines sogenannten „Gates“ sowie zwei unterschiedliche am Markt verfügbare Schreib-/Lesegeräte dargestellt.

Pulkerfassung



Abb. 8 Links: Handterminal DT-X11 mit RFID-Modul für HF- oder UHF-Tags (Quelle: CASIO Europe, Norderstedt). Rechts: RFID-Reader der Fa. Deister electronics für den Einsatz in RFID-Gates mit einer Reichweite von bis zu fünf Meter (Quelle: Deister electronic GmbH, Bearbeitung durch ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Während die Einzelerfassung von RFID-Tags mittels Handterminals relativ problemlos realisierbar ist, müssen während einer Pulkerfassung (siehe Abb. 8, rechts), bei der mehrere hundert RFID-Transponder annähernd gleichzeitig durch ein „Gate“ gefahren werden, Software und Hardware optimal aufeinander abgestimmt werden. So können bereits erfasste RFID-Transponder für mehrere Sekunden deaktiviert werden, um das Signal von unerfassten Tags durch weitere Auslesesequenzen zu identifizieren. Dieses Verfahren kann innerhalb der Reichweite des Lese-/Sendesystems beliebig wiederholt werden, bis alle Transponderdaten erfasst sind. Durch weitere Anpassungen der Ausleseparameter kann die Leserate ebenfalls verbessert werden.

Systeme zur Pulkerfassung finden in den letzten Jahren verstärkt Anwendung in betrieblichen Abläufen, insbesondere im Bereich der Logistik. So setzt die METRO Group etwa die IBM EPICS (Electronic Product Code Information Services) Software ein, um Waren entlang der gesamten Lieferkette zu verfolgen.⁶ Die Software dient als Plattform für das Sammeln und das Management unterschiedlicher Informationen zu Warenbestand und Verfallsdaten sowie weiterer Kennziffern. Die IBM-Software erfüllt alle Anforderungen des GS1 EPCglobal EPICS-Standards, so dass alle Handelspartner die mittels RFID übertragenen Informationen gemeinsam nutzen können.

Frequenzbereiche von RFID-Transpondern

Die derzeitigen RFID-Systeme verwenden eines von drei freigegebenen Frequenzbändern zur Kommunikation. Je nach Einsatzbereich, Anforderungsprofil und Datenübertragungsrate werden folgende Frequenzbänder genutzt:

Frequenzbänder

- Niedrige Frequenzen (30 - 500 kHz) – LF-Bereich: Diese Systeme werden zum Beispiel für Zugangskontrollen, Wegfahrsperren, Warenverfolgung bzw. Lagerverwaltung und Tierkennzeichnung genutzt. Die in RFID-Systemen dieses Typs am häufigsten verwendete Frequenz liegt bei 125 kHz.
- Mittlere Frequenzen (10 - 15 MHz) – HF-Bereich: Diese Systeme besitzen eine kurze bis mittlere Reichweite, eine mittlere Übertragungsgeschwindigkeit und liegen in einer mittleren bis günstigen Preisklasse. In diesem Frequenzbereich arbeiten die sog. Smart Label bzw. Funk-Etiketten (meist 13,56 MHz = HF).
- Hohe Frequenzen (850 - 950 MHz, 2,4 - 2,5 GHz, 5,8 GHz) – UHF- bzw. mW-Bereich: Wesentliche Einsatzbereiche liegen in automatisierten Mautsystemen und Güterwagenidentifikation sowie in Spezialanwendungen, bei der große Reichweiten gefordert sind oder extreme Umweltrahmenbedingungen vorliegen. Typische Frequenzen sind 433 MHz, 868 MHz = UHF, 915 MHz, 2,45 GHz = μ W (Mikrowellenbereich) und 5,8 GHz.

Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzen besitzen RFID-Systeme unterschiedliche Einsätze, die stark von der Umgebung und dem Zweck der Applikation abhängen.

Unterschiedliche
Einsätze

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die Funktionsfähigkeit von RFID-Systemen in verschiedenen Frequenzbereichen:

⁶ <http://informationsforum-rfid.de/presse/210.html>

aktive Transponder-technologie	868 / 915 MHz	2.45 GHz
Reichweite	↗	→
Metall in der Umgebung	↗	↗
Antikollision	↗	→
Lebensdauer	→	→
Beschreibbarkeit	↗	→
Kosten pro Transponder	↘	↘

Tab. 3 Funktionsfähigkeit aktiver RFID-Systeme nach Frequenzen (Quelle: Deister electronics, ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

passive Transponder-technologie	125 kHz	13.56 MHz	868 / 915 MHz	2.45 GHz
Wasser, Feuchtigkeit	↗	↗	→	↘
Metall in der Umgebung	↗	→	↗	↗
Reichweite	→	→	↗	↗
Antikollision	↘	↗	↗	↗
Kosten pro Transponder	↘	→	↗	↗

Tab. 4 Funktionsfähigkeit passiver RFID-Systeme nach Frequenzen (Quelle: Deister electronics, ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Einsatz und Nutzen von RFID-Transpondern

RFID und EPC

Die Einführung des EPC und RFID bringt Unternehmen je nach Produktkategorie, Lieferkettenprozessen und firmenspezifischen Verbesserungsfeldern unterschiedliche Vorteile. So haben Kosten-Nutzen-Analysen von IBM schon vor einigen Jahren gezeigt, dass die Verwendung von RFID/EPC-Systemen den Bestandsverlust um durchschnittlich 25 % bei Kartons und durchschnittlich 40 % auf Articlebene senken

kann [Franke und Dangelmaier 2006]. Daneben haben Early Adopters Tests der RFID-Technologie in Unternehmen vor Ort gezeigt, dass das Nutzungspotenzial signifikant steigt, wenn die beteiligten Handelspartner das EPC-Netzwerk lieferkettenübergreifend implementieren. Die nachstehende Tabelle hebt die wesentlichen erwarteten Vorteile, insbesondere für den Handels- und Vertriebssektor, hervor.

Verkaufsregale	<ul style="list-style-type: none"> • Bestandsoptimierung • kontinuierliche Übersicht über den Bestand im Lager und in den Verkaufsregalen • Rückgang der Diebstahlquote • höhere Produktivität des Personals im Verkaufsraum • bessere Verkaufszahlen durch weniger defensives Merchandising
Vertriebszentrum	<ul style="list-style-type: none"> • Effizienzsteigerungen bei der Warenannahme und bei der Begleichung von Forderungen • Senkung der Arbeitskosten • weniger Rücksendungen • Bestandsoptimierungen • Verfolgbarkeit hochwertiger Güter oder Sonderbestellungen
Fertigwarenlager	<ul style="list-style-type: none"> • niedrigere Arbeitskosten für Annahme, Lagerung, Kommissionierung und Versand von Waren • Eigentumsnachweis beim Gütertransport • weniger Rücksendungen und Reklamationen • verbesserter Gütertransfer und Zahlungsprozess • verbesserter Service durch weniger Out-of-Stock-Situationen
Fabrik	<ul style="list-style-type: none"> • Bestandsgenauigkeit ab Werk (Fertigwaren) • automatisch generierte und überprüfte Versanddaten werden an Finanz- und Bestandsysteme weitergeleitet

Tab. 5 Vorteile der RFID- und EPC-Einführung (Quelle: IBM Business Consulting Services)

Forschung, Anwendungen, Trends

Im Jahr 1987 wurde die RFID-Technologie zum ersten Mal in Norwegen kommerziell vermarktet [Domdouzis et. al. 2007]. Seitdem hat es wesentliche Fortschritte in Transponder- und Readertechnologie gegeben. Mittlerweile sind die Smart Label interessant für die verschiedensten Branchen des Handels, der Konsumgüterindustrie, der Elektronikindustrie, der Automobilindustrie bis hin zur Pharmaindustrie. Für alle Anwendungsbranchen besteht eine Relevanz vor allem im Bereich logistischer Abläufe. Die Branchen erwarten von dieser Technologie eine verstärkte und verbesserte Automatisierung und Kontrolle logistischer Prozesse

1987 erste
Vermarktung
von RFID

sowie neue Service-Modelle. In Deutschland ist bereits eine große Anzahl von RFID-Technologie-Anbietern angesiedelt und Anwendungen sind unter Alltagsbedingungen bei unterschiedlichen Unternehmen im Einsatz. Dennoch werden weiter Lösungen gesucht, mit denen auf spezielle Probleme reagiert werden kann. Dazu zählt insbesondere die Suche nach kostengünstigen Herstellungsmöglichkeiten. In diesem Zusammenhang wird intensiv auf dem Gebiet der Polymerelektronik geforscht, um zukünftig gedruckte RFID-Transponder auf dem Massenmarkt anbieten zu können (siehe Kap. 4.4). Druckbare Schaltungen könnten dann einschließlich Antenne extrem kostengünstig und gleichzeitig mit dem Produktaufdruck angebracht werden, so dass keine weiteren Prozesse für das Aufbringen von Transpondern notwendig werden. Damit würde sich der Einsatz dieser Technologie zunehmend auch für Massenmärkte und Einwegprodukte lohnen. Zudem würde der teurere und aufwendigere siliziumbasierte Chip entfallen.



Abb. 9 Gedruckte polymere RFID-Tag., Links: Schaltkreis auf biegsamer Plastikfolie, rechts: PolyID®-Tag, 13,56 MHz (Quelle: PolyIC-Pressebild)

Intensive
Forschung für
Logistik-
anwendungen

Zurzeit wird intensiv auf dem Gebiet „RFID in der Logistik“ geforscht. So entwickeln verschiedene Verbände im Rahmen der Förderbekanntmachung „MST-Smart Label“ des BMBF neue Technologien für den Einsatz der RFID-Technologie [BMBF 2004]. Dabei geht es u. a. um die Speicherung von Sensordaten (Temperatur, Feuchte, Licht), um RFID-Systeme mit Displaytechnologien, technische Textilien und um die Optimierung der Energieversorgung aktiver Transponder.

Neben der Optimierung der Reichweite und der Leserate, stehen zurzeit auch neue Entwicklungen der RFID-Technologie in metallischen Umgebungen im Fokus. Aufgrund von Abschirmeffekten und häufig undefinierten Abstrahlcharakteristika stößt insbesondere die passive Transpondertechnologie an ihre Grenzen. Während aktive Systeme ihre eigene Energie dazu nutzen können metallische Oberflächen zu durchdringen, unterliegen die passiven Systeme erheblichen Einschränkungen. Neuere Entwicklungen im Bereich „Tag on Metal“ zeigen jedoch, dass auch die passive Transpondertechnologie erfolgreich eingesetzt werden kann, indem zum Beispiel auf die Rückseite eines Labels eine Metallfolie angebracht und die Resonanzfrequenz entsprechend angepasst werden. Voll-

ständig verkapselte Systeme mit metallischer Rückwand sind bereits am Markt verfügbar, diese sind ebenfalls hinsichtlich ihrer Resonanzfrequenz auf die Bauform und das eingebrachte Metall abgestimmt. Abb. 10 zeigt einen RFID-Transponder der für den Einsatz in metallischer Umgebung geeignet ist.

Transponder auf
Metall



Abb. 10 RFID-Transponder in metallischer Umgebung. Links: RFID-Transponder auf metallischer Oberfläche im Multimedia-Bereich. Rechts: RFID-Transponder zur Kennzeichnung medizinischer Geräte und in einem metallischen Bauteil integriert (Quelle: microsensys GmbH, Erfurt)

Trends

Die RFID-Technologie wird in den kommenden Jahren stark an Bedeutung gewinnen. Eine vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) in Auftrag gegebene Studie [BMWi 2007] sieht folgende Eckdaten für RFID:

RFID gewinnt an
Bedeutung

- Für wesentliche Branchen der Volkswirtschaft wird RFID mittelfristig zu einer Querschnittstechnologie avancieren. Bis 2010 werden Güter und Dienstleistungen im Wert von etwa 62 Mrd. € in ihrer Wertschöpfung durch RFID beeinflusst.
- Deutsche Unternehmen – vor allem in Handel, Logistik und Automobilwirtschaft – sind innerhalb Europas führend bei der Erprobung und Umsetzung von RFID-Anwendungen.
- Kurzfristig ist RFID eine Rationalisierungstechnologie, die die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen stärkt.
- Mittel- und langfristig werden neue Produkte, Anwendungen und Dienstleistungen durch RFID entstehen.
- Im RFID-Bereich verfügt Deutschland über wettbewerbsfähige Technologieanbieter und -dienstleister, vor allem im mittelständischen Bereich.
- Bei Technologieanbietern und -dienstleistern ist mit einem steigenden Bedarf an hochqualifizierten Fachkräften zu rechnen.

Märkte

Starkes
Marktwachstum

Der globale RFID-Markt ist zwischen 2007 und 2008 um etwa 8 % von 4,9 Mrd. US\$ auf 5,3 Mrd. US\$ angewachsen. Er umfasst Funketiketten, Lesegeräte, Software und Services. Das mit etwa 3 Mrd. US\$ größte Teilsegment stellen RFID-Karten dar, die restlichen 2,3 Mrd. US\$ entfallen auf alle anderen RFID-Varianten und reichen von einfachen RFID-Labeln bis zu aktiven RFID-Etiketten [Das und Harrop 2008b]. Insgesamt wird die Anzahl weltweit benutzter RFID-Tags im Jahr 2008 auf über 2,1 Mrd. Stück anwachsen. Dies bedeutet einen über 20-prozentigen Anstieg gegenüber 2007 mit einem Verbrauch von etwa 1,7 Mrd. Stück. Auf den Bereich der sogenannte „schnell drehenden Konsumgüter“ innerhalb des Einzelhandels, also der Waren, die schnell durch die Verkaufsregale wandern, entfallen 2008 voraussichtlich etwa 325 Mio. Tags. Sie werden überwiegend zur Markierung von Paletten sowie von Lager- und Transportbehältern verwendet. Eine stark steigende Tendenz zeigt auch die Verwendung von RFID-Etiketten im Textil- und Bekleidungsbereich.

Die Studie des BMWi sieht bis 2016 ein Gesamtvolumen des RFID-Marktes von über 20 Mrd. € und erwartet einen mehr als 400-fachen Anstieg der Anzahl weltweit eingesetzter RFID-Tags.

Derzeit noch zu
hohe Kosten für
Massenprodukte

In vielen möglichen Anwendungsbereichen wird die RFID-Technologie aufgrund zu hoher Kosten derzeit noch nicht umgesetzt. Im Bereich gedruckter, organischer RFID-Tags werden kontinuierliche Fortschritte erreicht. Damit wird der Einsatz dieser Technologie mittelfristig auch für Massenmärkte und Einwegprodukte möglich. Der Markteintritt von zunächst sehr einfachen gedruckten RFID wird noch für das laufende Jahr erwartet. Als langfristige Vision wird RFID den bisherigen Barcode auf allen alltäglichen Produkten ersetzen.

4.2 Wireless Communication und Funknetze

Die Vision eines „Internets der Dinge“ beruht auf der Schaffung einer Vielzahl smarter Alltagsgegenstände und deren intelligenter Interaktion. Neben der Verfügbarkeit immer preisgünstigerer und energieeffizienterer Logikbausteine ist es vor allem auch die Schaffung geeigneter Kommunikationstechnologien, die den Informationsaustausch zwischen diesen Objekten in geeigneter Weise erlaubt. Wird der Aspekt der Mobilität nicht ortsgebundener Objekte berücksichtigt, kommt der drahtlosen Datenkommunikation, der Ausgestaltung entsprechender Kommunikationsschnittstellen und der Möglichkeit der Ad-hoc-Vernetzung eine entscheidende Bedeutung zu.

Innerhalb der Halbleitertechnologie wird die drahtlose Datenübertragung als einer der größten Wachstumsmärkte angesehen.

Drahtlose Datenübertragung als Wachstumsmarkt

Großflächige Versorgung/Mobilfunk

Im Mittelpunkt der „Wireless Technologien“ stand bislang vor allem die Mobiltelefonie. Sie stellt Breitbandzugänge für die großflächige Versorgung zur Verfügung. Hier wurden im Laufe der Entwicklung verschiedene Standards geschaffen. Sie nahmen ihren Ausgang bei den analogen Systemen der „ersten Generation“, wie etwa in Deutschland den A-, B- und C-Netzen, die aber mittlerweile nicht mehr betrieben werden. Als Nachfolger haben sich Standards der zweiten und dritten Generation durchgesetzt:

Versorgung des Fernbereichs

- *GSM*: Das „Global System for Mobile Communications“ ist der erste Standard der „zweiten Generation“ und das weltweit verbreitetste Mobilfunk-Verfahren. GSM ist ein Standard für voll-digitale Mobilfunknetze und ermöglicht im Wesentlichen Sprachtelefonie, aber auch leitungs- und paketvermittelte Kurzmitteilungen (SMS). Für die Übertragung von Daten mit stark schwankender Datenrate wurden spezielle Verfahren wie GPRS (General Packet Radio Service) oder EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) entwickelt
- *UMTS*: Das „Universal Mobile Telecommunications System“ ist ein weltweit verbreiteter Mobilfunk-Standard der „dritten Generation“ für die Übertragung von Audio- und Videotelefonie sowie von Datendiensten (Internet, SMS). UMTS integriert Sprachtelefonie und Datenverbindungen, wohingegen diese beim Mobilfunk der zweiten Generation (GSM für Sprachtelefonie, GPRS und EDGE für Datenverbindungen) noch getrennt laufen. Für reine Datendienste (Maschine zu Maschine) ist UMTS ausreichend. Für sehr hohe Datenraten wie etwa beim mobilen Zugriff auf das World Wide Web wurden HSDPA und HSUPA (High Speed Downlink Packet Access/High Speed Uplink Packet Access) entwickelt. Die Verfahren ermöglichen DSL-ähnliche Übertra-

gungsgeschwindigkeiten und machen den Download großer Datenmengen auch ohne Kabel- oder WLAN-Verbindung möglich. UMTS mit seiner Ergänzung HSDPA und dem Datendienst GPRS in den aktuellen GSM-Netzen bleibt auf absehbare Zeit die einzige flächendeckende Mobilfunktechnologie, mit der Internetdienste und Multimediainhalte aus dem Internet für mobile Geräte drahtlos zur Verfügung gestellt werden kann.

- *WiMAX*: „Worldwide Interoperability for Microwave Access“ ist ein Übertragungsverfahren nach dem Standard IEEE 802.16, das auf einem exklusiven Frequenzspektrum für den drahtlosen Breitbandzugang genutzt wird. Das versorgte Gebiet einer Basisstation kann mehrere Quadratkilometer groß sein. Bei 50 Kilometern Sender-Empfänger-Abstand werden Datenraten von 70 Mbit/s spezifiziert. Diese werden aber nur mit Richtantennen bei direktem Sichtkontakt erreicht. Bei rundstrahlenden Basisstationen und mobilen Empfängern werden erheblich geringere Datenraten erreicht. WiMAX konkurriert mit GSM- und UMTS-Mobilfunknetzen. Im „WiMAX-Forum“ sind über 400 Unternehmen von Netzausrüstern bis zu Endgeräteherstellern zusammengeschlossen. Ziele sind ein Aufbrechen der Dominanz der Mobilfunkbranche bei den Lösungen für den drahtlosen Netzzugang sowie die Schaffung einer Alternative für die „letzte Meile“ des kabelgebundenen Telefonanschlusses. Intel liefert den ersten Chipsatz seit 2007 aus, so dass mit einer serienmäßigen Ausrüstung von Notebooks gerechnet werden kann. Der Aufbau von WiMAX-Funknetzen wird in Deutschland und Mitteleuropa jedoch auf einzelne Gebiete beschränkt bleiben. Ballungsräume werden höchstens punktuell versorgt, so dass WiMAX eher private als geschäftliche Anwender ansprechen wird.

Im Bereich des Mobilfunks zeichnen sich seit einiger Zeit Marktsättigungen ab. In Folge dessen sind die zu erwartenden Wachstumsraten hier eher gering.

Nahbereichsfunk

Versorgung des
Nahbereichs

Stark wachsende und für die Zukunft aussichtsreiche „Wireless Technologien“ sind dagegen die drahtlose Datenübertragung im Konsumelektronikbereich sowie die kabellose Vernetzung von Maschinen auf der Basis von Low-Power-Funktechnologien. Hier wurden in den letzten Jahren deutliche Fortschritte erzielt, und die funkbasierte Vernetzung entwickelt sich verstärkt zu einer Alternative zur kabelgebundenen Kommunikation. Überdies zeichnen sich weitere Anwendungen sowohl bei Point-to-Point-Verbindungen als auch hinsichtlich komplexer Funknetze ab, die aus einer Vielzahl stationärer und mobiler Knoten bestehen.

Im Bereich der Low-Power-Funktechnologien sind die folgenden Verfahren von besonderer Relevanz:

- **WLAN:** „Wireless Local Area Network“ ist eine für großflächige Netzwerke geeignete lizenzfreie Funktechnik zur Datenübertragung bis 300 Meter Entfernung in Frequenzbereichen um 2,4 GHz bzw. 5,0 GHz. Auf WLAN-Basis lassen sich Internetzugänge im Nahbereich realisieren. Der Zugang kann an frequentierten Orten (Flughäfen, Züge, Hotels etc.) gegen Entgelt ermöglicht werden („Hot Spot“). Durch überlappende Accesspoints sind WLAN-Netze beliebig erweiterbar. Für WLAN wurden verschiedene Standards nach IEEE 802.11 normiert. Die maximale Datenrate im Standard 802.11 g beträgt 54 Mbit/s, teilt sich jedoch auf die Anzahl der Anwender auf. Unterschieden werden zwei Betriebsarten: Der „Ad-hoc-Modus“ ohne feste Infrastruktur für die direkte (oder auch vermittelte) Verbindung zweier Teilnehmer und der „Infrastruktur-Modus“, bei dem eine zentrale Basisstation die Datenverwaltung übernimmt. Wireless LAN ist vor allem für die drahtlose Überbrückung von kabelgebundenen DSL- und Breitbandanschlüssen zu Endgeräten etabliert. Notebooks, PDAs und Smartphones haben auf diese Weise im Heimbereich oder in „Hot Spots“ einen preiswerten Zugang zum mobilen Internet, ohne kommerzielle UMTS- oder GPRS-Verbindungen nutzen zu müssen. Auch im Industriebereich ist WLAN weit verbreitet und am Markt etabliert.
- **Bluetooth:** Ein in den 1990er Jahren entwickelter Industriestandard gemäß IEEE 802.15.1 für die Funkvernetzung von Geräten über kurze Distanz (etwa drei Meter). Über Bluetooth-Schnittstellen können Computer und Peripheriegeräte wie auch mobile Endgeräte (Notebooks, Mobiltelefone, PDAs etc.) miteinander verbunden werden. Bluetooth dient vor allem zur Ersetzung von Kabelverbindungen. Bluetoothgeräte senden im Bereich um 2,4 GHz und dürfen weltweit zulassungsfrei betrieben werden. Die Datenrate ist geringer als bei WLAN. Mehrere Bluetooth-Netze sind untereinander störungsfrei parallel betreibbar. Störungen können aber durch WLAN-Netze, Schnurlostelefone oder Mikrowellenherde verursacht werden, die im gleichen Frequenzband arbeiten.
- **UWB** („Ultrawideband“): Der Ultrabreitbandfunk (IEEE-Standard 802.15.3a) stellt eine Variante von Bluetooth dar und gilt als Alternative zu kabelgebundenen USB-Anschlüssen. UWB ist eine Funktechnik mit hohem Datendurchsatz und ist für die Verbindung von Geräten im Nahbereich (ca. Zehn Meter) gedacht. Genutzt wird das Frequenzspektrum von 1,6 bis 10,6 GHz. UWB ist als integrierter Mittler für verschiedene Protokolle wie Bluetooth, Wireless USB und auch IP-Datenverkehr geeignet. UWB erweitert die Möglichkeiten der Nahfunkschnittstelle Bluetooth. Es bietet grundsätzlich Querschnittsverbindungen zwischen Telekom-

„Hot Spots“

„Ad hoc“
Vernetzung

munikation, Computer und Consumer-Elektronik. Durch seine Mehrprotokollfähigkeit ist die automatische Identifikation und Verbindungsaufnahme mit unterschiedlichen Peer-to-peer-Netzen oder lokalen Servern möglich. Standardisierungsbemühungen innerhalb der IEEE waren bislang erfolglos, so dass verschiedene Entwicklungskonsortien mit inkompatiblen Systemen operieren. Industrielle Anwendungen sind derzeit nicht absehbar.

- *NFC*: „Near Field Communication“ nach den Standards ISO 18092 und ISO 21481 ist eine sehr kurzreichweitige, hochfrequente, drahtlose Technologie, die den Datenaustausch zwischen Geräten über eine Entfernung von etwa Zehn Zentimeter erlaubt [Ortiz 2008]. NFC basiert auf einer Kombination aus Smart-Card-Technologien und kontaktlosen Verbindungstechnologien und arbeitet im Bereich um 13,56 MHz. NFC-Geräte können mit gängigen ISO 14443 Smart-Cards und Lesegeräten kommunizieren und sind kompatibel zu ersten bereits bestehenden kontaktlosen Bezahl- und Kontrollinfrastrukturen, etwa bei elektronischen Fahrkarten im öffentlichen Nahverkehr. NFC ist hauptsächlich zum Gebrauch mit Mobiltelefonen vorgesehen. Eine Annäherung NFC-kompatibler Geräte in den Bereich weniger Zentimeter löst die Verbindungsaufnahme aus. Durch die kurze Reichweite gelten NFC-basierte Transaktionen als relativ sicher. Der NFC-Standard wird durch das „NFC-Forum“ – ein Konsortium aus Hardware-, Software- und Kreditkartenunternehmen, Banken, Netzwerkprovidern, etc. – festgelegt. NFC ist eine noch recht neue Technologie. Erste NFC-Geräte, wie das Nokia Mobiltelefon 6131 NFC, wurden bereits in den Markt eingeführt. Zahlreiche Anwendungen sind im Prototypenstadium oder stehen an der Schwelle zum Markteintritt.
- *ZigBee* nach IEEE-Standard 802.15.4 ist für ein selbstorganisierendes Netzwerk zur lokalen Datenkommunikation vorgesehen. Die Namensgebung geht auf den Zickzackflug von Bienen zurück: Zu übermittelnde Information sucht in einem ZigBee-Netzwerk selbständig den schnellsten und günstigsten Weg von Knoten zu Knoten. Bei gestörten Knotenpunkten wird eine alternative Route gewählt. Ein Charakteristikum von ZigBee ist die Möglichkeit der „Multi-Hop-Kommunikation“, bei der die Daten über mehrere Netzwerkknoten hinweg übertragen werden. Sender und Empfänger müssen also nicht in unmittelbarer Funkreichweite zueinander stehen. Die Reichweite zwischen Sender und Empfänger hängt von der Sendeleistung ab und liegt zwischen Zehn Meter und 75 Meter. Es soll die Lücke zwischen Bluetooth und WLAN schließen. ZigBee erreicht zwar nur geringere Datenraten als Bluetooth, hat jedoch einen sehr niedrigen Energieverbrauch. Besonders wichtig ist dies für unzugängliche Sensoren, wo der

NFC-Prototypen

„Multi-Hop-Kommunikation“

Batteriewechsel schwierig ist oder die Versorgung über „Energy Harvesting“ Technologien aus der direkten Umgebung gelingen muss. Bei ZigBee halten Energiespeicher je nach Datenaufkommen und Funkreichweite mehrere Monate bis Jahre vor. Ist das Gerät inaktiv, wechselt es in einen verbrauchsarmen Stand-by-Modus.

Abb. 11 gibt für verschiedene Funktechnologien einen Überblick über den Zusammenhang zwischen Mobilität und Übertragungsgeschwindigkeiten [Deutsche Bank Research 2006].

Überblick
Funktechnologien

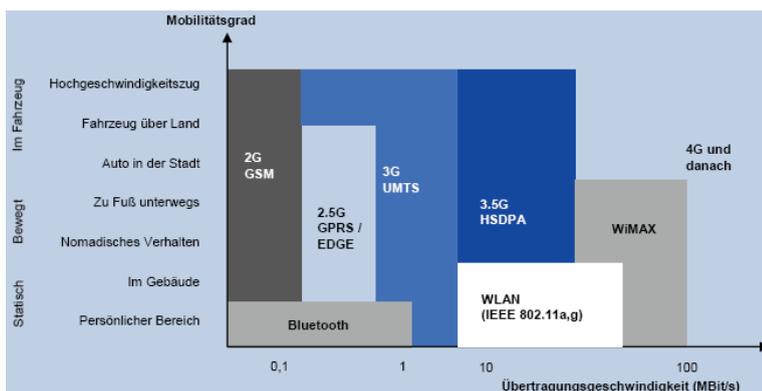


Abb. 11 Funktechnologien nach max. möglicher Übertragungsgeschwindigkeit und Mobilität (Quelle: Deutsche Bank Research, 2006)

Neben den genannten Systemen gibt es noch eine Vielzahl weiterer standardisierter, vor allem aber proprietärer lokaler Funktechnologien. Letztere werden von verschiedenen Unternehmen hauptsächlich für geschlossene, meist industrielle Anwendungen entwickelt. Proprietäre Technologien sind für spezielle Applikationen oftmals flexibler und können besser für den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Nachteilig ist jedoch die fehlende Interoperabilität.

Die Anwendungsschwerpunkte drahtloser Funkverbindungen kurzer Reichweite liegen derzeit noch stark bei Multimediakommunikation, Unterhaltungselektronik, Bürokommunikation, PC- und PC-Peripherie-Netzwerken etc. Mit der rasanten Verbreitung, insbesondere von WLAN und Bluetooth im Heim- und Office-Bereich, wird der Einsatz dieser Technologien jedoch auch für andere Bereiche interessant. So zeichnet sich für die kommenden Jahre eine verstärkte Nutzung drahtloser Technologien ab, zum Beispiel im Kraftfahrzeug- und Verkehrsbereich, im Gesundheitswesen, bei neuen Bezahlssystemen und Sicherheitstechnologien oder bei Industrieanwendungen und Warenlogistik.

Wichtige Gründe für die Ausbreitung von drahtloser Kommunikation im gewerblichen und vor allem auch im industriellen Bereich sind Kosten-

einsparung bei der Installation, Instandhaltung und Materialverbrauch. Ein Pluspunkt ist auch die Möglichkeit dynamischer Installationen, bei denen Daten zu bewegten oder temporär verfügbaren Teilnehmern übertragen werden müssen.

Aufgrund der Verfügbarkeit preiswerter Basissysteme zeichnet sich vor allem der Einsatz von Systemen auf Basis des IEEE 802.11 Standards ab. Insgesamt ist eine Tendenz zu Technologien, die auf offenen internationalen Standards beruhen, zu beobachten, während die Verwendung proprietärer Vernetzungskonzepte eher rückläufig ist. Im industriellen Bereich werden vor allem WLAN, Bluetooth und ZigBee genutzt.

Protokoll-
transparenz

Ein Vorzug insbesondere von WLAN und Bluetooth ist deren Protokolltransparenz. So können nicht nur TCP- und IP-Protokolle, sondern auch die meisten industriellen Ethernet-Protokolle sowie PROFINET übertragen werden. Die Anforderungen an drahtlose PROFINET-Technologien wurden von der PROFIBUS-Nutzerorganisation bereits spezifiziert.

Drahtlose Funktechnologien kommen verstärkt in industrietauglichen Varianten auf den Markt. Sie erweisen sich oft als weniger störanfällig und weniger wartungsintensiv als kabelgebundene Systeme. Zudem lassen sich bei automatisierten Anlagen oder Sensornetzen zur Prozessüberwachung durch die massive Reduzierung von Kabelverbindungen vor allem auf der Feldebene sowie der Maschinen- bzw. Geräteebene zum Teil erhebliche Kosteneinsparungen erzielen.

Ein Beispiel aus dem Bereich der Industrieautomation ist etwa eine Packstation mit einem Drei-Achs-Portalroboter der Firma Phoenix Contact. Zwischen Steuerung und I/O-Modul auf dem Greifer werden die Daten nicht per Schleppkette, sondern via Bluetooth übertragen, was erhebliche Einsparungen ermöglicht [Phoenix 2006].

WLAN im
Industrieinsatz

Auch WLAN-Systeme gibt es bereits in industrietauglichen Varianten. So entwickelte etwa Siemens das Funknetz „IWLAN“ (Industrial WLAN), mit dem sich Daten auch im industriellen Einsatz zuverlässig übertragen und Maschinen kontaktlos bedienen lassen. Die Technik ist auf die Erzeugung gut kontrollierbarer Funkfelder auch in komplexen Fabrikumgebungen optimiert. IWLAN-Systeme sind inzwischen bei verschiedenen Automobilherstellern im Einsatz [Siemens 2005].

IWLAN



Abb. 12 Links: Bluetooth-Steuerung in der Industrieautomation, digitales I/O-Gerät auf dem Greifer; Bluetooth Basisstation am Rahmen (Quelle: Phoenix Contact GmbH & Co. KG). Rechts: IWLAN-Funknetz in industrieller Anwendung, Einsatz der Technik im Volkswagenwerk Emden (Quelle: Siemens-Pressebild)

Auch im Logistikbereich verbreiten sich drahtlose Kommunikationstechnologien immer mehr. In der Intralogistik übertragen insbesondere Geräte zur mobilen Datenerfassung (MDE) Informationen etwa über Lagerbestände und Lagerorte verstärkt über Funknetze und stehen mit betrieblichen ERP-Systemen in Verbindung, so dass wichtige Daten vor Ort in Echtzeit zur Verfügung stehen bzw. erfasste Daten direkt in die Ressourcenplanungssysteme fließen. So können die Wege bestimmter Waren bis auf die Palettenebene genau verfolgt werden. Auch innerbetriebliche Transportfahrzeuge wie etwa Gabelstapler werden verstärkt in Funknetze integriert oder durch diese geführt.

Eine wichtige Rolle in der Intralogistik spielt auch die Ortung bzw. Warenverfolgung. Hier erlauben WLAN-basierte Lokalisierungssysteme wie etwa „MobileWorks-locate“ jederzeit die Verfolgung, insbesondere werthaltiger Güter per Laptop, MDE, Barcode- oder RFID-Reader [AJE]. Bei unerlaubter Warenbewegung oder anderen Arten der Grenzüberschreitung erlaubter Bereiche können Alarmmeldungen generiert werden.

Im Bereich der externen Logistik wird die Warenverfolgung meist über öffentliche Anbieter per GSM/GPRS oder UMTS realisiert. Hier ist etwa an Warenumschlagsorten eine Positionierung über die Mobilfunkzelle oder noch genauer über das globale Positionierungssystem GPS möglich. Im Management von LKW-Flotten können über Asset Tracking-Systeme zudem auch kritische Größen wie etwa Temperaturen von Kühlcontainern oder technische Daten der Transportfahrzeuge (Reifendruck, Motortemperatur etc.) per GSM/GPRS an die Zentrale gemeldet werden.

Drahtlose
Kommunikation
in der Logistik

Lokalisierung

Warenverfolgung

Neben den genannten Systemen existieren verschiedene weitere drahtlose Kommunikationssysteme für den industriellen Einsatz. Einige ermöglichen neben der reinen Datenübertragung zusätzlich auch noch eine drahtlose Energieübertragung zur Versorgung von Sensoren und Funkmodulen.

F&E-Bedarf

Robustheit

Für die drahtlose Signalübertragung muss insbesondere im gewerblichen Einsatz eine besonders hohe Robustheit sichergestellt sein. Dies ist bei den beschriebenen Industrie-Varianten von WLAN sowie bei ZigBee in verstärktem Maße gegeben. Bluetooth erweist sich noch als störanfälliger, so dass bekannte elektromagnetische Störquellen von den Systemen ferngehalten werden müssen. Bei der kabellosen Energieübertragung muss zudem die elektromagnetische Verträglichkeit im Hinblick auf Mensch und Maschinen gesichert sein.

Anpassung an Industrie- anwendungen

Funktechnologien werden ständig weiterentwickelt. So steht, wie bereits seit einigen Jahren, auch in der kommenden Zeit die Anpassung von im Multimedia- und Heimbereich bereits etablierten Funksystemen an die höheren und teilweise speziellen Anforderungen des Industriebereiches im Fokus der Entwickler. Ein Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Robustheit der Signalübertragung auch bei teilweise hohen Relativgeschwindigkeiten zwischen Sende- und Empfangsmodulen sowie der Handhabung von Abschattungen und Mehrwegausbreitungen in komplexen Umgebungen.

Mobile Ad-hoc-Netze

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Anpassung von Funkstandards wie beispielsweise WLAN Standard IEEE 802.11 an hochdynamische Anwendungen in mobilen Ad-hoc-Netzwerken mit sich ständig ändernden Netz-Topologien. Zudem sind noch Priorisierungskonzepte zu entwickeln, die die Handhabung wichtiger oder gar sicherheitsrelevanter Applikationen gegenüber weniger wichtigen Anwendungen festlegen und regeln.

Das Erreichen einer höheren Flexibilität und Skalierbarkeit ist eine weitere technische Herausforderung. Zur Kombination mit Sensor- und Steuerungssystemen ist die Anbindung an Steuerungsnetze wie etwa Fahrzeugbordnetze oder an industrielle Feldbussysteme wie „Profibus“ erforderlich. Dabei ist vor allem in vielen industriellen Anwendungen eine zuverlässige Echtzeit-Funktionalität des Systems notwendig.

Mobile Energie- versorgung als kritischer Punkt

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Energieversorgung von drahtlosen Funkmodulen oder Sensoren in Überwachungssystemen. Typische batteriebasierte Betriebszeiten liegen bei WLAN zwischen einem halben und fünf Tagen, bei Bluetooth zwischen einem und sieben Tagen und bei ZigBee zwischen 100 und 1.000 Tagen. Die hohe Leistungsaufnahme insbesondere von WLAN-Systemen im Dauerbetrieb ist derzeit Gegenstand von Optimierungsbemühungen. So bietet seit kurzem die Firma RF

Digital das erste WLAN-Modul mit bis zu zehn Jahren Laufzeit mit einer Mignon-Batterie kommerziell an.⁷ Das Modul basiert auf einem extrem energieeffizienten Chipsatz der Firma GainSpan.

Andere F&E-Aktivitäten sehen die drahtlose Energieversorgung dezentraler Einheiten vor. Die Effizienz solcher Systeme ist jedoch derzeit noch recht gering. Bei der Anwendungsentscheidung stehen sich die geringe Effizienz drahtloser Versorgungssysteme und der Wegfall wartungsintensiver Batteriesysteme gegenüber.

Gearbeitet wird zudem am Aufbau spontaner Ad-hoc-Netzwerke. Im Mittelpunkt steht die Vergrößerung der Reichweite durch das „Multi-Hopping“-Verfahren, bei dem einzelne Funkknoten nicht nur als Sender und Empfänger, sondern auch als Router fungieren. Diese Technologie ist vor allem für hochmobile Gesamtsysteme interessant, wie sie im Automobil- und Verkehrsbereich, aber auch im logistischen Warenfluss auftauchen. Erforderlich sind eine Weiterentwicklung der existierenden Funksysteme auf physikalischer Ebene (zum Beispiel geeignete Antennencharakteristik und situationsabhängige Anpassung der Sendeleistung), aber auch eine Optimierung der Netzwerkprotokolle, um den spezifischen Anforderungen an Performance, Verfügbarkeit, Vertraulichkeit und Sicherheit gerecht zu werden.

Ad-hoc-
Netzwerke

Die Technologie wird derzeit hauptsächlich im Rahmen von Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikationssystemen (Car-to-Car-Communication) vorangetrieben. So arbeiten Audi, BMW, Daimler, Fiat, Opel, Renault und Volkswagen an der Realisierung entsprechender WLAN-Netze, die den Pkws im Nahbereich den Austausch von Sensordaten oder Informationen über Verkehrsstörungen ermöglichen. In den Ad-hoc-Netzen können die Daten bei entsprechender Fahrzeugdichte auch über mehrere Schritte an entfernte Verkehrsteilnehmer gemeldet werden.

Car-to-Car-
Communication

Märkte

Insgesamt wird für die nächsten Jahre mit einem starken Anstieg der Nutzung drahtloser Kommunikationstechnologien insbesondere im industriellen Bereich gerechnet. So prognostiziert das Marktforschungsunternehmen ABIresearch eine Steigerung von weltweit 100.000 WLAN-Installationen im Industrieinsatz im Jahr 2006 auf insgesamt ca. fünf Millionen im Jahr 2012 [ABIresearch 2007]. Ein Teil resultiert dabei aus dem Ersatz kabelgebundener Technik, der andere aus dem erstmaligen Einsatz von Sensortechnik zum Beispiel im Condition Monitoring, der überhaupt erst durch drahtlose Anwendungen attraktiv wird.

Starkes
Wachstum
erwartet

Das Marktforschungsunternehmen BCC Research geht für drahtlose Automationssysteme in industrieller Anwendung für die nächsten fünf Jahre

⁷ www.presseportal.de/pm/71093/1186216/gainspan_corporation_rf_digital und www.rfdigital.com (Produktnummer RFD21715)

von einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von über 50 % aus [Wilson 2008]. Insgesamt soll sich das Marktvolumen zwischen 2008 und 2013 von 138 Mio. US\$ auf etwa 1,3 Mrd. US\$ erhöhen. Führender Sektor ist der Maschinenbau, gefolgt von der Chemieindustrie und der Lebensmittelproduktion.

4.3 Drahtlose Sensoren/Sensornetzwerke

Drei wesentliche Aspekte des „Internets der Dinge“ können durch die Begriffe „Umgebungssensitivität“, „Interaktion“ und „Mobilität“ beschrieben werden. So ist die Ausstattung unbelebter Objekte mit „technischer Intelligenz“ nur dann sinnvoll, wenn diese Objekte mit der Fähigkeit versehen werden, bestimmte Eigenschaften ihrer Umgebung wahrzunehmen. Technisch lässt sich dies mit Sensoren realisieren, die etwa Temperatur- oder Feuchtigkeitsdaten registrieren, Beschleunigungsdaten erfassen, oder ganz allgemein physikalische, chemische oder biologische Parameter ausmessen. Nach der Erfassung müssen diese Daten in geeigneter Weise weitergeleitet werden. Dies geschieht zumeist kabel- bzw. busgebunden zwischen einem Sensor und einer nachgeschalteten zentralen Verarbeitungseinheit. Komplexe Systeme oder Abläufe werden im Allgemeinen durch eine Vielzahl verschiedener Sensoren überwacht, die zu Sensornetzwerken zusammengefasst werden.

Mit der wachsenden Komplexität der Systeme sowie den in den vergangenen Jahren stark angestiegenen Anforderungen hinsichtlich der freien Beweglichkeit bzw. Mobilität technischer Geräte oder Anlagen gelangen kabelgebundene Systeme immer häufiger an ihre Grenzen, und drahtlos untereinander kommunizierende Sensorsysteme gewinnen stetig an Bedeutung.

Drahtlose Sensoren können ihre Umgebung autonom überwachen, vermessen und analysieren. Sie tauschen Ihre Daten drahtlos untereinander und mit Knotenpunkten aus. Neben der höheren Mobilität bietet der Einsatz drahtloser Sensoren im Vergleich zu drahtgebundenen Systemen verschiedene weitere Vorteile, wie etwa eine größere Redundanz und eine kompaktere Bauweise. Herkömmliche Sensornetzwerke erfordern eine Verdrahtung der Sensoren und Steuerelemente, um die Verbindung aller Elemente untereinander zu realisieren. Dies führt wiederum zu hohem Installations- und Wartungsaufwand aufgrund geringer Skalierbarkeit und hoher Ausfallraten der Verbindungselemente. Die Anforderungen an drahtlose Sensornetzwerke sind hoch. So müssen sehr viele Sensoren integrierbar sein, der Energieverbrauch sollte möglichst gering und die Lebensdauer möglichst hoch sein. Weiterhin müssen diese Netzwerke so dynamisch sein, dass jederzeit Sensoren integriert oder herausgelöst werden können, ohne dass das gesamte Sensorsystem davon störend beeinflusst wird.

Autonome
Überwachung

Ein drahtloses Netzwerk besteht aus Sensorknotenpunkten, die in einem definierten Gebiet angebracht werden, um technische Parameter wie Temperatur, Feuchtigkeit, Vibration, seismische Aktivitäten etc. zu überwachen [Akyildiz et. al 2002]. Ein typischer Sensorknotenpunkt besitzt drei wesentliche Komponenten:

Sensorknoten

- ein Sensorsystem zur Datenaufnahme der Messgrößen

- ein Prozessorsystem zur Verarbeitung und Speicherung der Daten
- ein drahtloses Datenübertragungssystem

Energie-
versorgung

Zusätzlich muss eine Energieversorgung für die Komponenten zur Verfügung stehen. Typischerweise wird diese Energie von Batterien mit einer produktspezifischen Kapazität zur Verfügung gestellt. Wiederaufladbare Batterien sind teilweise gar nicht oder nur schwer einsetzbar, da Sensorknoten häufig in Bereichen installiert sind, die einen direkten Zugang erschweren [Anastasi et. al 2009]. Dennoch soll die Lebenszeit der Sensorknoten relativ hoch sein, damit das gesamte Netzwerk möglichst lange und stabil arbeiten kann. Die Lebensdauer derartiger Netzwerke variiert zwischen einigen Monaten und mehreren Jahren. Teilweise ist es möglich, Energie aus der Umwelt zu entnehmen („Energy Harvesting“). Die Energieversorgung mobiler Systeme stellt gerade für Sensornetze einen entscheidenden Aspekt dar. Auf diesem Gebiet wird intensiv geforscht (vgl. Kap. 4.5). So hat etwa die Firma EnOcean erste Produkte, die Energie aus der Umwelt wandeln können, entwickelt und in ihr Portfolio aufgenommen.⁸ Neben der Verbesserung der Energieversorgung steht zudem auch die Entwicklung energiesparender Sensornetze im Fokus.

Aufbau von
Sensornetzen

Ein Sensornetzwerk besteht typischerweise aus einer Basisstation und vielen Sensorknoten, die über ein weites Gebiet verbreitet sind. Die Daten werden dann von Sensorknoten zu Sensorknoten übermittelt, um schließlich die Basisstation (Basis) zu erreichen. Abb. 13 zeigt eine solche Sensornetzwerk-Architektur.

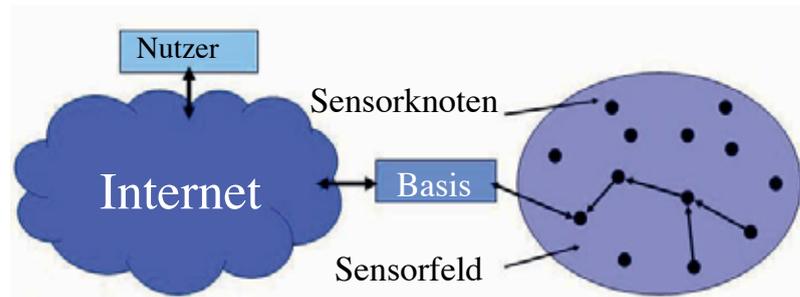


Abb. 13 Sensornetzwerk-Architektur (Quelle: ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Je nach Einsatz sind für die Sensornetze eine hohe Ausfallsicherheit, eine sehr geringe Fehlertoleranz und eine 100-prozentige Datenübertragung unabdingbar. So müssen vor allem in industriellen Anwendungen kritische Messgrößen schnell und mit 100-prozentiger Sicherheit übertra-

⁸ <http://www.enocean.com/de/energiewandler/>

gen werden, auch um im Gefahrenfall ein „Not-Aus“ oder einen Systemstop einzuleiten.

Im Bereich der Sensornetze finden derzeit vielfältige Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten statt. Einer der Schwerpunkte liegt beispielsweise bei vernetzten, sensorischen Mikrosystemen. Hierbei handelt es sich um energieautonome, mobile und leicht nachrüstbare mikroskalige Systeme, die in gewissem Umfang mit „technischer Intelligenz“, also Speichern und Logik ausgerüstet sind, und zudem Sensordaten aufnehmen, verarbeiten und weiterleiten sowie Aktorelemente ansteuern können.

Viele F&E-Aktivitäten

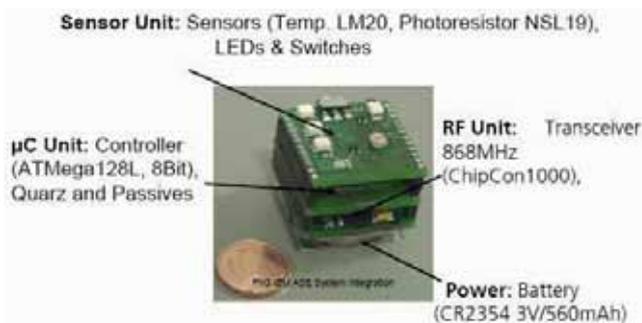


Abb. 14 Prototyp eines drahtlosen Sensor Moduls mit 26 x 26 x 24 mm (Quelle: TU Berlin, Fraunhofer IZM)

Ein autonomes vernetztes Sensorsystem besteht aus einer Vielzahl solcher Mikrosysteme, die am Untersuchungsgegenstand angebracht oder über ein zu observierendes Gebiet verteilt werden. Dabei nehmen sie wichtige Umgebungsparameter auf und leiten die Daten drahtlos über Funk weiter. Die derzeit am weitesten fortgeschrittenen Entwicklungen vernetzter, energieautarker Mikrosysteme sind das an der University of California in Berkeley entwickelte Konzept „SmartDust“⁹, sowie die „e-Grain“-Technologie¹⁰ des Fraunhofer Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM). Beide Konzepte befassen sich mit der Entwicklung und Konditionierung von Sensornetzen für Überwachungsaufgaben. Forschungsaktivitäten im Bereich energieautarker Mikrosysteme werden derzeit etwa seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in zahlreichen Projekten gefördert (vgl. etwa [BMBF 2007a], [BMBF 2007]). Zur Versorgung energieautarker Mikrosysteme sind insbesondere „Energy Harvesting“-Konzepte von Bedeutung (vgl. Kap. 4.5).

Sensorische Mikrosysteme

Um konkrete Anwendungsszenarien von Sensornetzen im Bereich der Logistik geht es u. a. im Projekt „VitOL“ [FhG 2008] der Fraunhofer

⁹ <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust>

¹⁰ <http://www.e-grain.org/overview/index.html>

Gesellschaft, das von einem Verbund verschiedener Fraunhofer Institute getragen wird. Im Rahmen des Projektes geht es unter anderem um Fragen der dezentralen Steuerung von Waren- und Güterflüssen und um die Einsatzmöglichkeiten von Sensornetzen in logistischen Warenflusssystemen und die Integrierbarkeit in bestehende IT-Infrastrukturen.

Anwendungen

Für drahtlose Sensornetze ergeben sich zahlreiche Anwendungsfelder.

„Smart Home“
„Smart House“

So werden sie zunehmend im Bereich „Smart Home“ bzw. „Smart House“, also zur Automation von Gebäuden eingesetzt. Hier steuern sie etwa Beleuchtungssysteme, Energiemanagement oder Sicherheitssysteme. Aufgrund der drahtlosen Technologie können rund 10 % der Installationskosten für Sensoren in Neubauten eingespart werden. Zur Kommunikation innerhalb von Häusern wird der ZigBee-Standard eingesetzt, um sicherzustellen, dass auch Geräte unterschiedlicher Hersteller miteinander kommunizieren können (vgl. Kap. 4.2).

Industrielle
Fertigung

In Produktions- und Fertigungsanlagen werden häufig viele Sensoren und Aktuatoren eingesetzt, die auf Datenebene entweder untereinander oder mit einem zentralen Steuergerät verbunden sein müssen. Kabelverbindungen sind aufgrund eines großen Installations- und Wartungsaufwandes im Vergleich zu drahtlosen Sensor- und Aktuatornetzwerken kostenintensiv und störungsanfällig. In herkömmlichen Netzwerken ist für jeden Sensor zum einen eine Energieversorgung und zum anderen eine Datenleitung notwendig. Die Energieversorgung kann entweder über Leitungen oder in drahtlosen Systemen über Batterien bzw. „Energy Harvesting“-Verfahren erfolgen. Mittels drahtloser Sensornetze können auch frei bewegliche Objekte, wie Gabelstapler, ins Netzwerk eingebunden werden. Für Anwendungen in Produktion und Fertigung ist neben dem IWLAN Standard von Siemens auch der WISA Standard (Wireless Interface for Sensors and Actuators) der Firma ABB am Markt verfügbar [Frey 2005].

Automobil-
Anwendungen

Ein zukünftiges Anwendungsgebiet stellt der Einsatz von drahtlosen Sensornetzwerken in Automobilen dar. Fahrzeuge der neuesten Generation verfügen über eine Vielzahl unterschiedlicher Sensoren, welche sowohl die Umgebung als auch das Fahrzeug selbst überwachen. Diese sind zurzeit vielfach über komplexe Daten- und Energieleitungen verbunden. Funkende Sensoren mit autarker Energieversorgung (Batterien mit langer Lebensdauer, „Energy Harvesting“, Energiesparende Sensoren) können hier dazu beitragen, die kostenintensive und störanfällige Verkabelung zu ersetzen und dadurch sowohl Herstellungskosten als auch Gewicht einzusparen. Drahtlose Sensoren werden derzeit verbreitet u. a. zur Reifendruckkontrolle eingesetzt. Der im Ventil oder Reifen integrierte, batteriebetriebene Sensor funkt dabei die Reifendruckdaten an einen Empfänger, der in der Nähe des Reifens angebracht ist. Abb. 15 zeigt einen batteriebetriebenen Reifendrucksensor, der im Ventil integriert wurde.



Abb. 15 Reifendrucksensor am Ventil eines Rades (Quelle: Continental Automotive GmbH)

Weitere Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich in folgenden Bereichen bzw. werden für diese Anwendungen diskutiert:¹¹

- Warenverfolgung
- Lagerverwaltung
- Container-und Tanküberwachung
- Verkehrsflussüberwachung
- Parkleitsysteme
- Verschleißüberwachung
- proaktive Wartung
- Stromleitungsüberwachung
- Schadensanalyse
- Sicherheit und Personenschutz
- Abwasserkontrolle
- Leckentdeckung
- Strömungsmessung
- industrielle Prozessüberwachung
- Medizinische Sensorik/Gesundheitsüberwachung/Telemedizin
- Aktionen in unwirtschaftlichen Umgebungen
- Katastrophenbewältigung
- Intelligente Museen/Messen

¹¹ <http://www.cpp-entwicklung.de/downld/RFIDs-Vortrag.pdf>

Trends

Zunehmende
Reife

In den letzten Jahren wurde die drahtlose Sensortechnik bis zur Serienreife entwickelt. Unternehmen konnten sich auf Funkstandards einigen und schaffen verstärkt die technischen Voraussetzungen für eine Einführung drahtloser Sensornetzwerke in den Markt. In Zukunft werden insbesondere „Real Time Location Systems“ (RTLS) und wegwerfbare universell einsetzbare RFID-Sensor-Systeme sowie auch „Smart Active Labels“ (SALs) in den Markt eintreten. Die Entwicklung universeller Sensornetzwerke, in denen eine große Anzahl aktiver RFID-Tags mit integrierten Sensoren, Überwachungs-Funknetzen (zum Beispiel in Gebäuden, Wäldern, Flüssen, Krankenhäusern etc.) bilden, wird auch in naher Zukunft Gegenstand intensiver Forschung bleiben. Der wirksame Einsatz bestehender Übertragungsstandards wie WiFi, UWB, ZigBee und WLAN wird dabei die Grundlage eines erfolgreichen Aufbaus drahtloser Sensornetze bilden.

Trend zu
drahtlosen
Sensornetzen

Derzeit zeichnet sich in Industrieunternehmen ein Trend zur Nutzung drahtloser Sensorsysteme ab. So werden sie verstärkt zur Optimierung industrieller Produktionsprozesse eingesetzt. Ein Beispiel ist etwa das Volkswagen-Werk in Emden, wo die IWLAN Technologie erfolgreich eingesetzt wird (vgl. Kap. 4.2). Der Einsatz von drahtlosen Sensornetzwerken in Automobilen selbst befindet sich dagegen noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Derzeit wird von Automobilzulieferern und Herstellern an weiteren drahtlosen Sensoren für den Einsatz im Auto gearbeitet. Für den Einsatz im Automobil selbst wird der ZigBee-Standard favorisiert.

„Intelligente
Mobilität“

Die Forschung im Bereich Car-to-X-Kommunikation wird derzeit im Projekt SIM-TD (Sichere Intelligente Mobilität - Testfeld Deutschland) gefördert. Zu den Projektpartnern gehören u. a. Audi, BMW, Daimler, Ford, Opel, Volkswagen. Abb. 16 zeigt die Car-to-X-Kommunikation schematisch. So wird es Fahrzeugen ermöglicht, über den Kontakt mit anderen Fahrzeugen und fest installierten Sensoren den Straßenzustand zu erkennen, bevor das Fahrzeug den entsprechenden Straßenabschnitt befährt. Dadurch kann der Fahrer frühzeitig auf Gefahrensituationen, wie etwa Glatteis oder einen Stau hinter einer Kurve, aufmerksam gemacht werden.

Entsprechende Informationssysteme, wie Head-up-Displays, bieten die Möglichkeit, den Fahrer detailliert zu informieren, ohne dass er den Blick von der Straße abwenden muss. Derartige Informationen könnten auch direkt dem Fahrzeugmanagement zugeführt werden, das ggf. direkt die Fahrzeuggeschwindigkeit ohne Zutun des Fahrers reduziert. Mittels der Car-to-X-Kommunikation könnte auch direkt im Fall eines Unfalls Hilfe gerufen werden, dabei stünden dem Rettungsdienst dann nicht nur Ort und Zeit des Unfalls zur Verfügung, sondern auch Informationen über den Fahrzeugzustand und die Schwere des Unfalls.



Abb. 16 „Wenn das Auto um die Ecke schauen und Hilfe herbeirufen kann“
(Quelle: Continental Automotive GmbH)

Im Bereich druckbarer Elektronik sind weitere Fortschritte erkennbar: Das Fraunhofer Institut Erlangen (Institute of Integrated Systems and Device Technology) veröffentlichte im Januar 2009, dass druckbare RFID-Tags in etwa einem Jahr für den Konsumbereich zur Verfügung stehen.¹² Diese sollen auch in der Lage sein, die Umgebungstemperatur zu erfassen, sowie diese speichern und übertragen zu können.

Fortschritte in
„druckbarer
Elektronik“

Märkte

Die Entwicklung und das weite Einsatzpotenzial großer Sensornetze mit vielen Sensoren und großflächigen Anwendungen stärken insbesondere den Markt für die aktive RFID-Technologie. Aktive batteriegestützte RFID-Systeme werden in zukünftigen Sensornetzen eine wichtige Rolle spielen, sie können als Sensorknotenpunkte agieren und in Echtzeit Daten übermitteln.¹³

Großes
Marktpotenzial

Demzufolge werden aktive RFID-Transponder/Sensoren maßgeblich für den Umsatzzuwachs im RFID-Markt sorgen. Zudem können diese auch Sensormessungen vornehmen und in Netzwerke integriert werden. Der Anteil der aktiven Elemente am gesamten RFID-Markt wird von 12,7 % (2007) auf 26,3 % (2017) steigen und dabei ein Marktvolumen von rund 7 Mrd. US\$ erreichen. Das rasante Anwachsen des Marktes für aktive RFID wird maßgeblich durch die steigende Notwendigkeit, Menschen und Gegenstände zu verfolgen, zu lokalisieren und zu überwachen, aus-

Aktive RFID als
Umsatztreiber

¹² http://www.printedelectronicworld.com/articles/cheap_printed_rfid_tags_performing_simple_functions_may_be_here_soon_00001206.asp?sc=1

¹³ <http://www.reliableplant.com/article.asp?articleid=7913>

gelöst. Diese Entwicklung liegt im Wesentlichen in der Verbesserung der Sicherheit von Menschen und Gütern begründet. Für den Bereich der Hausautomation wird zwischen 2007 und 2012 eine Versechsfachung des Marktvolumens erwartet [Gurganious 2008]. Ein weiterer positiver Aspekt aus Sicht des Marktes wird die Verringerung der Kosten für die Tags und die Systeme sowie die Verwendung der offenen Standards ISO 18000-7, IEEE 802.15.4 und NFC darstellen. Der Absatzmarkt von aktiven RFID-Systemen verteilt sich auf rund elf Märkte, von denen militärische und logistische Applikationen jeweils einen großen Anteil ausmachen. Abb. 17 zeigt die Verteilung des Marktes für aktive RFID-Produkte.¹⁴

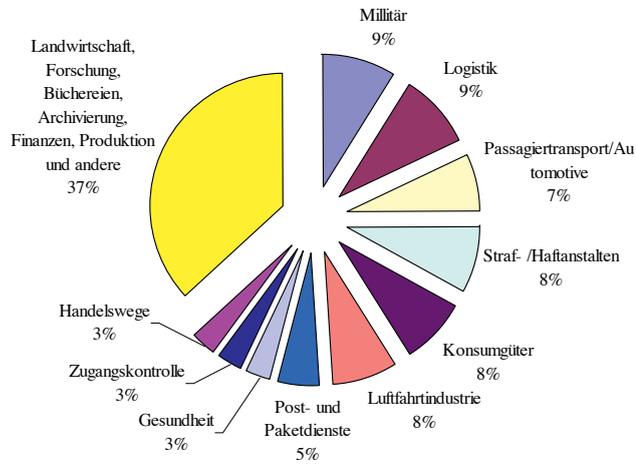


Abb. 17 Applikationen für aktive RFID 2007-2017

¹⁴ http://www.idtechex.com/research/articles/active_rfid_and_sensor_networks_00000629.asp

4.4 Organische Elektronik

Die wesentliche Maxime des „Internets der Dinge“ ist die Ausstattung von Gegenständen mit „technischer Intelligenz“. Hierzu müssen je nach Gegenstand und Prozess logische Schaltkreise, Datenspeicher, sensorische Komponenten, Energieversorgungssysteme etc. in geeigneter Form und in unterschiedlichem Umfang in unbelebte Objekte integriert werden. Die Ausstattung von Gegenständen mit solchen elektronischen Funktionalitäten bezieht sich dabei nicht mehr nur auf höherwertige Produkte etwa aus dem Konsumelektronikbereich, wie Mobiltelefone, PDAs, Handhelds, Navigationsgeräte o. ä., die bereits heute mit intelligenter Logik ausgerüstet sind. Vielmehr werden in Zukunft auch Alltagsgegenstände aus dem Niedrigpreissegment, wie etwa Verbrauchsgüter, Lebensmittelverpackungen, Einweg- und Wegwerfartikel etc. verstärkt mit logischen Komponenten ausgestattet, die sie in die Lage versetzt, im erforderlichen Umfang Daten zur Verfügung zu stellen oder sogar autonom zu handeln.

Das entscheidende Kriterium für ein Vordringen „technischer Intelligenz“ in den Low-Cost-Bereich ist der Preis. Eine kundenseitige Akzeptanz neuer, innovativer Produkterfassungs-, Materialfluss- und Retailsysteme wird sich nur unter der Bedingung ergeben, dass etwa intelligente Produktlabel keine wesentliche Verteuerung der Produkte selbst bewirken. Elektronische Label für Verbrauchsprodukte wie etwa Joghurtbecher, Getränke-Tetrapacks, Zigarettenpackungen, CD-Rohlinge etc. stehen nicht nur funktionell, sondern vor allem auch kostenseitig mit den allgegenwärtigen optisch auslesbaren Barcodes in Konkurrenz. Die preislichen Obergrenzen für elektronische Produktlabel sind scharf kalkuliert und bewegen sich für Alltagsartikel im unteren Cent-Bereich. Parallel hierzu erfordert die massenhafte Ausstattung von Verbrauchsprodukten mit elektronischen Etiketten massenproduktionstaugliche Herstellungsverfahren. Beide Vorgaben, Massenfertigung und extreme Niedrigpreise sind mit klassischen siliziumbasierten Elektronikkomponenten zumindest für den Low-Cost-Bereich nicht realisierbar.

Einen Ausweg zeigt die organische Elektronik auf. Sie basiert auf elektrisch leitenden und halbleitenden organischen Materialien, insbesondere Polymeren. Der wesentliche Vorzug der organischen Elektronik ist die Anwendbarkeit von Standard-Druckverfahren. Sie repräsentieren die schnellste und kostengünstigste Methode zur Herstellung elektronischer Schaltungen in großer Stückzahl [Fix 2008]. Zudem bietet die große Auswahl verschiedener polymerer Materialien, die als Isolatoren, Dielektrika, Leiter oder Halbleiter verwendet werden können, eine sehr hohe Flexibilität bei der Ausgestaltung der elektronischen Komponenten. Als Substrate, die mit organischer Elektronik bedruckt werden, eignen sich wiederum zahlreiche Materialien. Glas, Metalle, Polymerfolien oder auch Papier eröffnen hier die Möglichkeit zur Herstellung dünner, flexibler

„Technische
Intelligenz“ im
Low-Cost-Bereich

Organische
Elektronik

oder transparenter Bausteine. Ein großes Potenzial, wenn auch vor einem längerfristigen Hintergrund, bietet daneben die Integration mehrerer organischer Elektronikkomponenten in einem Baustein sowie die Fertigung solcher Bausteine in einem einzigen Herstellungsprozess.

Anwendungs-
felder

Der Bereich der organischen Elektronik lässt sich hinsichtlich des Entwicklungsstandes und des Reifegrades nach Anwendungsgebieten unterteilen. Folgende Felder können als Schlüsselanwendungen angesehen werden, die insbesondere auch für das „Internet der Dinge“ und hierauf basierende neue Logistik-Technologien von Relevanz sind: [Brand et. al 2008]

- *Organische Photovoltaik* - Die Vorteile gegenüber konventioneller Siliziumtechnologie liegen in der kostengünstigen Herstellung und der Flexibilität organischer Solarzellen. Der Markteintritt vollständig organischer Solarzellen steht unmittelbar bevor. Erste Anwendungen ergeben sich bei kleinen mobilen Geräten aus dem Konsumelektronik-Bereich. Großflächige stationäre Anlagen werden erst längerfristig erwartet. Probleme bestehen noch hinsichtlich der geringen Effizienz sowie der Langzeit-Photostabilität der organischen Substanzen.
- *Druckbare Speichertechnologien* - Die Entwicklung organischer Datenspeicher wird hauptsächlich über den Preis getrieben. Die Speicherdichte ist dagegen weniger relevant. Organische Speicher werden zukünftig vor allem im Bereich von ID-Tags eingesetzt. Sie müssen deshalb nicht-flüchtig sein und ihre Daten auch ohne externe Spannungsversorgung halten können. Die technologische Entwicklung wird sich von ROM-Speichern („READ ONLY Memories“) über WORM-Speicher („Write Once Read Many“) bis zu RAM-Speichern („Random Access Memories“) erstrecken. In der Konsumelektronik wird eine Konkurrenz zu klassischen Datenspeichern erst zum Ende des nächsten Jahrzehnts erwartet.
- *Druckbare RFID* - Die organische Elektronik erlaubt eine außerordentlich kostengünstige Herstellung von RFID-Tags und ermöglicht den Einsatz der RFID-Technologie auch für Massenkäufe und Einwegprodukte. Markteintritte einfacher gedruckter RFID werden bis 2009 erwartet. Längerfristig zeichnet sich die Ersetzung von Barcodes auf Verbrauchsartikeln durch billige organische RFID ab.
- *Flexible Batterien* - Organische Elektronik ist vor allem für mobile Anwendungen relevant. Von entscheidender Bedeutung für viele solcher Anwendungen ist eine kostengünstige Energieversorgung, die sich in den Herstellungsprozess integrieren lässt. Aktuelle flexible Zink-Kohle-Batterien sind hinsichtlich ihrer Energiedichte nicht ausreichend und zudem nicht wieder aufladbar. Für die Zukunft zeichnet sich der Einsatz flexibler Lithium-

Ionen-Batterien ab. Bei der Entwicklung geeigneter Folienmaterialien sowie der Versiegelung der Batterien besteht jedoch noch erheblicher F&E-Bedarf.

- *Organische TFT-Matrixstrukturen für Displays* – Der Einsatz organischer TFT-Matrizes (OTFT) für Displays und insbesondere für OLED-Displays stellt eine aussichtsreiche Anwendung organischer Elektronik dar. Insbesondere dünne, flexible, aufrollbare Bildschirme gehören zu den vielversprechendsten Anwendungen und sind Ziel zahlreicher Forschungsvorhaben. Für 2010 werden erste elektrophoretische Preisschilder auf OTFT-Basis erwartet. Für die Zeit danach zeichnet sich die Entwicklung größerer, farbiger Displays ab, die etwa als e-Paper eingesetzt werden können.
- *Organische Sensoren* – Erste organische Sensoren sind bereits heute am Markt verfügbar. Zu ihnen gehören etwa Drucksensoren, Photodioden, Dehnungssensoren, Temperatursensoren, amperometrische und potentiometrische Sensoren sowie deren Anordnung in Arrays. Zahlreiche weitere Systeme befinden sich derzeit in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. „Intelligente“, vollständig organische Sensoren mit integrierter Elektronik werden jedoch erst längerfristig realisierbar sein. Eine der wesentlichen Herausforderungen besteht hinsichtlich der schwachen Ausgangssignale der Sensoren und der geringen Kompatibilität zur nachgeschalteten Elektronik
- *„Smart Objects“* – Die Fertigungsverfahren für druckbare Elektronik ermöglichen die Integration verschiedener elektronischer Komponenten wie Logikschaltungen, Speichern, Sensoren, Batterien, Displays auf einem Substrat und somit die Herstellung kostengünstiger Produkte mit einer bestimmten „technischen Intelligenz“. Bereits heute sind Spielkarten mit einfachen elektronisch gespeicherten Informationen auf dem Markt. Mittelfristig werden Etiketten und Logos mit animierten Grafiken zu Werbezwecken oder zum Markenschutz sowie Einwegelektronik hinzutreten. Die Marktreife organischer „Smart Cards“ ist jedoch erst längerfristig zu erwarten.

Die Schlüsselanwendungen aus dem Bereich der organischen Elektronik sowie die wichtigsten Entwicklungen, die für den kurz-, mittel- und langfristigen Zeithorizont zu erwarten sind, sind in Abb. 18 als Roadmap-Diagramm zusammengefasst.¹⁵

Schlüssel-
anwendungen

¹⁵ K. Hecker (Hrsg.); „Organic Electronics“ 2nd Edition; Organic Electronics Association within VDMA (2007)

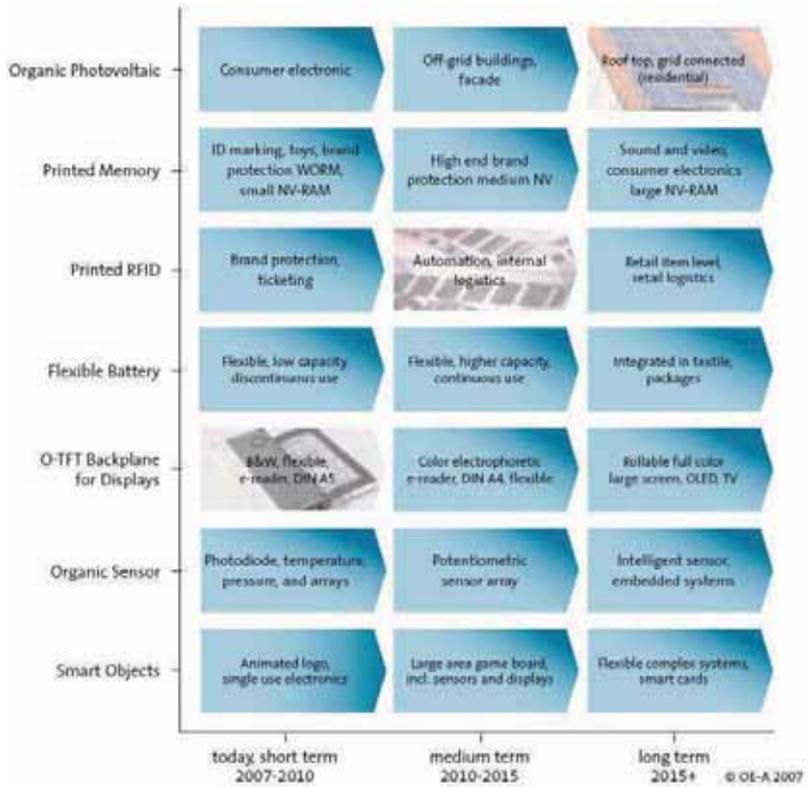


Abb. 18 Die wichtigsten Entwicklungen der organischen Elektronik; Roadmap-Diagramm (Quelle: „Organic Electronics“ 2nd Edition)

Druck- und Strukturierungsprozesse

Hohe Druck-
geschwindigkeit

Moderne Massendruckverfahren erreichen mittlerweile Druckgeschwindigkeiten von über 500 Metern pro Minute bei Registergenauigkeiten von 20 µm. Die Attraktivität der Anwendung organischer Elektronik basiert vor allem auf der prinzipiellen Übertragbarkeit solcher Massendruckverfahren vom Text- und Grafikdruck auf den Druck elektronischer Schaltkreise. Als prinzipiell geeignet erweisen sich Tintenstrahl-Druckverfahren und in der Druckindustrie etablierte „Rolle-zu-Rolle“-Verfahren. Beide Methoden unterscheiden sich hinsichtlich ihres Durchsatzes, der realisierbaren Schichtdicken, der erreichbaren Auflösung sowie der Positionierungsgenauigkeit bei der Anordnung von Strukturen in aufeinanderfolgenden Prozessschritten.



Abb. 19 Gedruckte Elektronik. Links: Druckmaschine für gedruckte Elektronik im Rolle-zu-Rolle Verfahren (Quelle: Acreo AB, Schweden; Copyright Niclas Kindahl). Rechts: Kilometerlange gedruckte Schaltungen für RFID-Tags (Quelle: PolyIC-Pressbild)

Im Vergleich zu Druckverfahren lassen sich mit neuen Strukturierungsverfahren, wie etwa der Laserablation oder „weicher Lithografie“ höhere Auflösungen erreichen. Allerdings geht dieser Vorteil zu Lasten des Durchsatzes, der hier deutlich niedriger liegt.

Von Bedeutung bei der Fabrikation organischer Schaltkreise sind auch verschiedene Beschichtungsverfahren, die eine Vor- oder Nachbearbeitung größerer Flächen erlauben. Insgesamt gibt es jedoch derzeit noch kein Standardverfahren zur Herstellung organischer Elektronik. Vielmehr werden je nach Anwendung Kombinationen der genannten Prozesse eingesetzt.

F&E-Bedarf

Die organische Elektronik ist für eine umfassende Anwendung in Breitenmärkten derzeit noch nicht ausgereift. Forschungs- und Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Entwicklung und Herstellung der zugrundeliegenden Transistorschaltungen besteht noch in einer Reihe von Punkten:

So ist es von großer Bedeutung, die elektrische Leitfähigkeit von Polymeren zu erhöhen, um etwa gedruckte Schaltkreise und RFID-Transponder für höhere Trägerfrequenzen zu realisieren und generell die Leistungsfähigkeit organischer Logikkomponenten zu erhöhen. Aufgrund der großen Anzahl verschiedener Polymere ergibt sich bei der Synthese von organischen Materialsystemen eine sehr große Variantenvielfalt. Hier ist es sehr aufwendig, geeignete Materialkandidaten zu finden und in der gewünschten Weise etwa hinsichtlich passender Bandlücken, optimierten Lumineszenzverhaltens etc. weiterzuentwickeln. Dennoch wird

Organische
Elektronik noch
nicht ausgereift

erwartet, dass bis 2020 Leistungseigenschaften erreicht werden, die an die von kristallinem Silizium heranreichen.

Optimierung der
Langzeit-
stabilität

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf der Optimierung der Langzeitstabilität der eingesetzten Materialien. Die elektronischen Eigenschaften von organischen Materialien und Polymeren beruhen auf elektrisch geladenen Molekülen, die sehr empfindlich gegenüber Reaktionen mit Sauerstoff sind und sich unter diesem Einfluss leicht zersetzen. Im Mittelpunkt der Entwicklungsbemühungen steht daher die Suche nach robusteren Materialien sowie nach geeigneten Verkapselungsverfahren.

Bei organischen Halbleitern befinden sich Dotierungsverfahren, mit denen sich die elektrischen Leitungseigenschaften gezielt beeinflussen lassen derzeit noch in einem frühen Forschungsstadium. Erforscht wird die Einbringung von Fremdmolekülen, die das Halbleitermaterial oxidieren oder reduzieren und so die Ladungsträgerdichte beeinflussen. Im Unterschied zu anorganischen Halbleiterkristallen sind jedoch wesentlich höhere Dotierungskonzentrationen erforderlich.

Polymere Tinten

Um in Druckverfahren eingesetzt werden zu können, müssen die polymeren Substanzen in Form von Tinten bereitgestellt werden. Die Herstellung solcher elektronischer Tinten stellt derzeit noch eine erhebliche Herausforderung dar. So lassen sich zwar zahlreiche leitende und halbleitende Polymere gut in Lösung bringen, doch die zur Aufbereitung für Druckprozesse erforderlichen Additivzusätze beeinflussen die elektronischen Eigenschaften oft sehr nachhaltig. Speziell auf dem Gebiet der Tintenformulierungen für den Massendruck besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf.

Druckverfahren

Ähnliches gilt auch für die Druckprozesse selbst, die sich deutlich von Text- und Grafikdruckverfahren unterscheiden. Während sich etwa Grafiken drucktechnisch aus einer Vielzahl einzelner Bildpixel zusammensetzen, die sich teilweise nicht überlappen, sind für elektronische Schaltungen kontinuierliche Strukturen und Leiterbahn sowie scharfe Abgrenzungen erforderlich um einen gezielten elektrischen Signalfluss zu gewährleisten und Kurzschlüsse und Fehlschaltungen zu vermeiden. Zudem erfordert Platzierung übereinander angeordneter Schichten eine hohe Positionierungsgenauigkeit (Registration), so dass optische und elektrische Kontrollschritte bereits in den Druckprozess integriert werden müssen.

Fazit

In den zurückliegenden Jahren konnten auf dem Gebiet der organischen Elektronik erhebliche Fortschritte erzielt werden, so dass Anwendungen insbesondere auch im Bereich des „Taggings“ von Low-Cost- und Massenprodukten absehbar erscheinen. Bis zu einer breiteren Anwendungsreife müssen jedoch noch zahlreiche technologische Hürden vor allem im Bereich der eingesetzten organischen Materialien als auch bei den Druck-

und Fertigungsverfahren überwunden werden. Hier besteht auch in naher Zukunft noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Angesichts der Anwendungsperspektiven ist auf allen Gebieten der organischen Elektronik derzeit eine intensive F&E-Aktivität im akademischen Bereich, aber auch seitens kommerzieller Unternehmen festzustellen. Die bestehenden Herausforderungen werden weltweit intensiv angegangen. Auch in Deutschland befassen sich Forschung und Industrie in einer Reihe von Förderprojekten mit verschiedensten Aspekten auf dem Weg zur breiten Anwendung organischer Elektronik, so dass auch in Zukunft mit weiteren Fortschritten und Durchbrüchen zu rechnen ist.

Intensive F&E-Aktivitäten

Innerhalb des Elektroniksektors stellt die organische Elektronik eine eigenständige Säule dar, die die siliziumbasierte Elektronik nicht verdrängen sondern vielmehr ergänzen wird. Hinsichtlich der Miniaturisierung elektronischer Schaltkreise und der Leistungsfähigkeit wird die organische Elektronik die Siliziumtechnologie auf absehbare Zeit nicht ersetzen können. Umgekehrt eröffnen etwa die konkurrenzlos günstigen und massenproduktionsfähigen Herstellungsverfahren Anwendungsfelder, die auf Siliziumbasis nicht realisierbar wären.

Märkte

Erste Markteintritte von Produkten aus dem Bereich organischer Elektronik sind bereits erfolgt. Dies bezieht sich vor allem auf OLED-Displays, die sich verstärkt in portabler Kleinalelektronik, wie Mobiltelefonen, MP3-Playern etc. finden, derzeit jedoch nicht in Drucktechnik hergestellt werden.

Vermarktete Applikationen besetzen derzeit noch eher kleinere Märkte. Die Marktsituation für gedruckte und organische Elektronik wird in verschiedenen Studien detailliert untersucht (vgl. [Frost & Sullivan 2007], [Das und Harrop 2008], [Das und Harrop 2008a]). So beläuft sich der globale Gesamtmarkt für gedruckte und Dünnschichtelektronik jenseits konventioneller Siliziumtechnologie im Jahr 2008 voraussichtlich auf ca. 1,6 Mrd. US\$. Hiervon entfällt etwa die Hälfte auf OLED-Displays. Elektronische Tinten zur Herstellung organisch-elektronischer Kontaktierungen in verschiedenen Anwendungsbereichen nehmen ein Marktvolumen von etwa 210 Mio. US\$ ein, spezielle organische Sensoren für Blutzuckermessungen belaufen sich auf ungefähr 110 Mio. US\$. Organische Solarzellen haben noch keine Marktreife erlangt. Das Marktvolumen für Logik- und Datenspeicherbausteine beträgt derzeit erst etwa 10 Mio. US\$. Gleichwohl wird längerfristig gerade hier sowie bei nichtflüchtigen Datenspeichern das größte Marktpotenzial gesehen.

Derzeit noch eher Nischenanwendungen

Der Markt für organische bzw. polymere Elektronik wird sich in den kommenden 20 Jahren rasant entwickeln. Experten prognostizieren bis zum Jahr 2010 einen weltweiten Markt von ca. 4-5 Milliarden US\$. Marktschätzungen für das Jahr 2015 liegen bei 30 Mrd. US\$. Langfristig

Großes Marktwachstum erwartet

wird sogar ein Marktvolumen von ca. 300 Mrd. US\$ bis 2025/2027 erwartet. Innerhalb des Gesamtmarktes repräsentieren Organische Photovoltaik, OLEDs sowie Logik- und Speicherbausteine die am stärksten wachsenden Marktsegmente. Letztere werden in den kommenden zwei Jahrzehnten mit einem Marktanteil von etwa 40 % das mit Abstand größte Segment innerhalb der organischen Elektronik darstellen. Sie dienen vor allem zur Produktion organischer RFID-Funketiketten, deren Verwendung zur Kennzeichnung von Waren eine erhebliche Effizienzsteigerung in unterschiedlichen Anwendungsbereichen verspricht. Hierzu zählen etwa der Marken- und Fälschungsschutz, die elektronische Kennzeichnung von Eintrittskarten, der Bereich „intelligenter“ Verpackungen etc. Damit ist der Bereich organischer Elektronik vor allem auch für den Logistiksektor von hoher Relevanz.

Von allen betrachteten Technologien machen gedruckte Komponenten derzeit einen Marktanteil von 28 % aus. Dieser Anteil wird in den nächsten zehn Jahren voraussichtlich auf etwa 80 % steigen. Ein ähnliches Bild ergibt sich für flexible Substrate. Deren Anteil liegt derzeit bei etwa 16 %, wird jedoch bis 2018 auf über 70 % anwachsen.

Erste Fertigungs-
stätten

Vorangetrieben wird die organische Elektronik in den USA, Europa und Japan. In Europa entstehen die ersten Fertigungsstätten für gedruckte Elektronik. Bedingt durch den hohen Marktanteil der OLED-Displays, nimmt Ostasien derzeit jedoch mit 56 % den noch mit Abstand größten Marktanteil ein. Europa kommt hier auf 28 %.

4.5 Energieversorgung mobiler Systeme

Die Einbindung von Mikrosensoren, RFID-Tags, Logik- und Speicherbausteinen in drahtlose Netzwerke und die verstärkte Verknüpfung funk- oder internetbasierter Daten und Informationen sind Ausdruck der Entwicklungsschritte auf dem Weg zum „Pervasive Computing“, der wachsenden Durchdringung vieler Lebensbereiche mit Informationstechnologie.

Der sich verstärkende Trend zur Miniaturisierung und der wachsende Bedarf nach „intelligenten“, in allen Lebens- und Arbeitsbereichen einsetzbaren und vernetzungsfähigen Systemen erfordert vor allem hinsichtlich der Energieversorgung die Entwicklung maßgeschneiderter technologischer Lösungen. Durch die zunehmende Mobilität der Nutzer, der Gegenstände und der Dienste sind portable, von ortsfesten Elektrizitätsnetzen unabhängige Energieversorgungssysteme für das „Internet der Dinge“ von entscheidender Bedeutung. Leistungsstarke Energieversorgungssysteme mit hoher Energiedichte und Lebensdauer sind somit ein wesentlicher Schlüsselfaktor für die zukünftige Entwicklung dieses Technologiefeldes.

Mobile Energieversorgungssysteme umfassen sowohl Energiespeicher (Batterien, Kondensatoren) wie auch Energiewandler (Brennstoffzellen, Mikrogeneratoren). Sie werden vor allem als portable externe oder als integrierte Komponenten zur Stromversorgung mobiler Elektronikprodukte der Informations- und Kommunikationstechnologie, aber auch in Sensoren, kabellosen Elektrowerkzeugen, medizintechnischen Implantaten etc. eingesetzt.

Ein weiteres aussichtsreiches Konzept der mobilen Energieversorgung ist das sogenannte „Energy Harvesting“, das „Ernten“ thermischer, mechanischer, optischer oder chemischer Energie aus der Umgebung. Insbesondere für unzugängliche oder autonom operierende Systeme sind „Energy Harvesting“-Konzepte von Interesse und bieten die Möglichkeit einer langanhaltenden Energieversorgung ohne Batterien oder Kabel. Von besonderer Bedeutung ist das „Energy Harvesting“ für energieautarke Mikrosysteme (vgl. Kap. 4.3).

Die Optimierung einer leistungsfähigen und autarken Energieversorgung elektronischer, sensorischer oder aktorischer Anwendungen bzw. Funktionen und die Suche nach technologischen Lösungen sind in den letzten Jahren verstärkt zum Gegenstand industrieller und institutioneller Forschung geworden. Dies wird insbesondere auch durch eine Reihe seitens der Bundesregierung geförderter Forschungsprojekte deutlich (vgl. zum Beispiel [BMBF 2006a]). Das Spektrum reicht von grundlagenforschungsorientierten Schwerpunkten in den Materialwissenschaften und der Nanotechnologie bis zu eher anwendungsbezogenen Fragestellungen in der Elektro- und Verfahrenstechnik. Wichtige Trends sind u. a. die

Wachsende
Mobilität;
Energie-
versorgung
als Engpass

„Energy
Harvesting“

Verstärkte
Forschung

Festkörper- und Nanoionik, der Einsatz leitfähiger Polymersysteme und die Entwicklung waferkompatibler Technologien zur Herstellung von Batterien oder Generatoren „on chip“.

Anwendungs-
gebiete

In zahlreichen Anwendungsgebieten wie etwa der Medizintechnik, der Umweltanalytik, der Kfz-Technik, der Haustechnik, der Konsumelektronik und insbesondere auch der Logistik ist es erforderlich, miniaturisierte Systeme bei hoher Funktionalität, Zuverlässigkeit, Manipulationssicherheit und guter Kommunikationsfähigkeit mit der Peripherie zu betreiben. Die Systeme müssen dabei über lange Zeit wartungsfrei, d. h. auch ohne Batteriewechsel oder sogar ganz ohne zusätzliche Energiespeicher, betriebsbereit sein.

Speichertechnologien

Innerhalb des Bereiches der elektrischen Energiespeicher werden folgende Technologien derzeit als aussichtsreich bzw. längerfristig als interessant angesehen:

Batterien

- *Lithium-Ionen- bzw. Lithium-Polymer-Technologie* [Cook-Chennault et. al. 2008] – Handelsübliche Li-Ionen-Akkus weisen Energiedichten von 100 bis 120 Wh/kg auf. Die technisch realisierbare Grenze liegt derzeit bei ca. 200 Wh/kg. Um weitere Potenziale auszuschöpfen, konzentriert sich die Batterieforschung vorrangig auf die Verbesserung der Robustheit und Speicherkapazität der elektrochemischen Batteriezelle sowie auf verbesserte Materialien und Herstellungsprozesse. Ziel ist die kostengünstige Herstellung kompakter und umweltfreundlicher Akkus mit hoher Energiedichte, die die Versorgung mobiler Systeme für ca. fünf bis sechs Jahre und über etwa 1.000 Ladungszyklen gewährleisten können. Steigerungen der Speicherkapazität verspricht sich die Forschung u. a. durch den Einsatz von Nanomaterialien in den Batterieelektroden. So ist dann beispielsweise eine auf Kohlenstoff-Nanoröhren basierende Anode in der Lage, wesentlich mehr Lithium-Ionen einzulagern als eine herkömmliche Graphitelektrode. In Laborversuchen konnten so Kapazitäten von bis zu 700 Ah/kg erreicht werden [Brand et. al. 2009].

Eine Alternative zu den üblicherweise eingesetzten Kohlenstoffanoden stellen Elektroden aus Lithium-Titanat-Nanokristallen dar. Sie erlauben bei kurzen Aufladezeiten eine Verdreifachung der Leistungsfähigkeit des Akkus. Mit diesen Elektroden sind bis zu 20.000 Ladungszyklen möglich, dies allerdings nur bei vergleichsweise geringen Energiedichten von 50 bis 70 Wh/kg. Derzeitige, auf dem Markt erhältliche Li-Ionen-Akkus können mehrere hundert Mal aufgeladen werden.

- *Lithium-Schwefel-Batterien* zeigen jenseits der Li-Ionen-Technologie einen möglichen Entwicklungstrend auf dem Weg zu

einer Hochenergiebatterie auf [Jelden 2008]. Sie ermöglichen, durch sukzessive Reduktion der an einer Schwefelkathode gebildeten Polysulfidionen, Mehrfachelektronenübertragungen innerhalb der Batteriezelle und versprechen Energiedichten von über 400 Wh/kg. Im Vergleich zu herkömmlichen, in Notebooks eingesetzten Li-Ionen-Akkus bedeutet das eine Verdopplung der Laufzeit auf 16 Stunden bei gleichem Gewicht. Hauptentwicklungshürden der Li-Schwefel-Technologie sind die relativ geringe Batterielebensdauer sowie die hohe Empfindlichkeit der Schwefel-Elektrode vor äußerer mechanischer Beanspruchung.

- *Metall-Luft-Batterien* versprechen ebenfalls sehr hohe Energiedichten, die teilweise sogar noch über die von Li-Schwefel-Batterien hinausgehen. Die theoretischen Energiedichten für Li-O₂- und Mg-O₂-Anoden liegen bei über 4.500 Wh/kg [ebenda]. Bei Metall-Luft-Batterien wird das Anodenmetall (zum Beispiel Eisen, Aluminium, Lithium, Magnesium oder Zink) in einem alkalischen Elektrolyten oxidiert, während an der Kathode Luftsauerstoff mit Wasser zu Hydroxidionen umgesetzt wird. Besonders bei wiederaufladbaren Systemen sind die technischen Schwierigkeiten bei der Herstellung der Kathode sehr groß, so dass solche Systeme bislang noch nicht industriell hergestellt werden. Experimentelle Anwendung findet dieser Batterietyp als Antriebsbatterie für Nutzfahrzeuge oder als Notstromspeicher. Speziell beim Aluminium-Luft-Typ kann das Metall nach Verbrauch der Batterie mechanisch ausgetauscht und die Batterie damit wieder geladen werden. Bezeichnet wird dieser Typ daher auch als „mechanisch aufladbare Batterie“.
- *Mikro- bzw. Nanobatterien* – Bei der Entwicklung mikro- oder nanoskaliger Batteriesysteme wird intensiv nach technologischen Lösungen für das Problem der Kapazitätsverringering miniaturisierter und eingebetteter Energiespeicher gesucht. Ein Ausweg bietet zum Beispiel die sogenannte C-MEMS-Technologie¹⁶ (Carbon Micro Electro Mechanical Systems), die im Gegensatz zu konventionellen MEMS nicht auf Silizium basieren. Dabei werden auf der Basis photolithografischer Verfahren¹⁷ mikroskopische 3D-Batterieelemente aus Kohlenstoff hergestellt (siehe Abb. 20). Auf dem Element sind abwechselnd 400 Nanometer lange Kohlenstoffsäulen als Elektroden angeordnet.

¹⁶ http://mmadou.eng.uci.edu/Research_New/CMEMS_Home.html

¹⁷ Fotolithografie ist ein lithografisches Reproduktionsverfahren, bei dem mittels Belichtung Muster auf Materialien aufgebracht werden.

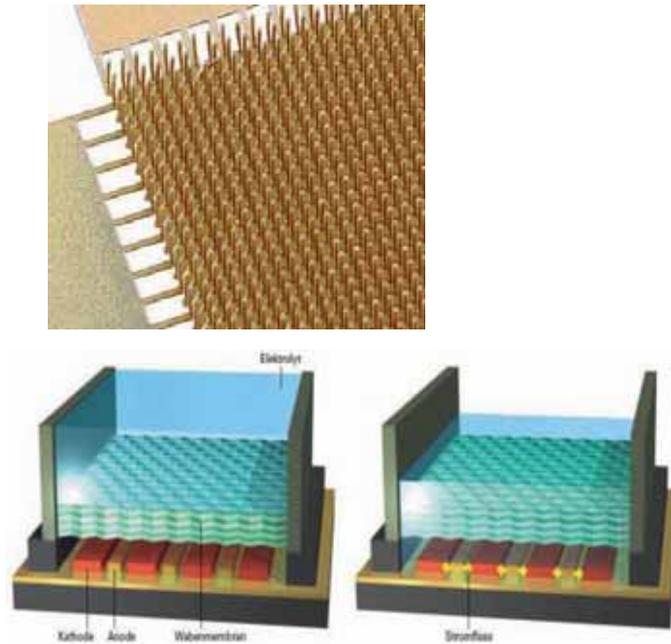


Abb. 20 Links: Mittels C-MEMS-Technologie hergestelltes mikroskopisches Batterieelement („Baxel“), bei dem schrittweise über Photolithografie und nachfolgendem Ätzverfahren Polymersäulen gebildet und anschließend in einem Pyrolyse-Verfahren die Kohlenstoffsäulen „freigelegt“ werden (Quelle: University of California, Irvine, USA). Rechts: Design und Wirkprinzip der Nanobatterie von Mphase Technologies (Quelle: Bell Labs/Lucent Technologies und Mphase Technologies, USA)

Durch die vergrößerte Reaktionsoberfläche sollen die Mikro-batteriezellen eine drei- bis fünfmal höhere Energiedichte als vergleichbare Dünnschichtbatterien auf Li-Polymer-Basis aufweisen. Ein Beispiel der vielfältigen Ansätze zur Realisierung von Nanobatterien ist ein von den Bell Labs und der Firma Mphase in den USA entwickelter Prototyp, der auf dem sogenannten Electrowetting-Effekt beruht. Hierbei wird das unterschiedliche Benetzungsverhalten von Flüssigkeitströpfchen in Kontakt mit einer isolierten hydrophilen bzw. hydrophoben Elektrode ausgenutzt. Das Tröpfchen kann mittels Änderungen eines anliegenden elektrischen Feldes verändert werden. In der Batterie separiert eine Wabenmembran aus Silizium eine Elektrolytflüssigkeit von nebeneinander angeordneten Elektroden (siehe Abb. 20). Auf diese Weise unterbleibt jegliche elektrochemische Reaktion, bis eine

Steuerspannung die Membran durchlässig macht und die Batterie Strom liefern kann [Choi 2006].

- *Superkondensatoren (bzw. Doppelschicht-Superkondensatoren)* Integrationsfähige Superkondensatoren für mobile Elektronikprodukte, die vor allem der Deckung kurzfristiger Verbrauchsspitzenlasten dienen, haben in den zurückliegenden Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Derzeit wird an Systemen gearbeitet, die hohe, zeitlich konstante Energiedichten (bis 5 Wh/kg) mit einer hohen Leistungsabgabe und bis zu 100.000 Ladungszyklen kombinieren. Ziel intensiver F&E-Anstrengungen auf diesem Gebiet ist vor allem die Steigerung der Leistungsfähigkeit der zumeist verwendeten Kohlenstoff-Elektroden. Als geeignete Elektrodenmaterialien gelten dabei mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren oder fullerenartige Nanopartikel (vgl. [BMBF 2008]). Intensiv erforscht werden auch kohlenstoffhaltige Aerogele. Letztere sind extrem leichte, hochporöse und sehr feinporige Werkstoffe, die nur zu ca. einem bis 15 Prozent aus einem festem Kohlenstoff bestehen, während der Rest des Volumens durch Poren ausgefüllt wird.

„Supercaps“

Energiewandlertechnologien

Bei den (Mikro)-Energiewandlern kann generell zwischen Technologien unterschieden werden, deren Wandlerprinzip auf konventionellen chemischen Energieträgern hoher Energiedichte (wie Kohlenwasserstoffen oder Alkoholen) basiert, und „Energy Harvesting“-Systemen, die Energie ihrer lokalen Umgebung passiv in elektrischen Strom transformieren.

Energiewandler

Die derzeit vielversprechendsten Wandlertechnologien sind:

- *Mikrobrennstoffzellen* [Hebling 2007] – Fortschritte in der Mikrosystemtechnik haben in den letzten Jahren die Entwicklung und Miniaturisierung von Niedertemperatur-Brennstoffzellen kontinuierlich vorangetrieben. Für portable Anwendungen wird die „Direkt-Methanol-Brennstoffzelle“ (DMFC) zunehmend favorisiert. Vor allem in Japan wird intensiv an der Entwicklung serienreifer Mikrobrennstoffzellen gearbeitet, die über auswechselbare Methanolkartuschen mit Brennstoff versorgt werden. So haben Konzerne wie Toshiba, Sony oder NEC Prototypen entwickelt, die Energiedichten von bis zu 1.000 Wh/kg erreichen. Bislang existieren jedoch noch keine integrierbaren Brennstoffzellensysteme, die bezogen auf Baugröße und Produktionskosten mit der Leistungsfähigkeit herkömmlicher Lithium-Ionen-Akkus konkurrieren können.

DMFC

- PEMFC Ein weiterer Mikrobrennstoffzellentyp ist die „Mikro-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle“ (mikro-PEMFC). Hierbei handelt es sich um eine wasserstoffbetriebene Zelle, die sich gegenüber DMFCs durch eine höhere Langlebigkeit und geringere Baugröße auszeichnet. PEMFC erfordern allerdings eine Wasserstoffgewinnung in einem separaten Reformingprozess. Verschiedene Institute und Unternehmen wie etwa Casio und Motorola arbeiten an der Integration von Mikroreformern im Brennstoffzellenbereich.
- DLFC Einen gänzlich anderen Ansatz der Brennstoffversorgung und des Zellenaufbaus verfolgt etwa die amerikanische Firma Medis Technologies. Hier wurde eine alkalische „Direkt-Flüssigkeits-Brennstoffzelle“ (DLFC) entwickelt, in der Kaliumborhydrid als Brennstoff- bzw. Wasserstoffquelle eingesetzt wird. Vorteile dieser Brennstoffzelle, die inzwischen in Form eines Batterieaufladegerätes auf dem Markt erhältlich ist¹⁸, sind die auf Raumtemperaturniveau liegende Betriebstemperatur und der Verzicht auf teure Polymerelektrolytmembranen und Katalysatoren. Möglich wird das durch den Einsatz von flüssigem Kaliumhydroxid als Elektrolytmedium.
- SOFC In den USA wurde am California Institute of Technology (Caltech) auch an einer technischen Lösung zur Beherrschung hochtemperaturiger „Festoxid-Brennstoffzellen“ (SOFC) im Mikrometermaßstab gearbeitet. Bereits 2004 konnte die amerikanische Firma NanoDynamics Energy eine tragbare, 4,5 Kilogramm schwere 50 W-Versorgungseinheit präsentieren, bei dem erstmals die SOFC-Technologie zur Versorgung mobiler Geräte eingesetzt wurde.

¹⁸ www.techportal.de; „Einwegbrennstoffzelle lädt Handys und MP3-Player“; 28. April 2006



Abb. 21 Links: Prototyp einer planaren Polymer-Elektrolyt-Membran-Mikrobrennstoffzelle (Quelle: Fraunhofer IZM, Berlin; www.izm.fraunhofer.de/fue_ergebnisse/wafer_processing/Mikrobrennstoffzelle.jsp). Rechts: Stapel aus planaren Leichtbau-Brennstoffzellen (Gewicht 30 g, Leistung 12 W) (Quelle: Fraunhofer IZM/TU Berlin; www.pro-physik.de/Phy/leadArticle.do?laid=10592)

- *Mikromotoren* – Alternative Ansätze zur mobilen Stromversorgung werden an einigen Forschungsinstitutionen in den USA verfolgt, wo MEMS-basierte „Mikromotoren“ entwickelt werden. So wurde bereits vor einigen Jahren an der UC Berkeley ein zuckerwürfelgroßer, wasserstoffbetriebener Wankelmotor aus Stahl entwickelt, der einen Generator mit einer elektrischen Ausgangsleistung von 2,5 W antreibt. Vergleichbare Konzepte gibt es zum Beispiel im Honeywell-Forschungslabor in Phoenix mit der Entwicklung eines Mikro-Freikolbenmotors. Am MIT arbeiten Wissenschaftler an „Mikrogasturbinen“, deren Komponenten auf der Basis photolithografischer Verfahren hergestellt werden. Ziel aller Mikromotorenkonzepte ist die serientaugliche Konstruktion keramischer oder über Silizium-Mikrofabrikation hergestellter Mikromotoren, die butan- oder propanbetrieben sind und die Energiedichte einer Alkalibatterie auf wenige Millimeter konzentrieren können.

Mikromotoren

MEMS

„Energy Harvesting“-Konzepte

Mit Ausnahme thermoelektrischer Generatoren und photovoltaischer Zellen ist die Nutzung von Konversionseffekten zur Konstruktion von Mikrogeneratoren bislang ein wenig untersuchtes Forschungsfeld. Forschungsschwerpunkte liegen in der Entwicklung piezoelektrischer, elektromagnetischer oder elektrostatischer Generatorkonzepte, in denen mechanische Vibrations- oder Translationsenergie über den piezoelektrischen Effekt, magnetische Induktion oder die elektrostatische Feldenergie in nutzbare elektrische Energie umgewandelt wird.

„Energy Harvesting“

Thermo-
elektrizität

- *Thermoelektrische Mikrogeneratoren (μ TEG)* beruhen auf dem „Seebeck-Effekt“ bei dem eine elektrische Spannung über einer Leiter- bzw. Halbleiterstruktur erzeugt wird, sobald an deren Enden eine Temperaturdifferenz anliegt. μ TEGs werden als eine wichtige zukünftige Energiequelle für kleinere, mobile Elektronikapplikationen angesehen. Der elektrische Wirkungsgrad thermoelektrischer Materialsysteme liegt jedoch nur bei etwa zehn Prozent. An der weiteren Optimierung dieses Wertes wird intensiv gearbeitet [Schlecht und Böttner 2008].

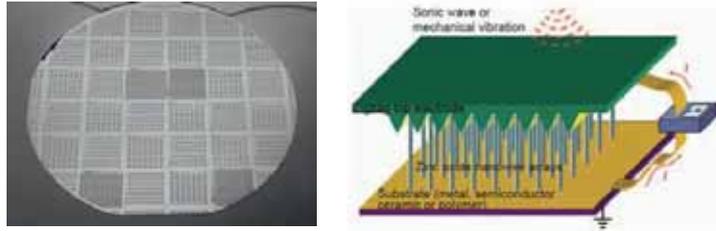


Abb. 22

Links: Siliziumwaferscheibe mit n- und p-Wafer-Kontaktstrukturen aus thermoelektrischem Bi_2Te_3 (copyright MicroPelt GmbH). Rechts: Aufbau eines piezoelektrischen Nanogenerators (Quelle: Georgia Institute of Technology, USA)

Vibrations-
generatoren

- *Vibrationswandler* – Bei der Nutzung kinetischer Energie zur Konstruktion von Mikrogeneratoren liegen die Forschungsschwerpunkte vorwiegend in der Realisierung piezoelektrischer, elektromagnetischer und kapazitiver Generatorkonzepte. Zwei Entwicklungsbeispiele internationaler Forschungsprojekte: Britische Wissenschaftler haben einen elektromagnetischen, nur sieben mal acht Millimeter großen Minigenerator¹⁹ entwickelt, in dem die durch kleinste Schwingungen verursachte Auslenkung kleiner Magnete und die dabei auftretende Magnetfeldänderung für die Stromerzeugung genutzt wird. Am Georgia Institute of Technology (Georgia Tech) ist vor kurzem ein Konzept zur Realisierung eines piezoelektrischen Nanogenerators [Wang 2008] vorgestellt worden (siehe Abb. 22), bei dem piezoelektrische Zinkoxid-Nanodrähte zum Einsatz kommen sollen.

Photovoltaik

- *Solarzellen/Solarmodule* – Der Einsatz photovoltaischer Konzepte zur Versorgung von Sensorsystemen oder portabler Elekt-

¹⁹ vgl. EU FP6 Projekt „Vibration Energy Scavenging“ (VIBES), <http://www.vibes.ecs.soton.ac.uk/emgen.htm>

ronik ist eng mit der Entwicklung der Dünnschichttechnologie und der Herstellung flexibler Solarzellen verknüpft. Dünnschicht-solarzellen, bei denen hauchdünne Halbleiterschichten auf preisgünstige Trägermaterialien wie Glas oder Kunststoff aufgedampft werden, erreichen derzeit Wirkungsgrade zwischen fünf bis acht Prozent. Während aktuell noch überwiegend amorphes Silizium, Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) oder Cadmium-Tellurid zum Einsatz kommen, wird insbesondere für photovoltaische Anwendungen in der mobilen oder in Kleidung integrierten Elektronik nach kostengünstigen und umweltfreundlichen Halbleitersystemen geforscht, die Wirkungsgrade über 10 % erreichen sollen. Auf dem Gebiet der organischen und farbstoffträgerbasierten Solarzellenforschung konzentriert sich die Forschung verstärkt auf die Suche nach geeigneten Materialsystemen und Methoden zur Herstellung nanostrukturierter Solarzellen, die u. a. zu einer Erweiterung des zur elektrischen Konversion nutzbaren Absorptionsspektrums führen sollen (vgl. Kap. 4.4).

F&E-Bedarf

Die Verbreitung mobiler, multifunktionaler Elektronikprodukte hat in den zurückliegenden Jahren zu einem überproportional gestiegenen Energiebedarf geführt. Dieser wird nach wie vor vor allem durch Batterien gedeckt. Sich abzeichnende Technologieentwicklungen, wie die Verschmelzung von Mobiltelefonen, PCs und PDAs zu multifunktionalen Handy-PCs oder die Verbreitung drahtloser Übertragungs- und Sensortechniken, erfordern sowohl die Weiterentwicklung der Batterietechnologie als auch neuer Energieerzeugungs- und Speicherkonzepte. Mit den tiefgreifenden Fortschritten in der Nanotechnologie und Mikrosystemtechnik sind in den letzten Jahren neue materialtechnische Lösungen sowie Komponenten- und Systementwicklungen ermöglicht worden, die maßgeblich zur Entwicklung verbesserter Elektroden oder effizienterer Elektrolyt- und Katalysatorsysteme zum Beispiel für Batterien bzw. Brennstoffzellen beigetragen haben.

Eines der wesentlichen Hemmnisse autarker Systeme ist der hohe Energiebedarf tragbarer oder netzfern betriebener Geräte und Systemkomponenten. Ein Entwicklungsschwerpunkt liegt mithin auf der Optimierung der Energieeffizienz der Systeme selbst. Seitens der Energieversorgungs-komponenten gilt es darüber hinaus, die Leistungsfähigkeit und Konversionseffizienz weiter zu erhöhen. So ist die Leistung alternativer Energiewandlungskonzepte teilweise noch zu gering, um gegenüber elektrochemischen Speicherlösungen konkurrenzfähig zu sein. Neben der kontinuierlichen Verbesserung und Miniaturisierung konventioneller Energiespeicher nehmen Fortschritte in der Mikroenergie-technik eine wichtige Schlüsselrolle in der derzeitigen Forschung und Technologieentwicklung ein. Dabei steht neben der Erforschung effizienter Wandlungs- und Speichermechanismen vor allem die Entwicklung neuer Werkstoffe und Mo-

Steigender
Energiebedarf als
Hemmnis portab-
ler Systeme

difikationsverfahren im Vordergrund, die auf die jeweiligen Wandler-technologien und deren speziellen Einsatzbedingungen zugeschnitten sein müssen.

Entwicklungs- hemmnisse

Weiterer F&E-Bedarf bzw. Entwicklungshemmnisse bestehen in einer Vielzahl von Teilgebieten. Exemplarisch seien die folgenden Punkte aufgeführt:

- Optimierung von Elektroden- und Membranmaterialien für Batterien, Kondensatoren, Brennstoffzellen
- Verlängerung der Lebensdauer von Batteriesystemen; Erforschung der Alterungsmechanismen; Forschung in Material- und Zellentwicklung
- Minimierung der Risikofaktoren (hohe Energiedichte, brennbare Materialien) bei Li-Ionen-Batterien
- Entwicklung und Weiterentwicklung neuer Batterietypen (Li-Ionen, Li-Schwefel, Metall-Luft etc.)
- Optimierung der Zahl der Ladezyklen; Vereinfachung und Beschleunigung der Ladeprozesse
- Erhöhung des Wirkungsgrades und der Energiedichte von Brennstoffzellen durch verbesserte Membranen, Elektroden, Katalysatorsysteme
- Entwicklung integrierbarer Mikro-Brennstoffzellensysteme
- Verbesserung des Wirkungsgrades thermoelektrischer Wandler; Suche nach effizienteren Nanomaterialien und Strukturierungssystemen
- Entwicklung chipbasierter Thermogeneratoren „der nächsten Generation“, Erhöhung des Integrationsniveaus im Nanometer-Bereich und Einsatz MEMS-basierter Halbleiter- und Dünnschichttechnologien
- Verbesserung der Wärmeableitung und Brennstoff- bzw. Luftzufuhr bei Mikromotoren
- Weiterentwicklung alternativer Konversions- und Generator-konzepte (etwa Vibrationswandler, Translationswandler, piezoelektrische Wandler etc.).

Anwendungen/Märkte

Der Markt mobiler Energieversorgungssysteme mit dem vergleichsweise neuen Marktsegment der „Energy Harvesting“-Systeme ist eng verknüpft mit den rasanten Entwicklungsschüben von portablen, netzunabhängigen Geräten in der Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik sowie den Fortschritten in der drahtlosen Sensorik. So sind in Deutschland bereits 2007 mehr Notebooks als Desktop-Rechner verkauft worden. Das Spektrum möglicher Einsatzfelder drahtloser Sensoren oder RFID-Systeme, zum Beispiel in der Automatisierungs- und Messtechnik oder in Ambient Intelligence²⁰-Anwendungen, wird derzeit stetig erweitert. Der Wachstumsmarkt der mobilen Energieversorgung wird immer noch bestimmt von Batteriesystemen. So wächst allein der Weltmarkt für Lithium-Ionen-Batteriematerialien immer noch zweistellig und lag 2007 bei 1,2 Mrd. US\$. Demgegenüber werden Absatzchancen für alternative Mikroenergiewandlersysteme in Nischenmärkten und Spezialanwendungen gesehen, bei denen Autarkie, Robustheit oder Integrierbarkeit im Vordergrund stehen.

Angetrieben durch die Unterhaltungs- und Konsumentenelektronik wird die Relevanz mobiler Energieversorgung durch den Bedarf nach „smarten“, in allen Lebens- und Arbeitsbereichen vernetzungsfähigen und multifunktional einsetzbaren Systemen bestimmt werden. Neben einer weiteren Miniaturisierung der Systeme wird sich zwangsläufig auch der Bedarf nach maßgeschneiderten Energiespeicher- bzw. Energiewandler-technologien erhöhen. Die Einbindung von Mikrosensoren oder RFID-Tags in drahtlosen Netzwerken oder Textilien ist ein weiterer Schritt auf dem Weg zum „Internet der Dinge“ und wird insbesondere auch für den Logistikbereich eine wachsende Relevanz verzeichnen.

Mobile Energie-
versorgung
gewinnt an
Relevanz

²⁰ Ambient Intelligence (kurz AmI, deutsch auch Umgebungszintelligenz) ist ein technologisches Paradigma, dessen Ziel die massive Vernetzung von Sensoren, drahtloser Funktechnologie und Computern ist. Erste Anwendungsgebiete sind zum Beispiel das intelligente Haus, aber auch Systeme zur Gebäudeüberwachung, Erdbebenfrühwarnung, Verkehrs- oder Warenflusskontrolle.

4.6 Rapid Prototyping/Personal Fabricator

Die Individualisierung ist ein weltweites Phänomen. Sie spaltet die Konsummärkte in immer kleinteiligere Segmente auf und Massenmärkte entwickeln sich immer mehr zu Individualmärkten. Die zunehmende Globalisierung und der daraus resultierende Kostendruck zwingen Hersteller neue Wege in der Produktionstechnik zu gehen. Das „Internet der Dinge“ stellt dabei eine Plattform dar, die diese Entwicklung maßgeblich positiv beeinflussen und neue Produktionsformen realisierbar machen kann.

Heute noch visionär könnte so eines Tages auch die Erstellung komplexer materieller Güter über das Internet möglich werden. Die erzeugten Baupläne können dann über das Internet an spezielle dreidimensional arbeitende Molekulardrucker versandt werden, die dann vor Ort auch komplexe Objekte daraus erstellen. So könnten Endkunden ihre Wunschobjekte softwarebasiert zunehmend selbst gestalten und durch einen „Personal Fabricator“ (oder Rapid Prototyping) herstellen lassen. Viele Experten sehen in diesem „Fabbing“ eine innovative Kraft, die nur mit dem Siegeszug des Personal Computers vergleichbar sei [Heß 2008].

Rapid Prototyping

Unter Rapid Prototyping versteht man die schnelle Herstellung von Musterbauteilen unter Verwendung von Konstruktionsdaten. Dabei geht es insbesondere um die schnelle Fertigung dreidimensionaler Prototypen oder Modelle. Zurzeit gelten die Automobil- und Raumfahrtindustrie als Haupteinsatzgebiete. Dabei werden vielfältige Elemente produziert [Neef 2005]. Das Spektrum reicht von Einspritzpumpen bis zu großen Titanbauteilen wie für die Internationale Raumstation ISS. Um ein Produktionsmodell zu erstellen, wird zunächst ein Computerbild des Wunschobjektes in einem CAD-Programm angefertigt und anschließend Schicht für Schicht mittels unterschiedlicher Verfahren in ein Objekt umgesetzt. Dieser Vorgang kann mehrere Stunden oder Tage dauern.

Verfahren und Materialien für die Herstellung derartiger Prototypen sind beispielsweise²¹:

- Stereolithographie
- Selektives Laser-Sintern
- Inkjet-Verfahren
- Laminiertechniken
- Schmelzschichtung
- 3D-Drucker

Rapid
Prototyping-
Verfahren

²¹ http://home.att.net/~castleisland/rp_int1.htm

Stereolithographie

Die Stereolithographie war das erste Rapid Prototyping-Verfahren. Es wurde kommerziell erstmals im Jahr 1987 von der US-amerikanischen Firma 3D-Systems angeboten. Bei der Stereolithographie wird ein flüssiges Monomer durch einen Laser mit einer definierten Wellenlänge beleuchtet und polymerisiert, wodurch sich das Material verfestigt. Ein typisches Ausgangsmaterial für diesen Prozess sind Epoxydharze, die mit unterschiedlichen Eigenschaften vorliegen können. Das Objekt wird schichtweise aufgebaut, indem eine neue Monomerschicht auf das bereits gehärtete Werkstück aufgetragen und nachfolgend belichtet wird. Anschließend wird das Objekt gereinigt und mit UV-Licht ausgehärtet. Die Fertigstellung erfolgt durch weitere Oberflächenbehandlungen, wie Schleifen, Lackieren oder Spachteln.

Photo-
Polymerisation

Selektives Laser-Sintern



Abb. 23

Links: Die Anlage EOSINT M 270 fertigt Werkzeugeinsätze für den Spritz- und Druckguss sowie Prototypen und Endprodukte in verschiedenen Metallwerkstoffen mittels direktem Metall Laser-Sintern (DMLS) (Quelle: EOS GmbH Electro Optical Systems). Rechts: Die Geometrie des laser-sinternten Anschlussteils – hier ein dreidimensional gekrümmtes, elliptisches Rohr – kann weder mit üblichen Metallverarbeitungsverfahren noch im Spritzguss hergestellt werden (Quelle: Evonik Industries)

Beim selektiven Laser-Sintern werden pulverförmige Stoffe als Ausgangsmaterial eingesetzt. Die rund $100\ \mu\text{m}$ kleinen Kügelchen werden als lose Schüttung in den Prozess eingebracht und durch einen Laserstrahl thermisch erhitzt. Hierdurch verflüssigt sich das Pulver und verbindet sich mit der unterliegenden Schicht. Nach dem Erstarren der aufgetragenen Schicht wird der Prozess vielfach wiederholt. Nicht versinteres Pulvermaterial kann dabei aufgefangen und wiederverwendet werden.

Verschmelzung
pulverförmiger
Materialien

Ein wesentlicher Vorteil dieser Technologie besteht in der breiten Materialpalette, die bearbeitet werden kann. Angefangen von Kunststoffen bis hin zu Metallen können nahezu alle Materialien eingesetzt werden, die unter Temperatureinfluss ihren Aggregatzustand reversibel ändern. Die Qualität der hergestellten Werkstoffe hängt dabei insbesondere von der Wärmeleitfähigkeit und der Korngröße des eingesetzten Pulvers ab.

Inkjet-Verfahren

Tintenstrahl-
druck

Bei Inkjet-Verfahren wird eine Mischung aus einer Flüssigkeit und dem Baustoff über eine Düse aufgespritzt. Der Baustoff unterliegt beim Auftreffen einem Phasenübergang und härtet aus. Flüssigkeit und Material werden typischerweise aus getrennten Düsen eingespritzt. Inkjet-Verfahren gelten als geeignete Lösung für den Einsatz in Design- und Entwicklungsabteilungen, da sie qualitativ hochwertige Modelle zu einem günstigen Preis-Leistungsverhältnis herstellen können. Die Objektmaterialien basieren typischerweise auf Acrylharzen und besitzen unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich ihrer Flexibilität und Transparenz. Die erzeugten Objekte kommen in der Regel ausgehärtet aus den Maschinen und müssen nicht mehr nachvernetzt werden.²² Diese Technologie ermöglicht die Auftragung einer Vielfalt von Substanzen und mikroskopischen Teilchen mit einer hohen räumlichen Auflösung. Anwendungen ergeben sich in der Elektronik sowie in der Bio-, Nano- und Schichttechnik.²³

Laminiertechnik

„Laminated
Object
Manufacturing“

Bei der „Laminated Object Manufacturing“-Technologie (LOM) werden Objekte in einem hybriden Verfahren aus Folien generiert.

Zum einen werden speziell präparierte Folien übereinandergelagt und durch Druck und Temperatur additiv miteinander verbunden. Zum anderen wird ein Laser in einem subjektiven Prozess eingesetzt, der die Schichtkontur jeder Folie ausschneidet und somit für die Formgebung des Werkstücks verantwortlich ist. Typischerweise liegt das Folienmaterial auf Rolle vor, so dass immer neues Material über das bereits aufgebaute Objekt gerollt, ausgeschnitten und verklebt werden kann.

²² <http://www.3dlabservice.de/downloads/3dLAB-Flyer-D-0307-kl.pdf>

²³ <http://rpd.ipa.fhg.de/drucktechnik/index.php>

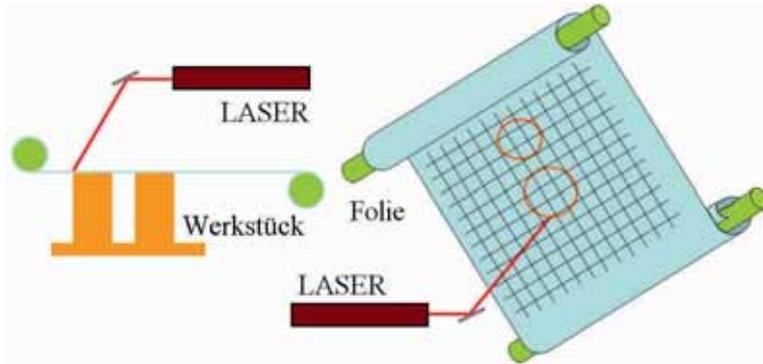


Abb. 24 Schematische Darstellung des LOM-Verfahrens. Links: Seitenansicht; rechts: Aufsicht (Quelle: ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Schmelzschichtung

Die Schmelzschichtungs-Technologie („Fused Deposition Modelling“) verwendet thermoplastisches Material, das bis knapp unter Schmelztemperatur erhitzt wird und mittels einer Düse gezielt zur Objektherstellung verwendet werden kann. Das halbflüssige heiße Material wird jeweils auf eine bereits ausgehärtete Schicht aufgebracht, wodurch diese wiederum lokal aufschmilzt und sich so mit dem neu aufgebracht Material verbindet. Auch bei dieser Technologie können unterschiedliche Materialien eingesetzt werden. Allerdings müssen diese vergleichbare Schmelzpunkte haben, um eine gute Verbindung zur unterliegenden Schicht zu gewährleisten. Eingesetzt werden u. a. Harze, Elastomere, Polyester oder der thermoplastische Kunststoff Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS).

Lokale Aufschmelzung

3D-Drucker

Das „Three Dimensional Printing“ (3DP) erzeugt Modelle aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien. Die Pulver werden ähnlich wie beim Laser-Sintern schichtweise aufgebracht. Statt des aushärtenden Lasers wird hier jedoch ein chemischer Binder eingesetzt, der gemäß der gewünschten Form des Bauteils schichtweise aufgesprüht wird. Das Pulver verbindet sich mit der darunterliegenden Schicht und härtet aus. Nachdem die letzte Schicht aufgebracht ist, kann das nicht gebundene Pulver abgesaugt werden. Im Wesentlichen können keramische, metallische oder kunststoffbasierte Bauteile durch 3D-Printing hergestellt werden.

Aushärtung durch chemische Binder

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die beschriebenen Rapid Prototyping-Technologien:

„Rapid“-
Verfahren: Vor-
und Nachteile

Technologie/Eigenschaften	Stereolithographie	Selektives Laser-Sintern	Laminierverfahren	Schmelzschichtung	Inkjet-Verfahren	3D-Drucken
Geschwindigkeit	mittel	mittel bis ausreichend	gut	schlecht	schlecht	exzellent
Genauigkeit	sehr gut	gut	ausreichend	ausreichend	exzellent	ausreichend
Oberflächengüte	sehr gut	ausreichend	ausreichend	ausreichend	exzellent	ausreichend
Stärken	große Bauteile	Materialeigenschaften	Preis, große Objekte realisierbar	Preis, Material	erste Design-Maßnahmen	Preis, Farben
Schwächen	Nachbehandlung; verschmutzte Flüssigkeiten	hohes Gewicht, hoher Systempreis	begrenzte Materialauswahl	geringe Geschwindigkeit	geringe Objektgrößen	begrenzte Materialauswahl; zerbrechlich

Tab. 6

Übersicht über die Vor- und Nachteile einzelner „Rapid“-Technologien (Quelle: Castle Island Corp., ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

4.7 Tracking/Ortung

Im „Internet der Dinge“ kommt vor allem im Bereich der Logistik der Positionsbestimmung und Verfolgung von Waren und Objekten eine besondere Bedeutung zu.

Das traditionelle Warenkettenmanagement fokussiert sich auf den optimierten Einsatz von Ressourcen, wie Produktionskoordination und Flottenmanagement. Aufgrund der rasanten Entwicklung in der Informationstechnologie hat sich dieses Bild jedoch erweitert. Mittlerweile ist es möglich, Produktstandorte jederzeit abzurufen, unabhängig davon, ob sich Waren gerade bei Zulieferunternehmen, Verteilern, Verkäufern oder bereits bei Endkunden befinden. Auch der Produktstatus kann jederzeit abgerufen werden, so dass das Wissen über Verzögerungen im Produktionsablauf oder verspätete Lieferungen „Just-in-Time“-Prozesse besser planbar macht.

Neben der Standortbestimmung stellen Sensoren an entsprechenden Waren zusätzliche Informationen, etwa über Temperatur, Luftfeuchte, Heligkeit etc. zur Verfügung, so dass sich insgesamt ein geschlossenes Bild über Zustand und Ort der Waren und über die gesamte Waren- und Versorgungskette ergibt.

Positions-
bestimmung
gewinnt an
Bedeutung

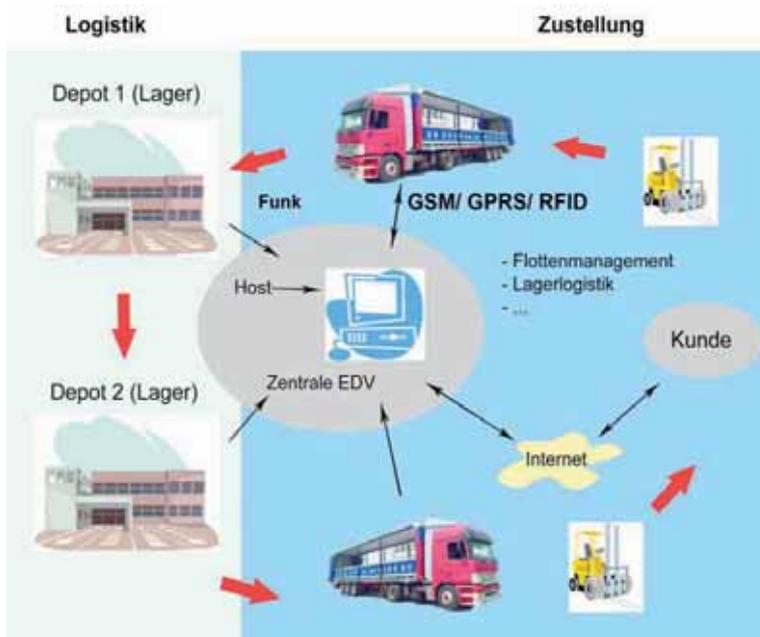


Abb. 25

Verfolgung von Produkten innerhalb der Warenkette (Quelle: ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH und SpanSet GmbH)

Gefahr durch
Fehllieferungen

Aufgrund der Größe logistischer Netzwerke und der Erfassung einer Vielzahl von Gütern, kann es zu Fehllieferungen kommen, so dass zusätzliche Kosten für die Rückholung und Umleitung der Waren entstehen. Diese Fehlleitungen treten bei Luftfrachtgut überdurchschnittlich häufig auf. Eine Studie aus dem Jahr 2005 schätzt die Kosten für Fehl- und Umleitungen auf etwa zwei Prozent des logistischen Gesamtumsatzes [Fleisch et. al.]. Weitere Kosten entstehen beispielsweise, wenn Güter überaltern oder beim Transport beschädigt werden. Die Probleme treten häufig im Lebensmittelbereich auf, da insbesondere verdorbene Ware nicht mehr verkauft werden darf.

An derartigen Beispielen zeigt sich die Bedeutung der Ortung von Gütern, gerade auch in Zusammenhang mit sensorischen Daten. Geeignete Systeme können Kosten, die aufgrund von Fehlleitungen, falscher Lagerung, Überalterung von Waren wegen zu langsamer Lieferung etc. schnell erkennen, so dass Gegenmaßnahmen getroffen werden können.

Zeitabhängige
Erfassung

Die vollständige Einordnung der Produkte innerhalb einer Warenkette ist nur mittels eines zeitabhängigen Erfassungssystems möglich. In aktuellen logistischen Netzwerken werden selbst einfache Produktinformationen nicht immer korrekt weitergeleitet. Einer Studie der AutoID-Labs zufolge werden annähernd 30 Prozent der „Tracking und Tracing“-Daten falsch wiedergegeben, da die Qualität der Daten häufig von verschiedenen Lieferanten abhängt, die nicht alle die gleichen Qualitätskriterien erfüllen [Fleisch et. al.]. In dieser Folge kommt es noch immer zu einem häufigen Versagen automatischer Lieferketten, und es bedarf eines großen Arbeitsaufwandes, um diese Fehler zu korrigieren. Zudem bedeutet ein derartiges Versagen immer auch einen finanziellen- sowie einen Imageverlust für ein Unternehmen.

Integration von
Sensoren

Wie schon in Kap. 4.3 dargestellt, können Sensoren in Netzwerke problemlos integriert werden. Mit Sensoren an strategisch wichtigen Positionen können Waren nicht nur gemäß der Produktspezifika erkannt und gefunden werden, sondern es können auch zusätzliche Informationen über die Umgebungsverhältnisse (Temperatur, Feuchte, Licht, mechanische Belastung etc.) oder den Warenzustand (zum Beispiel Gasbildung im Lagerraum) zeitabhängig ausgelesen werden [BMBF 2008e]. Als Konsequenz aus einer solchen Integration können insbesondere Zeit für die Qualitätsprüfung der Waren eingespart und Fehllieferungen vermieden werden. Ein Beispiel: Liefert ein Beschleunigungssensor Daten, die einem Kraftfahrzeug zuzuordnen sind, während sich die Ware zu diesem Zeitpunkt in einem Lager befinden sollte, kann zeitnah korrigierend eingegriffen werden. Die Warenkette lässt sich zudem vollständig rekonstruieren, so dass Fehler für zukünftige Abläufe vermieden werden können.

Ortung durch
RFID

Auch im Bereich der Ortung kommt der RFID-Technologie eine stark steigende Bedeutung zu. So bieten RFID-Systeme die Möglichkeit, eine Warenkette vom einfachen elektronischen Produktcode (EPC) bis hin zu

gespeicherten Produktinformationen und sensorischen Daten vollständig zu überwachen.

Eine wichtige Einrichtung zur erfolgreichen Umsetzung der RFID-basierten Ortung stellt das EPCglobal-Netzwerk dar.²⁴ Es repräsentiert eine offene, standardisierte Umgebung für den Austausch von EPC-Daten (vgl. Kap. 4.1). Das globale Netzwerk fokussiert sich dabei auf folgende drei Elemente:

- EPC Informations Services (EPC-IS)
- EPC Discovery Services
- Objekt Namen Service (ONS)

Wird ein RFID-Tag produziert, wird die ihm zugeordnete elektronische Produktkennung (EPC) in einer ONS-Datenbank gespeichert. Mit dem Anbringen eines Tags an ein Objekt wird der EPC-Teil des Produktes und bewegt sich zusammen mit diesem durch die Warenkette. Die Produktinformationen werden in die „EPC Informations Service“-Datenbank (EPC-IS) des Herstellers integriert. Zugleich wird dem „EPC Discovery Service“ mitgeteilt, dass diese Daten in der EPC-IS existieren. Verlässt ein Produkt den Hersteller, wird dies automatisch in der EPC-IS registriert. Erreicht dieses Produkt den nächsten Punkt der Warenkette, wird es in der EPC-IS des entsprechenden anderen Unternehmens registriert und an den EPC-Discovery Service weitergeleitet. Der EPC Discovery Service ermöglicht somit effiziente „Track and Trace“-Funktionalitäten entlang des gesamten EPC-Netzwerkes. Der EPC Discovery Service verwaltet zudem alle EPC-IS, in denen beispielsweise besondere Vorkommnisse zu einem bestimmten Objekt vermerkt sind.²⁵

Elektronische
Produktkennung
(EPC)

Benötigt ein Zwischenhändler Produktinformationen, stellt er eine Anfrage an die ONS, welche ihn direkt zur EPC-IS, also zu dem Speicherort der entsprechenden Produktinformation, weiterleitet. Um diese Anfrage zu verarbeiten, sind in der Regel nur wenige Millisekunden notwendig. Das Verfahren bietet den angeschlossenen Mitgliedern die Möglichkeit, die Warenkette jederzeit vollständig nachzuverfolgen. Der ONS verbindet dabei das EPCglobal Netzwerk, indem er den Produkten die entsprechende EPC-IS Information und den EPC Discovery Service zuordnet.

Logistische Netzwerke sind inzwischen weltweit verbreitet. Das EPCglobal System bietet eine vielversprechende Plattform, um verschiedenste Daten zu verwalten und für Anwender nutzbar zu machen.

²⁴ <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/AUTOIDLABS-WP-SWNET-012.pdf>

²⁵ http://www.verisign.com/information-services/naming-services/emerging-namespaces/page_DEV044092.html

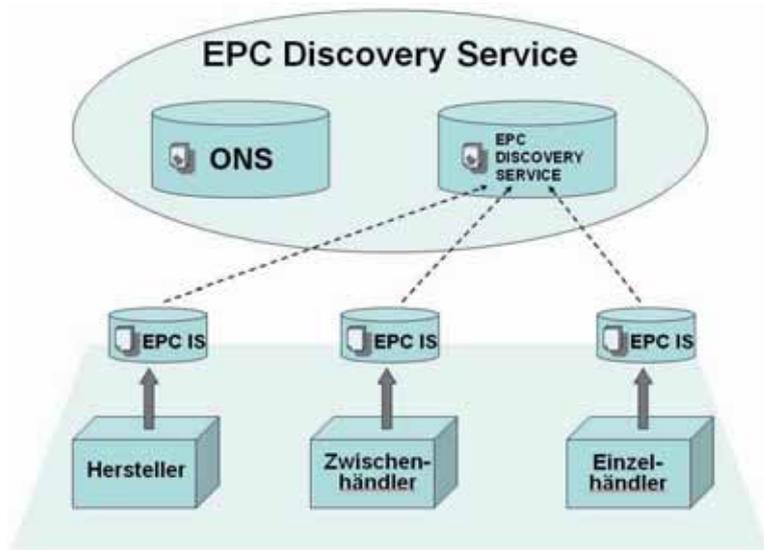


Abb. 26 Schematische Darstellung des EPCglobal Netzwerks (Quelle: ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

4.8 Zahlungssysteme

In den vergangenen zehn bis 15 Jahren hat das Internet seinen Charakter kontinuierlich verändert. So hat es sich von einem reinen Informationsmedium zunehmend auch zu einer Plattform für gewerblichen Handel und die damit verbundenen Zahlungstransfers entwickelt. Es ist bereits heute absehbar, dass sich dieser Trend in der Zukunft weiter fortsetzen und die Entwicklung des klassischen Internets zum „Internet der Dinge“ intensiv begleiten wird.

Internet wird vermehrt zur Handelsplattform

Eine wesentliche Voraussetzung zur Abwicklung von Geschäften über das Internet ist die Feststellung der Identität eines individuellen Nutzers. Zur Klärung der Netzidentität wurden Verfahren entwickelt, die es dem Nutzer im Internet ermöglichen, sich einmalig anzumelden und sich dann gegenüber anderen Webseiten automatisch zu identifizieren. Hierzu registriert er sich typischerweise auf einer speziellen Webseite und hinterlegt dort persönliche Daten wie Adresse, Bankverbindung, Telefonnummer, E-Mail-Adresse etc. Anhand dieser Merkmale kann er dann von Unternehmen oder Behörden automatisch erkannt und identifiziert werden. Eine Realisierung sind OpenID-Systeme. Hier erhält der Nutzer bei der Registrierung eine OpenID-Identität in Form einer URL (Uniform Resource Locator). Bei der Anmeldung auf einer anderen Seite wird der Benutzer auf die entsprechende OpenID-Seite weitergeleitet. Die eigentliche Anmeldung erfolgt dort. War sie erfolgreich, wird er auf die Ursprungswebseite zurückgeführt, die ihn dann anhand der OpenID-URL erkennt. Das Verfahren ermöglicht dem Benutzer außerdem die Bekanntgabe nur bestimmter Informationen an die Zielseite.

Netzidentität

Von entscheidender Bedeutung für die Identitätsfeststellung und somit für den Zahlungsverkehr im Internet sind Authentifikationsverfahren. Hier werden verschiedene Verfahren unterschieden: Bei der „schwachen Authentifikation“ („weak authentication“) reichen ein Nutzernamen und ein Passwort aus, um sich zu identifizieren. Der Nachteil eines solchen Standard-Logins ist der niedrige Sicherheitsgrad gegenüber unberechtigtem Ausspähen dieser Informationen. Bei der „starken Authentifikation“ („strong authentication“ oder „two-factor authentication“) wird zusätzlich ein weiteres Merkmal benötigt. Dies kann eine Hardwarekomponente, wie etwa ein Dongle, eine Magnet- oder Chipkarte sein, die der Nutzer mit seinem Rechner oder einem geeigneten Lesegerät verbindet. Genauso kann aber auch ein telefonischer Rückruf zur Transaktionsbestätigung, die Übermittlung bestimmter Code-Zahlen oder das Zusenden biometrischer Daten wie etwa eines Fingerabdrucks oder einer Stimmprobe erfolgen.

Authentifikation

Derzeit sind verschiedene Netzidentität-Systeme verfügbar. Eine neuere Entwicklung ist die Kombination von OpenID mit sogenannten „starken Authentifikationsverfahren“. Solche Identifikationssysteme können auch für Zahlungstransaktionen verwendet werden.

Bereits in der Vergangenheit wurden von Institutionen und Unternehmen immer wieder neue, technologiebasierte Bezahlssysteme jenseits des Bargeldes und der traditionellen Banküberweisung entwickelt. Viele dieser Systeme konnten sich trotz guter technischer Funktionalität nicht durchsetzen bzw. kamen nicht über prototypische Anwendungen hinaus. Das Haupthemmnis besteht meist in der Verständigung auf umfassend geltende Standards, die durch die globale Präsenz des Internets unabdingbar sind. Ein Beispiel ist etwa der Zahlungsdienst Paybox, der ein betreiber-unabhängiges, mobilfunkbasiertes Zahlungssystem anbot. Das Angebot konnte sich jedoch nicht etablieren, so dass der Betrieb in Deutschland wieder eingestellt wurde.

PIN/TAN-
Verfahren

Durchgesetzt haben sich vor allem verschiedene internationale Kredit- und Debitkartensysteme sowie PIN/TAN-Verfahren²⁶ für den Online-Zahlungsverkehr. Letztere werden in jüngerer Zeit verstärkt auf indizierte Transaktionsnummern (iTAN) oder bedarfsgerecht auf das persönliche Mobiltelefon versendete Transaktionsnummern (mTAN) umgestellt.

Trend zu
„M-Payment“

Bezahlssysteme, die auf der Nutzung von Mobiltelefonen beruhen, sind ein generell zu verzeichnender Trend im Bereich des modernen Zahlungsverkehrs. So eröffnet die wachsende Ausstattung vor allem mobiler Geräte mit neuen Software- und Datenkommunikationstechnologien zahlreiche neuartige Möglichkeiten der Zahlungsabwicklung. Gerade in diesem Bereich wird in den kommenden Jahren mit großen Zuwächsen gerechnet.

Im Folgenden werden einige Aspekte zum Entwicklungsstand und Anwendungsperspektiven verschiedener Bezahlssysteme dargestellt. Unter dem Begriff werden dabei Systeme zur Bezahlung von Waren und Dienstleistungen sowohl online als auch offline verstanden.

In jüngerer Zeit haben sich verschiedene mobile und im Internet einsetzbare Bezahlssysteme etabliert. Sie lassen sich nach fünf Aspekten voneinander unterscheiden [Deutsche Bank Research 2007]:

- internetbasiertes- oder mobiles System;
- Zahlungszeitpunkt: Pre-Paid, Post-Paid bzw. unmittelbare Zahlung;
- nachladbares bzw. nicht nachladbares System;
- Höhe der Zahlung: System zur Abwicklung kleiner Zahlungsbeträge (Micro-Payments unter 10 € bzw. großer Zahlungsbeträge (Macro-Payment));
- direkter Bezug bzw. kein direkter Bezug zum Schuldnerkonto.

²⁶ PIN: Persönliche Identifikationsnummer; TAN: Transaktionsnummer

Bei Bezahlssystemen die auf der Nutzung von Mobiltelefonen basieren (M-Payment) sind zwei Varianten zu unterscheiden. Bei dem einen System kann die Bezahlung durch Anruf einer Premiumnummer oder das Verschicken einer SMS an eine solche Nummer erfolgen. Der Betrag wird dann über die Mobilfunkrechnung oder die Abbuchung des Prepaid-Guthabens beglichen. Bei dem anderen System wird die Zahlung lediglich durch die Benutzung des Mobiltelefons autorisiert die Abrechnung erfolgt dagegen separat (vgl. etwa „mTAN“).

Relativ neu ist die Möglichkeit, mit dem Mobiltelefon Nahverkehrsfahrkarten oder die Parkgebühren zu bezahlen. Dazu ist eine erstmalige Anmeldung bei dem jeweiligen Anbieter erforderlich. Danach kann durch das Versenden einer SMS die Zahlung autorisiert werden. Der fällige Betrag wird dann per Lastschrift vom Konto abgebucht.

Verschiedene Systeme erlauben auch die Übertragung von Prepaid-Guthaben zwischen Mobilfunkkunden. Das Guthaben wird dabei von einer SIM-Karte auf eine andere übertragen. Die Autorisierung erfolgt per SMS. Technisch realisiert werden solche Transfers durch SIM-Toolkit-Lösungen, bei denen die Verwaltungs- und Verschlüsselungsprogramme auf der SIM-Karte gespeichert werden. Vor allem in Entwicklungsländern verbreiten sich solche Zahlungssysteme stark. Ein Beispiel ist etwa das System „M-Pesa“, das von der kenianischen Mobilfunkfirma Safaricom in Kooperation mit Vodafone entwickelt und Anfang 2007 in Kenia eingeführt wurde. Es erlaubt den privaten, bargeldlosen Zahlungsverkehr über Mobiltelefone auch ohne reguläre Bankkonten.²⁷ Vergleichbare Dienste sollen auch in Afghanistan, Äthiopien und Tansania eingeführt werden.

Eine weitere Möglichkeit des M-Payments beruht auf Near Field Communication (NFC). NFC ist ein Funkstandard, der es Mobiltelefonen ermöglicht in unmittelbarer Nähe, d. h. im Abstand einiger Zentimeter, miteinander zu kommunizieren (vgl. Kap. 4.2). Aufgrund des Frequenzbereiches ist NFC mit Lesegeräten für RFIDs kompatibel. Die Technologie ermöglicht auch die Durchführung von Zahlungstransfers. In Japan hat die Zahlung per Handy auf NFC-Basis bereits eine gewisse Verbreitung gefunden. In Deutschland wird derzeit mit dem „Nokia 6131 NFC“ erstmals ein NFC-fähiges Mobiltelefon kommerziell angeboten. Dennoch bieten erste Unternehmen Möglichkeiten der Zahlung auf NFC-Basis an. Zumeist handelt es sich um Nahverkehrsbetriebe [ICMB 2007], wie etwa den Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV)²⁸, die die Möglichkeiten des Fahrkartenverkaufs um diese Variante erweitern. Aber auch erste Super-

Nahfeld-
Kommunikation
(NFC)

²⁷ www.safaricom.co.ke

²⁸ „NFC-Handy von Nokia geht an den Start“; www.golem.de/0802/58026.html (28. 2. 2008)

Biometrische
Identifikation

märkte, wie zum Beispiel der Real Future Store der Metro-Gruppe in Tönisvorst, testen NFC-basierte Bezahlsysteme.²⁹

Vereinzelte, aber kontinuierlich wachsende Verbreitung finden seit einigen Jahren auch Zahlungssysteme auf der Basis biometrischer Identifikation. Sie versprechen einen besseren Fälschungsschutz und eine Erhöhung der Sicherheit. Als ein weiterer wichtiger Aspekt wird die „ständige Verfügbarkeit des Zahlungsmittels“ angesehen. So kann ein irrtümliches Vergessen, etwa von Geldbörse, Kreditkarte oder Mobiltelefon, ausgeschlossen werden.

Am weitesten verbreitet ist die Identifikation über den Fingerabdruck. So können sich Kunden von Supermärkten unter Erfassung eines Fingerabdruckes und Hinterlegung von Adressdaten und Bankverbindung registrieren lassen. Nach einem Einkauf nutzt der Kunde an der Kasse einen Fingerabdruckscanner und der zu zahlende Betrag wird per Lastschrift vom Konto abgebucht. Verschiedene Supermarktketten, wie etwa „Walmart“ in den USA, „Albert-Heijn“ in den Niederlanden oder auch „Edeka“ und „Real“ in Deutschland führten fingerabdruckbasierte Bezahlsysteme bereits vor einigen Jahren in ausgewählten Märkten ein.³⁰ In der Fläche sind die Systeme derzeit noch nicht etabliert. Mit einer weiteren Verbreitung wird in den kommenden Jahren aber gerechnet.



Abb. 27

Links: eCash-Handy (Quelle: Koka Automaten, Pressefoto). Rechts: Bezahlen an einer Supermarktkasse mit Fingerabdruck (Quelle: Edeka)

„Voice Pay“

Ein weiteres biometrisches Merkmal, das auch für erste Bezahlsysteme verwendet wird, ist die menschliche Stimme. So bietet das britische Unternehmen „Voice Pay“ an, Zahlungen durch die Stimme zu autorisie-

²⁹ www.future-store.org

³⁰ vgl. „www.golem.de/0806/60483.html“ oder „www.channelpartner.de/news/202127/“

ren.³¹ Der Kunde meldet sich bei „Voice Pay“ an und hinterlässt eine Stimmprobe. Wird ein Einkauf über Internet oder Telefon getätigt, ruft das System den Nutzer an und fordert ihn auf, eine zufällige Zahlenkombination nachzusprechen. Stimmt das Stimmprofil mit der hinterlegten Stimmprobe überein, wird die Zahlung in Gang gesetzt. Insgesamt ist die Nutzung biometrischer Stimmerkennung für Zahlungsvorgänge jedoch weit weniger verbreitet als andere Verfahren. Derzeit ist es offen, inwieweit sich stimmbasierte Systeme in näherer Zukunft etablieren.

Für die Unternehmen liegen die Vorteile neuer Bezahlsysteme vielfach in der Optimierung der Verwaltungs- und Abwicklungsabläufe. So wird je nach System eine um bis zu 70 Prozent schnellere Abwicklung im Kasensbereich erwartet sowie – insbesondere im Bereich biometrischer Zahlungssysteme – auch eine Erhöhung des Sicherheitsstandards beim bargeldlosen Zahlungsverkehr. Ein weiterer Vorteil sind Kosteneinsparungen durch entfallende Kreditkartengebühren. Bei den Transaktionskosten wird mit bis zu 20 Prozent Einsparpotenzial gerechnet.

Anwendungen/Märkte

Nach einer Umfrage des Marktforschungsunternehmens TNS gehen 69 Prozent der weltweit befragten Verbraucher davon aus, dass sie bis 2015 ihre Einkäufe überwiegend mit dem Mobiltelefon bezahlen werden. Etwa 60 Prozent würden demnach fingerabdruckbasierte Zahlungsmethoden nutzen, sofern diese verfügbar sind [TNS-global 2008].

Wachsender
Markt für
M-Payment

Mittlerweile setzt vor allem eine Reihe von Nahverkehrsbetrieben und Supermärkten M-Payment-Systeme erfolgreich ein und eine steigende Anzahl von Kunden registriert sich bei diesen Diensten. Vor allem für das Bezahlen mittels des NFC-Standards wird von einem großen Markt ausgegangen. Laut Marktforschungsunternehmen Strategy Analytics soll das Volumen der so abgewickelten Zahlungen 36 Mrd. US\$ im Jahr 2011 betragen und bis 2013 auf 75 Mrd. US\$ anwachsen [Patel 2006]. Von einer ähnlichen Größenordnung geht auch eine Studie von Arthur D. Little aus. Eine Studie von Juniper Research sieht den Umsatz des mobilen Bezahlers in den kommenden fünf Jahren von derzeit 155 Mio. auf 10 Mrd. US\$ steigen [Juniper Research 2008]. Insgesamt gute Entwicklungschancen sieht auch eine M-Payment-Studie des Verbandes der deutschen Internetwirtschaft, (eco) und der VIVAI AG [Horste et. al. 2008].

Die Marktchancen für biometrische Bezahlmethoden sind schwierig vorherzusagen. Während in Europa verschiedene Supermarktketten entsprechende Systeme erst in den letzten Jahren eingeführt haben, hat das US-Unternehmen „Pay by Touch“ seinen Dienst aus wirtschaftlichen Gründen wieder eingestellt. Das Unternehmen hatte in den USA ein System zur fingerabdruckbasierten Bezahlung betrieben und verzeichnete im Jahr

³¹ vgl. www.voice-pay.com

2006 etwa zwei Millionen registrierte Kunden. Insgesamt wird jedoch auch im Bereich biometrischer Bezahlssysteme mit einer wachsenden Verbreitung gerechnet.

4.9 Datensicherheit

Im Internet spielt die Frage der Datensicherheit eine immer bedeutendere Rolle. Diesem Umstand nimmt sich in verstärktem Maße auch die Forschung an. Dies gilt für unternehmensinterne Entwicklungen, vor allem aber auch für die öffentlich geförderte Forschung. Auch die Bundesregierung fördert im Rahmen der „Hightech-Strategie für Deutschland“ Aspekte der IT-Sicherheit in zahlreichen Programmen und Projekten. So bilden etwa „Sichere IT-Plattformen“ und „Trusted Computing“ Schwerpunkte des Aktionsprogrammes „iD2010“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) [BMWi 2006b]. Mit den Förderprogrammen „IT-Sicherheit“ und „IKT2020“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wird ebenfalls eine Vielzahl von Sicherheits- und Zuverlässigkeitsaspekten im IT-Bereich adressiert [BMBF 2007d]. Auch auf internationaler Ebene spielt das Thema eine immer bedeutendere Rolle. Auf europäischer Ebene ist hier zum Beispiel der Bereich „Informations- und Kommunikationstechnologien“ des 7. Forschungsrahmenprogrammes der EU zu nennen, in dem IT-Sicherheit eine zentrale Rolle spielt [EU 2008d].

Für das „Internet der Dinge“, das neben natürlichen Personen verstärkt auch unbelebte, (teil-)autonome Objekte miteinander verbindet und zunehmend in den globalen Informationsaustausch des Internets einbindet werden Sicherheitsaspekte höchste Relevanz erlangen.

Die Anzahl drahtloser und mobiler Geräte ist in den letzten Jahren stark gestiegen, zudem gab es wesentliche Verbesserungen in drahtlosen und mobilen „ad-hoc“-Netzwerken und in der Sensortechnologie, so dass drahtlose Sensornetzwerke in zunehmendem Maße in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden. Hierzu gehören Hausautomation, Produktionsabläufe in Betrieben, Umweltüberwachung, Notfallüberwachung, Seuchenbekämpfung, Lokalisierung und Bewegungsverfolgung („Tracking“) von Menschen und Objekten etc. Die verschiedenen Einsatzbereiche stellen unterschiedliche Anforderungen an die Sicherheit der Netzwerke. So unterscheidet sich diese für die oben genannten Einsatzgebiete von den Anforderungen, die beispielsweise an die Sicherheit der Daten etwa in militärischen oder finanzwirtschaftlichen Bereichen gestellt werden [Guizani 2007]. Während in betrieblichen Abläufen oder bei Notfällen vor allem die technisch zuverlässige Datenübertragung maßgeblich ist, stellen Anwendungen dieser zwei Sektoren zusätzlich einen hohen Anspruch an die Vertraulichkeit der Datenübertragung. Um eine möglichst hohe Sicherheit der Daten in jeglicher Hinsicht zu gewährleisten, sind eine sichere Authentifikation der Nutzer, Geheimhaltung von Sicherheitscodes, die Vollständigkeit der Datensätze, Zugangskontrollen und die Funktionssicherheit des Netzwerkes zu gewährleisten.

Datensicherheit von zentraler Bedeutung im „Internet der Dinge“

Starke Verbreitung mobiler IuK

Attacken auf RFID-Systeme

RFID-Systeme bestehen im Wesentlichen aus einfachen günstigen RFID-Tags und komplexeren RFID-Lesegeräten sowie einer entsprechenden Software zur Datenerfassung und -speicherung. Die weit verbreiteten preisgünstigen Tags sind häufig Gegenstand von Angriffen, da sie in zunehmendem Maße sowohl für relevante sicherheitstechnische als auch zum Schutz privater Belange eingesetzt werden. Der breite Einsatz von RFID-Tags sieht sich somit sicherheitstechnischen Bedrohungen, wie Verfolgbarkeit oder Profilierung, ausgesetzt, da die im Tag gespeicherten Daten im allgemeinen nicht gegen unbefugtes Lesen geschützt sind, so dass diese auch unberechtigt ausgelesen werden können.

Wachsendes Missbrauchspotenzial

Mit der zunehmenden Verbreitung und der einfacher werdenden Zugänglichkeit von RFID-Transpondern wachsen auch die Missbrauchsmöglichkeiten. So ist es möglich, Tags mit falschen Informationen bzw. Produktfälschungen in Sensornetzwerke zu integrieren, ohne dass diese identifiziert werden können. Diese Schwachstellen zeigen, dass drahtlose Sensornetzwerke und RFID-Systeme vor allem in sicherheitskritischen Anwendungen nicht eingesetzt werden sollten, ohne sie zuvor auf ihre Sicherheit zu überprüfen. Derzeit entstehen neue Anwendungsfelder, wie drahtlose Telemedizin oder koexistierende drahtlose Netzwerke und RFID-Systeme, die ein hohes Maß an neuen sicherheitstechnischen Entwicklungen erfordern, um sie sicher vor Zugriffen von außen auszulegen [Sun et. al. 2008].

Netzwerksicherheit

Datenverschlüsselung

In Netzwerken ist es möglich, Informationen zu verschlüsseln, um Daten, die zwischen zwei Partnern ausgetauscht werden, für Dritte unbrauchbar zu machen. Die allgemeine Verteilung der Sicherheitsschlüssel stellt ein Problem dar, da gewährleistet sein muss, dass der kryptographische Schlüssel, der Informationen über Geheimhaltung und Authentifikation enthält, sicher übertragen wird. In Sensor-Netzwerken wird dieser Schlüssel typischerweise mit der ersten Kommunikation verteilt. Dadurch wird die Schaffung einer sicheren Kommunikationsinfrastruktur innerhalb eines Netzwerkes von Sensorknoten sichergestellt. Die „asymmetrische Datenverschlüsselung“ ist dabei ein häufig angewandtes Verfahren. Hierbei wird ein Schlüsselpaar, bestehend aus einem privaten Schlüssel (zur Entschlüsselung oder Signierung von Daten) und einem öffentlichen Schlüssel (zum Verschlüsseln oder Prüfen von Signaturen), verwendet. Der private Schlüssel wird geheimgehalten und kann prinzipiell nur mit extrem hohem Rechenaufwand aus einem öffentlichen Schlüssel berechnet werden. Die Verschlüsselung beruht auf der Primfaktorzerlegung großer Zahlen und nutzt einen sogenannten „diskreten Logarithmus“.

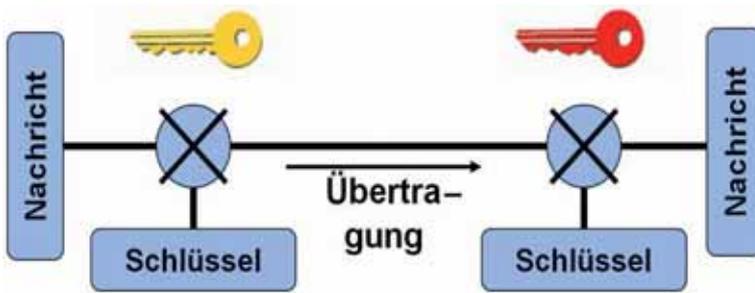


Abb. 28 Schematische Darstellung des asymmetrischen verschlüsselten Datenaustausches (Quelle: Bearbeitung durch ZTC der VDI Technologiezentrum GmbH)

Drahtlose Sensornetzwerke

Sensornetzwerke können aus hunderten von Sensorknoten und Basisstationen bestehen, die mit miniaturisierten Logikbausteinen ausgestattet sind (vgl. Kap. 4.3). Knoten im unteren Preissegment sind häufig batteriebetrieben und besitzen eine geringe Energiekapazität, limitierte Prozessor- und Kommunikationseigenschaften und einen kleinen Speicher. Die Sensorknoten kommunizieren untereinander und senden gemessene Daten wie Temperatur, Luftfeuchte, Lichtverhältnisse usw. an die Basisstationen. Diese sind typischerweise wiederum mit einem Computer vernetzt, an dem die Nutzer Zugang zu den Daten des Netzwerkes erhalten. Um die Datenmenge klein zu halten und „Kollisionen“ zu verhindern, sind in wachsendem Maße die Knotenpunkte selbst bereits in der Lage, Daten zu prozessieren und nur die vorverarbeiteten Informationen, wie Minimal- und Maximalwerte einer Messreihe weiterzuleiten.

Schwachstellen drahtloser Netzwerke

Sowohl Schwachstellen im Sensoraufbau als auch die häufig unbeobachteten Einsatzgebiete machen Sensorknoten gegenüber Manipulationen und Diebstahl angreifbar. Zudem macht die drahtlose Übertragung Eingriffe in den Vertraulichkeitsbereich leichter möglich, als dies bei kabelgebundenen Systemen der Fall ist. Im Folgenden werden unterschiedliche Manipulationsmöglichkeiten aufgezeigt und denkbare Lösungen skizziert:

Sensorknoten werden häufig über einen langen Zeitraum hinweg autonom betrieben. Unberechtigte Eingriffe in derartige Netzwerke werden mithin oft erst nach längerer Zeit entdeckt. Sobald ein unberechtigter Eindringling ungehinderten Zugang zu den Prozessoren und Datenspeichern besitzt, stehen ihm die aufgezeichneten Daten zur Verfügung. In drahtlosen Sensornetzwerken wird zudem häufig die „TinyOS“-Software

Schwächen
drahtloser Netze

eingesetzt.³² Diese Software ist gut bekannt und bietet daher eine Plattform zum widerrechtlichen Eingriff in Sensornetze.

Funkstörung

Eine weitere Angriffsmöglichkeit stellt das Überlagern der Sensordaten mit einer anderen Funkquelle dar. Dadurch kann die Datenübertragung zwischen den Sensorknoten erheblich gestört werden, ein Eingriff, der bis hin zur Überlastung des gesamten Netzes führen kann (Denial-of-Service-Attacke). Zurzeit stellt zudem die Koexistenz von RFID und drahtloser Sensortechnologie eine technische Herausforderung dar. Während Sensorknoten mit einer Leistung im mW-Bereich operieren, senden RFID-Reader mit immerhin 2 W auf gleicher Frequenz und können somit ein Netzwerk erheblich beeinträchtigen³³ [OTTI-Tagung 2008].

Unberechtigter Zugriff auf Verbindungsprotokolle

Die Aufgabe von Verbindungsprotokollen, wie dem 802.15.4- oder Zig-Bee-Standard, liegen vor allem in der Koordination benachbarter Sensorknoten. Sie repräsentieren eine weitere Gefahrenstelle hinsichtlich unberechtigter Zugriffe. So können Eingriffe ins Netzwerk auch durch den Zugriff auf die Protokolle erfolgen. Beispielsweise können Angreifer durch die Spaltung eines Datenpaketes Kollisionen im Netzwerk verursachen und damit die Sensorknoten zum wiederholten Senden der Pakete bringen. Die Folge ist eine stärkere Belastung der Batterien und somit eine Verkürzung der Lebensdauer des Netzwerkes.

Eingriffe in den laufenden Betrieb drahtloser Netzwerke sind ebenfalls möglich. Davon können beispielsweise Anwendungen wie Ortung und Lokalisierung betroffen sein. Die genaue Positionsbestimmung spielt in drahtlosen Netzwerken eine wichtige Rolle. Beispielsweise operieren und positionieren sich autarke, mobile Sensorknoten aufgrund ihrer relativen Position zu ihren Nachbarn. Man unterscheidet zwischen „range-based“- und „range-free“-Sensornetzwerken. In „range-based“-Netzwerken sind alle Sensoren mit Positionierungsfähigkeiten ausgestattet. Mit diesem Verfahren kann ein sehr gut aufgelöstes Sensorgitter aufgebaut werden, es ist jedoch sehr kostenintensiv. In „range-free“-Netzwerken gibt es nur einige ausgewählte Sensorknoten (Ankerknoten), die ihre Position selbst bestimmen können: Alle weiteren beziehen ihre Positionsinformationen von diesen Knotenpunkten [Stupp et. al. 2005]. Eine Manipulation der Schlüsselknoten in beiden Netzwerken kann zu einer Fehlpositionierung des gesamten Netzwerkes führen, wodurch ein signifikanter Einfluss auf laufende Applikationen ausgeübt werden kann.

Manipulation von „Schlüsselknoten“

Sicherungsmechanismen

Um drahtlose Sensornetze zu sichern, sind verschiedene Punkte zu beachten. Im Folgenden werden drei Aspekte exemplarisch dargestellt:

³² vgl. www.tinyos.org

³³ <http://www.sp.edu.sg/rinc/AmbientEnergyHarvesting-WinstonSeah.pdf>

- *Gutes Schlüsselmanagement und ein gesicherter Aufbau:*
Schlüsselmanagement ist derzeit ein relevantes Forschungsthema. Forschungsgegenstände sind insbesondere der Schlüsselaufbau und die gesicherte Kommunikation in drahtlosen Netzwerken. Eine gute Möglichkeit stellt die asymmetrische Verschlüsselung dar. Der Schlüsselaustausch ist jedoch energieaufwändig und kommt für drahtlose Netzwerke, die typischerweise energieeffizient arbeiten müssen, nur selten in Frage. Eine weit verbreitete Methode der Schlüsselvergabe ist die Verteilung der Schlüssel bereits vor dem Aufbau des gesamten Netzwerkes. Hierdurch besitzen die verteilten Sensorknotenpunkte bereits vor der Inbetriebnahme alle Informationen, um sicher miteinander kommunizieren zu können.
- *Geheimhaltung von Schlüsseldaten und gesicherte Authentifizierung:*
Auf der Basis sicherer Schlüssel gibt es viele Möglichkeiten eine sichere Authentifizierung und private Mechanismen in drahtlosen Sensornetzwerken einzubauen. So stellt etwa der „TinySec-Mechanismus“ eine einfache software-basierte Verschlüsselung und damit eine brauchbare und wirtschaftliche Sicherheitslösung für drahtlose Netzwerke dar.³⁴ Dabei wird jedes Datenpaket verschlüsselt und zusätzlich mit einem Authentifizierungscode versehen, um die Vollständigkeit und Vertraulichkeit der Daten sicherzustellen. In drahtlosen Sensornetzwerken ist es zudem notwendig, eine Verschlüsselung so aufzubauen, dass benachbarte Knoten miteinander kommunizieren können und die Daten entsprechend weiterleiten können („hop-by-hop“-Verschlüsselung).
- *Gesicherte Lokalisierung:*
Die gesicherte Lokalisierung der einzelnen Sensorknoten muss, wie oben beschrieben, stets gewährleistet sein. Eine Möglichkeit besteht in der Prüfung von Positionsdaten, die von den Basisstationen oder Ankerknoten ausgesendet werden. Grundlage für diese Prüfung ist die Inkonsistenz von richtigen und falschen Sensordaten. Dabei wird jeweils die Änderung der Positionsdaten betrachtet. Durch eine Abschätzung des kleinsten mittleren quadratischen Fehlers können falsche Positionierungsdaten erkannt werden. In einem anderen Verfahren wird das Sensornetz in viele kleine Zellen unterteilt und alle Knoten senden ihre Positionsdaten aus. Diese werden verarbeitet und die Zelle mit der größten Anzahl an Positionsdaten wird zur Positionsbestimmung des Netzwerkes verwendet [Sun et. al. 2008].

„Schlüsselmanagement“

Lokalisierung

³⁴ <http://www.cs.berkeley.edu/~daw/papers/tinysec-sensys04.pdf>

Sicherheit von RFID-Systemen

Die weite Verbreitung der RFID-Technologie führt zur schnellen Verteilung von Daten, die auf Transpondern gespeichert sind. Daraus ergeben sich viele Probleme hinsichtlich der Geheimhaltung und des Datenschutzes. Ein RFID-Reader ist ähnlich wie ein Funkempfänger aufgebaut. Daher ist es bereits mit geringem Aufwand möglich, sensible Daten aus RFID-Transpondern auszulesen. In Zukunft sollen insbesondere auch Produkte im Konsumgüterbereich verstärkt mit RFID ausgestattet werden.³⁵ Sind die Informationen auf diesen Tags nicht verschlüsselt, stehen sie jedem Kunden, der ein entsprechendes Lesegerät besitzt, zur Verfügung. Zudem sind RFID-Transponder typischerweise nicht mit Prozessoren, Kommunikationseinrichtungen, ausreichendem Speicher und eigenen Energieressourcen ausgestattet, die eine kryptographische Authentifizierung in einer Weise erlauben, die nur befugten Nutzern Zugriff auf die Daten erlaubt.

Sichere
Authentisierung

Die Lösung dieser Probleme stellt zurzeit eine große Herausforderung für Forschung und Entwicklung dar. Beispielsweise entwickelte die Siemens Corporate Technology im Jahr 2008 ein sicheres Authentifizierungsverfahren für den RFID-Einsatz, das auf der sogenannten „Public-Key-Kryptographie“ basiert. Der RFID-Chip codiert dazu eine Prüfanfrage des Lesegerätes mit seinem privaten Schlüssel. Der Empfänger prüft die Antwort mit dem entsprechenden öffentlichen Schlüssel auf seine Richtigkeit. Diese Applikation konnte nur durch die Optimierung von Algorithmen und die hieraus ermöglichte Reduzierung der Rechenleistung erreicht werden. Statt eines programmierbaren Prozessors wurden feste, nicht programmierbare Schaltungselemente eingesetzt, wodurch sich der Energieverbrauch verringerte. Weiterhin konnte der Chip verkleinert werden, wodurch sich die damit direkt korrelierten Herstellungskosten für den RFID-Chip ebenfalls verringerten.³⁶ Abb. 5 links in Kap. 4.1 zeigt einen solchen Transponder der Siemens AG.

³⁵ <http://www.future-store.org/fsi-internet/html/de/14242/index.html>

³⁶ http://w1.siemens.com/innovation/de/news_events/ct_pressemitteilungen/index/research_news/2008/022_resnews_0820_1.htm

5 DAS „INTERNET DER DINGE“ IN DER LOGISTIK

Der Logistiksektor ist für den Wirtschaftsstandort Deutschland von überragender Bedeutung. So liegt das jährliche Umsatzvolumen im zweistelligen Milliardenbereich und mehr als 2,6 Mio. Erwerbstätige sind direkt in der Logistikwirtschaft beschäftigt (vgl. Kap. 3). Angesichts der Globalisierung, des weltweit wachsenden Warentransportes und des zunehmenden Konkurrenzdrucks sieht sich der Logistikbereich in den kommenden Jahren großen Herausforderungen gegenüber. Nach Einschätzung von Experten erfordern vor allem die Trends zu werthaltigeren Dienstleistungen, zur Individualisierung von Produkten und zur zunehmenden „On Demand“-Produktion den verstärkten Einsatz neuer Technologien und die Entwicklung neuer Strategien zur Optimierung logistischer Prozesse.

Logistikbranche
von großer
Bedeutung

Für den Logistiksektor bietet das „Internet der Dinge“ vielversprechende Perspektiven. Logistiknetze verbinden Hersteller, Zulieferer, Endkunden und Transporteure. Die Ausweitung des internationalen Warenhandels, das Management von Lieferketten über eine Vielzahl von zunehmend weiträumig verteilten Zu- und Auslieferern sowie der durch die Individualisierung bedingte Anstieg der Zahl von Warenlieferungen bei gleichzeitig abnehmender Losgröße, repräsentieren Herausforderungen, denen sich die Branche stellen muss. Technologien aus dem Bereich des „Internets der Dinge“ zeigen hier neuartige Lösungsansätze auf, mit denen die immer komplexer werdenden logistischen Prozesse organisiert werden können.

„Internet der
Dinge“ bietet
Perspektiven für
Logistikbranche

Insbesondere die Radiofrequenzidentifikation (RFID) wird als eine vielversprechende und weitreichende Technologie angesehen. Sie markiert in vielerlei Hinsicht einen Paradigmenwechsel, da sie zum Beispiel die individuelle Identifikation einzelner Produkte und nicht mehr nur von Warengruppen erlaubt. An der Entwicklung geeigneter RFID-Technologien und ihrem Einsatz in der Logistik wird seit Jahren intensiv gearbeitet.

IdD-Technologien in der Logistik

Technologien des „Internets der Dinge“ bieten der Logistik bereits heute erhebliche Vorteile. So lassen sich zeitaufwändige Such- und Erfassungsgänge von Gütern, Paletten, Transportbehältern etc. verkürzen. Kontinuierliche Abgleiche mit Datenbeständen sorgen für eine hohe Aktualität der Informationen. IdD-Technologien lassen sich für zahlreiche Prozesse des Waren- und Bestandsmanagements einsetzen, in denen Güter bewegt, erfasst, kommissioniert und lokalisiert werden müssen. Sie sorgen in allen Bereichen der Logistik für hohe Verfügbarkeiten von Waren und Ressourcen.

Aussichtsreiche
Perspektiven
durch „Internet
der Dinge“-
Technologien

Die RFID-Technologie wird den deutschen Logistiksektor in den kommenden Jahren zunehmend durchdringen. Einer im Auftrag des BMWi erstellten Studie zufolge wird sich der Einsatz von RFID auf Transport-

behältern bis 2010 flächendeckend durchgesetzt haben [BMW 2007]. Angesichts der oft geringen Margen im Logistikbereich bietet die RFID-Technologie Möglichkeiten der Effizienzsteigerung in Form automatisierter und rationalisierter Prozesse. Die Optimierungspotenziale beziehen sich dabei sowohl auf innerbetriebliche Abläufe, als auch auf Kooperationen mit Partnern und Zulieferern. Branchenexperten schätzen die durch RFID bewirkten Produktivitätssteigerungen für die deutsche Logistikwirtschaft auf etwa 6 Mrd. € im Jahr 2010.

Prozessoptimierung durch RFID

Durch den Einsatz der RFID-Technologie in der Logistik können zahlreiche Prozesse optimiert werden. So lassen sich etwa im Rahmen des Supply Chain Managements Materialbewegungen und Verfügbarkeiten automatisch ermitteln. Hierdurch kann überwacht werden, an welchem Ort oder in welchem Zustand sich ein Produkt gerade befindet. Neben der Überwachung von Transport und Lagerung erleichtern sich hierdurch zugleich auch innerbetriebliche Bestandserfassungen und Inventurprozesse. Hier entfällt insbesondere auch das Aus- oder Umpacken von Waren, da ein direkter Kontakt, ein sogenannter „Sichtkontakt“ zwischen Reader und Transponder nicht erforderlich ist.

Angesichts der hohen Kapitalbindung durch die Lagerhaltung eröffnet RFID durch die Möglichkeit der permanenten Warenüberwachung und -verfolgung auch neue Perspektiven zur Optimierung industrieller „Just-in-Time“-Prozesse. Da viele wirtschaftliche Abläufe von der ständigen Verfügbarkeit von Bauteilen abhängig sind, können potenzielle Versorgungs- und Lieferengpässe erkannt werden, bevor Produktionsverzögerungen auftreten. Zum Anderen kann die Zulieferung genau auf die Produktionsanforderungen ausgerichtet werden, wobei sich die Lagerhaltung auf ein notwendiges Minimum reduzieren lässt.

Kommissionierung

Ein Kerngebiet der RFID-Technologie innerhalb der Logistik bildet die beleglose Kommissionierung von Aufträgen. Hier können große Einsparpotenziale geschaffen werden, da eine Vielzahl einzelner Buchungsvorgänge zusammengefasst und automatisiert werden kann. Die erfassten Daten können zudem in Echtzeit mit ERP-Systemen abgeglichen werden. Hierdurch kann die Transportkette für alle Beteiligten von den Produzenten über die Lieferanten bis zu den Kunden transparent gemacht werden. Dies ist insbesondere für verderbliche Waren im Lebensmittelbereich von großer Bedeutung.

„Digitales Produktgedächtnis“

Mittlerweile steht die RFID-Technologie an der Schwelle zur Einführung auch in großen logistischen Netzwerken. Zugleich wird jedoch auch an Entwicklungen gearbeitet, die über RFID hinausgehen. Ein Begriff, der in jüngster Zeit eine wachsende Relevanz erlangt, ist das „Digitale Produktgedächtnis“ (engl. auch „Semantic Product Memory“, oder „Sem-prom“). Hier werden Objekte und Dinge des alltäglichen Gebrauchs mit „Smart Label“ ausgestattet, die RFID mit eigener Stromversorgung und unterschiedlichster Sensorik kombinieren. Dadurch wird es möglich, dass die Produkte selbst Daten aus ihrer Umgebung sammeln und diese spei-

chern und vorrätig halten. Der Nutzer hat den Vorteil einer lückenlosen Nachvollziehbarkeit des „Werdeganges“ des Produktes. Für die Logistik sind digitale Produktgedächtnisse mit einer Reihe potenzieller Vorteile verbunden. So können etwa Warenzustand, Frischegrad, Lagertemperatur, Herkunft etc. überwacht und jederzeit per Funkabfrage ausgelesen werden. Gepäckförderanlagen, etwa an Flughäfen, können den Gepäckfluss dezentral handhaben. Viele weitere Anwendungen sind vorstellbar.

Die Vorstellungen des „Internets der Dinge“ gehen im Bereich der Logistik jedoch weit über die flächendeckende Anwendung der Radiofrequenzidentifikation und die Einführung digitaler Produktgedächtnisse hinaus. Sie reichen von der intelligenten Vernetzung von Produkten und selbständigem Handeln mittels spezieller Softwareagenten- und Assistenzsysteme über logistische Steuerungen und Trackingsysteme bis hin zum selbstorganisierten Transport logistischer Objekte durch inner- und außerbetriebliche Transportnetze [Bullinger und ten Hompel 2007].

Forschung und Entwicklung

Im Bereich der Forschung und Entwicklung am „Internet der Dinge“ ist in Deutschland vor allem eine Reihe von Fraunhofer Instituten stark engagiert. Auf dem Gebiet der Logistik ist insbesondere das Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in Dortmund renommiert. Nach der dort enger auf den Logistikbereich zugeschnittenen Definition bezeichnet das „Internet der Dinge“ den autonomen, selbstgesteuerten Transport logistischer Objekte vom Absender zum Adressaten [ten Hompel 2005]. Vergleichbar zum Fluss einzelner Informations- und Datenpakete durch das heutige Internet sollen logistische Objekte ihren Weg durch inner- und außerbetriebliche Netze selbständig finden, an verschiedenen Knotenpunkten flexibel über den günstigsten Weg des Weitertransports entscheiden und die dazu notwendigen Ressourcen selbständig anfordern. Die logistischen Objekte werden bei diesem Ansatz mit „eingebetteter Intelligenz“ ausgestattet, die es ihnen erlaubt, sowohl mit den Steuereinheiten des logistischen Gesamtnetzes als auch untereinander zu kommunizieren.

Das „Internet der Dinge“ bedeutet in dieser Anwendung den Übergang von der heute eingesetzten zentralen Steuerung logistischer Systeme zur Selbststeuerung und dem autonomen Austausch relevanter Informationen zwischen den einzelnen am Transport beteiligten Objekten und Systemen. Dieser ist dezentral gestaltet und orientiert sich an den lokalen und temporären Erfordernissen innerhalb eines logistischen Systems. Die „ad hoc“-Vernetzung der Objekte und die autonome Entscheidungsfindung geschehen lokal begrenzt, wodurch das Gesamtsystem entlastet wird.

Der Weg zu solchen Systemen wird derzeit im Rahmen zahlreicher Forschungsprojekte bereitet. Unter anderem hat sich der Fraunhofer-Verbund „VitOL“ gebildet, der Aspekte der dezentralen Steuerung von

„Internet der Dinge“ verstärkt im Fokus der Forschung

Selbststeuerung autonomer Objekte

Warenflüssen und Einsatzmöglichkeiten von Sensornetzen in logistischen Systemen adressiert [FhG 2008].

Ein illustratives Beispiel eines logistischen Systems sind etwa Gepäckförderanlagen auf Flughäfen. Sie transportieren oft viele Tausend Gepäckstücke pro Stunde, die exakt zugeordnet werden müssen. Diese Aufgabe erledigen intelligente „Routing-Agenten“, die die Gepäckstücke durch das System leiten und zentrale Rechner entlasten.

Steuerung durch
„Routing
Agenten“

Agenten sind überwiegend autonom arbeitende Computerprogramme, die Vermittlungsdienste leisten. Sie sind häufig mit Sensorkomponenten gekoppelt, reagieren auf Veränderungen ihrer Umgebung, lösen selbständig bestimmte Aktionen aus und können mit anderen Agenten kommunizieren. Agenten werden meist zur Ausführung von Routinearbeiten, zur Informationsrecherche im Internet oder in (teil-)autonomen Systemen eingesetzt. Können Agenten ihren Ausführungsort, zum Beispiel einen Rechner oder einen Server, wechseln und an dem neuen Ort die gleichen Aufgaben weiterführen, spricht man von „mobilen Agenten“.

Im Forschungsbereich werden Agentenplattformen vielfältig eingesetzt. Im Mittelpunkt steht die Organisation „intelligenten Verhaltens“.³⁷

Mittels der genannten „Routing-Agenten“ lassen sich Systeme aufbauen, die in ihrem jeweiligen Anwendungsbereich bereits als ein „Internet der Dinge“ angesehen werden können. In einem vom BMBF geförderten Pilotprojekt wurden etwa seitens des Fraunhofer-IML und der Universität Dortmund Steuerungsknoten einer Flughafen-Gepäckanlage mit „Routing-Agenten“ ausgestattet. Diese sollen Entscheidungen über den Transportweg dezentral vor Ort treffen. Hierzu werden alle Gepäckstücke mit speziellen „Smart Label“ versehen, so dass sie mit den Steuerungsknoten aber auch untereinander kommunizieren und notwendige Ressourcen selbständig anfordern können. Bei steigendem Gepäckvolumen an einem Knotenpunkt sind die Agenten etwa in der Lage, selbständig nach alternativen Führungen des Gepäckstroms zu suchen. Der Vorzug der Agentensteuerung besteht wesentlich auch in der Vermeidung zentraler Leitungssysteme mit komplexen Steuerungen und hohem Datenaufkommen.

Der Einsatz automatisierter Systeme vor allem in der Intralogistik und auf betriebsinterner Ebene zeichnet sich für die nächsten Jahre als deutlicher Trend ab. Sie versprechen optimierte Material- und Warenflüsse sowie ein großes Rationalisierungs. Als vielversprechend wird zudem der Einsatz von Robotern in solchen Systemen angesehen, die verstärkt vor allem zum Verpacken, Sortieren und Palettieren eingesetzt werden sollen. Bislang kommen robotische Systeme hauptsächlich in der industriellen Produktion zum Einsatz, während sie sich im Bereich der Logistik

³⁷ vgl. etwa folgende Plattformen: „D'Agents“ (<http://agent.cs.dartmouth.edu/>); „JADE“ (<http://sharon.cse.it/projects/jade>); „SeMoA - Secure Mobile Agents“ (<http://www.semoa.org/>); „Tracy“ (<http://tracy.informatik.uni-jena.de/>)

nur langsam durchsetzen. Ein Grund hierfür sind die meist komplexeren Anwendungen. So ist innerhalb logistischer Prozesse etwa eine größere Anpassungsfähigkeit an die lokalen und temporären Umgebungsbedingungen erforderlich. Der Einsatz von Robotern in der Logistik ist deshalb eng verknüpft mit weiteren Innovationen, vor allem im Bereich intelligenter Steuerungs-, Software- und Sensortechnik. Für die kommenden Jahre wird dem Einsatz von automatisierten Systemen und Robotern in der Intralogistik ein großes Wachstumspotenzial zugeschrieben. Auch die Forschungsförderung nimmt sich dieses Themas verstärkt an. So förderte das BMBF etwa im Rahmen des Verbundprojektes „KomRob“ die Entwicklung spezieller Kommissionierrobotersysteme [BMBF 2003]. Parallel wurden in anderen Projekten weitere Robotersysteme für die Logistik entwickelt³⁸, wie in einem gemeinsamen Forschungsprojekt des Bremer Instituts BIBA, der Deutschen Post AG und von EADS Space Transportation, die einen vollautomatischen Paketroboter zur Entladung von losen Stückgütern entwickelten.

Automatisierte
Systeme in der
Intralogistik

Derzeit werden zahlreiche Fragestellungen, die dem Bereich des „Internets der Dinge“ zuzuordnen sind, in einer Vielzahl von öffentlichen und unternehmensinternen Forschungsprojekten bearbeitet (vgl. [BMBF 2006a], [BMWi 2006c], [BMWi 2006d]). So bilden „IKT für Logistik und Dienstleistungen“ einen bedeutenden Schwerpunkt innerhalb des Programmes IKT 2020 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Innerhalb des Schwerpunktes werden Aspekte zur Entwicklung des „Internets der Dinge“ gezielt adressiert. Auf den Weg gebracht wurde in diesem Rahmen u. a. die Innovationsallianz „Digitales Produktgedächtnis“ [BMBF 2008f], und erst kürzlich wurde die „Allianz Digitaler Warenfluss“ gegründet [BMBF 2009]. Aber auch in anderen Förderbereichen finden sich relevante Aktivitäten. Zu nennen ist hier der Bereich Mikrosystemtechnik im BMBF, der u. a. „Smart-Label-Anwendungen in der Logistik“ und „Autonome Vernetzte Sensorsysteme“ mit entsprechenden Fördermaßnahmen unterstützt.

Intensive
Forschungs-
förderung

Innerhalb des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) werden derzeit vielfältige technologische Aspekte im Rahmen des Förderschwerpunktes „Konvergente IKT“ (Next Generation Media) und des dort angesiedelten Schwerpunktes Logistik gefördert.

Erst kürzlich wurde die VDI-Arbeitsgruppe „Logistische Assistenzsysteme“ gegründet, die sich mit innovativen Verfahren zur Echtzeit-Visualisierung und -Steuerung komplexer Materialflüsse in der Logistik befasst. Forschung, Industrie und Verbände wollen gemeinsam Grundlagen zur Weiterentwicklung intelligenter Assistenzsysteme entwickeln [idw 2009]. Ausgangspunkt der Arbeitsgruppe ist das im Rahmen von „Next Generation Media“ des BMWi geförderte Projekt „LogNetAssist“.

Neue VDI-
Arbeitsgruppe
„Logistische As-
sistenzsysteme“

³⁸ „Roboter mit Köpfchen“; RFID im Blick 2005 (www.rfid_im_blick.de)

Deutschland bei
Innovationen gut
positioniert

Fazit

Die Logistik steht in Zukunft vor großen Herausforderungen, denen am Standort Deutschland bzw. Mitteleuropa nur mit einem verstärkten Technologieeinsatz und mit wegweisenden Innovationen begegnet werden kann. Zentrale Forderungen, die sich an logistische Netze der Zukunft stellen sind „Agilität“, „Mobilität“ und „Flexibilität“. Das „Internet der Dinge“ bietet aussichtsreiche Perspektiven, den sich stellenden Herausforderungen erfolgsversprechend zu begegnen. Zahlreiche dafür notwendige (Teil-)Technologien sind bereits heute verfügbar und entwickeln sich mit hohem Tempo weiter. Von entscheidender Bedeutung ist die Konvergenz dieser Technologien, die zugleich auch die Entwicklungsvorgabe für die kommenden Jahre darstellt. Insgesamt zeigt sich Deutschland hinsichtlich der Innovationstätigkeiten im Logistikbereich international gut aufgestellt.

Internationale
Standardisierung
erforderlich

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Implementation standardisierter Technologien über die gesamte Lieferkette hinweg, die von Material- und Halbzeugherstellern über Lieferanten und Transportunternehmen bis hin zu Endfertigern reicht. Da der Bereich der Logistik den gesamten Fertigungsweg eines Produktes von den Ausgangsmaterialien bis zum Endprodukt begleitet und eine Vielzahl von Teilnehmern an diesem Entstehungs- und Lieferungsprozess miteinander verbindet, sind eine möglichst globale Standardisierung aller Schnittstellen sowie die Vernetzung aller am Prozess Beteiligten von entscheidender Bedeutung für die zukünftige Realisierung des „Internets der Dinge“ in der Logistik.

6 QUELLENVERZEICHNIS

- [ABIresearch 2007] ABIresearch: Wireless Sensor Networks Offer Efficiencies and Savings for Industrial Process Monitoring. Pressemitteilung aus 2007.
- [AJE] AJE Consulting GmbH: Echtzeitpositionierungssystem. (www.aje.de)
- [Akyildiz et. al. 2002] Akyildiz, I. F. et. al.: Wireless sensor networks : A Survey. Computer Networks 38, (4), 2002.
- [Anastasi 2009] Anastasi, G. et al.: Energy conservation in wireless sensor networks : A survey. Ad Hoc Networks 7, 537-568, 2009.
- [Brand et. al. 2008] Brand, L.; Eickenbusch, H.; Hoffknecht, A.; Krauß, O.; Pohle, D.; Zweck, A.: Innovations- und Marktpotenziale neuer Werkstoffe. Monitoringbericht (im Druck), Düsseldorf, 2008.
- [Brand et. al. 2009] Brand, L.; Gierlings, M.; Hoffknecht, A.; Wagner, V.; Zweck, A.: Kohlenstoff-Nanoröhren : Potenziale einer neuen Materialklasse für Deutschland. Technologieanalyse. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Band 79, Düsseldorf, 2009.
- [Brand 2008] Brand, L.; Zweck, A.: Digital Entertainment. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Düsseldorf, 2008. Future Technologies Update. Newsletter Ausgabe 1/08. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Düsseldorf, 2008.
- [Bullinger und ten Hompel 2007] Bullinger, H.-J.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Internet der Dinge. Springer-Verlag, 2007.
- [BMBF 2000] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Verbundprojekt FleetNet : Internet on the Road, 2000-2003.
- [BMBF 2003] Bundesministerium für Bildung und Forschung; Verbundprojekt: KomRob - Branchenunabhängige Basismodule für Kommissionierrobotersysteme, 2003-2006.
- [BMBF 2004] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Bekanntmachung Mikrosystemtechnik für Smart-Label-Anwendungen in der Logistik (MST-Smart-Label), 8. 12. 2004, Projektlaufzeiten 2005-2009.
- [BMBF 2006] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Projekte im Rahmen der Bekanntmachung „Mikrobrennstoffzelle“, 2006-2010.
- [BMBF 2006a] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Verbundprojekt „Internet der Dinge“, 2006-2009.

- [BMBF 2007] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Projekte im Rahmen des Förderschwerpunktes „Autonome Vernetzte Sensornetze“ zur Bekanntmachung „Systemintegration“. Bundesministerium für Bildung und Forschung, seit 2007.
- [BMBF 2007] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Forschung für die Informationsgesellschaft; Programme IKT 2020; IT-Sicherheit; Mobiles Internet, seit 2007.
- [BMBF 2007a] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Projekte im Rahmen der Bekanntmachung „Energieautarke Mikrosysteme“, Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2007-2011.
- [BMBF 2008] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Verbundprojekte : „CarboFuel“ und „CarboPower“, seit 2008 bzw. 2009.
- [BMBF 2008a] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Bekanntmachung. G-Lab : Studien und Experimentalplattform für das Internet der Zukunft, 2008.
- [BMBF 2008f] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Digitales Produktgedächtnis macht Warenfluss sicher und schnell. Pressemitteilung vom 29. 4. 2008.
- [BMBF 2008e] Bundesministerium für Bildung und Forschung: RFID-Clustermeeting „TRACK, Traceability: Rückverfolgbarkeit durch Autonome Mikrosysteme zum kontinuierlichen Check von Konsumgütern“, Berlin, 2008.
- [BMBF 2009] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Meilenstein auf dem Weg zum Internet der Zukunft. Pressemitteilung vom 5. 2. 2009.
- [BMVBS 2008] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Masterplan Güterverkehr und Logistik, 2008.
- [BMWi 2005] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Verbundprojekte des Förderschwerpunktes Konvergente IKT (Next Generation Media), 2005-2009.
- [BMWi 2006a] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Informationsgesellschaft Deutschland 2010 (iD 2010); vor allem Förderschwerpunkt Konvergente IKT (Next Generation Media), aber auch RFID; Sichere IT-Plattformen, seit 2006.
- [BMWi 2006b] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Aktionsprogramm „Informationsgesellschaft Deutschland 2010“ (iD2010), seit 2006.
- [BMWi 2006c] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Verbundprojekt „Ko-RFID - Kollaboration in RFID-gestützten Wertschöpfungsketten“, 2006-2009.

- [BMW 2006d] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Verbundprojekt „LogNetAssist - Entwicklung eines Assistenzsystems für die Steuerung intelligenter Logistiknetze“, 2006-2009.
- [BMW 2007] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: RFID : Potenziale für Deutschland. Studie, 2007.
- [BVL/DIW 2006] Bundesverband Logistik (BVL)/Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW): Logistik-Indikator : Ergebnisse 2006-Q4 bis 2008-Q3; (<http://www.diw.de/logistikindikator>).
- [Choi 2006] Choi, C. Q.: Winziges Energiepaket. Spektrum der Wissenschaft, 10/2006, pp. 54-56.
- [Cook-Chennault et. al. 2008] Cook-Chennault, K. A. et. al.: Powering MEMS portable devices : Smart Mater. Struct. 17, 043001, 2008.
- [Das und Harrop 2008] Das, R.; Harrop, P.: Printed & Organic Electronics Forecasts : Players & Opportunities 2008-2028. IDTechEx, 2008.
- [Das und Harrop 2008a] Das, R.; Harrop, P.: Printed and Thin Film Transistors and Memory 2008-2028. IDTechEx, 2008.
- [Das und Harrop 2008b] Das, R.; Harrop, P.: RFID Forecasts, Players & Opportunities 2008-2018. IDTechEx, 2008.
- [Deutsche Bank Research 2006] Deutsche Bank Research: Entgegen vielen Erwartungen! Breitbandige Mobilfunktechnologie UMTS ist Realität. Economics 57, 2006.
- [Deutsche Bank Research 2007] Deutsche Bank Research: E-Commerce mit etablierten Bezahlssystemen arrangiert, 2007.
- [Deutsche Industriebank 2007] Deutsche Industriebank (IKB): Transport und Logistik, Bericht zur Branche. Studie 12/2007.
- [Domdouzis et al. 2007] Domdouzis et. al.: RFID applications: A brief introduction : Advanced Engineering Informatics 21, 350-355, 2007.
- [EU 2002] White Paper: Active and Passive RFID: Two Distinct, But Complementary, Technologies for Real-Time Supply Chain Visibility, 2002.
- [EU 2004] Europäische Kommission: Manufuture a Vision for 2020: assuring the future of manufacturing in Europe. Report of the High Level Group, 2004; www.manufuture.org.
- [EU 2008] Europäische Kommission: IKT zur Förderung des Vertrauens: Identitätsverwaltung, Authentifizierung, Privatsphäre, Rechte, Schutz. Bereich IuK-Technologien im 7. FRP der EU, 2008-2013.
- [EU 2008a] EU-Projekte: Intelligente Infrastrukturen; IKT zur Förderung des Vertrauens; Eingebettete Systeme, Datenverarbeitung und Steue-

- rung; Allgegenwärtige Kommunikationsnetze; IKT zur Unterstützung von Unternehmen. FP 7 der EU, 2008-2013.
- [EU 2008b] Europäische Kommission: Early Challenges regarding the “Internet of Things”. Commission Staff Working Document, 2008.
- [EU 2008c] EU-Projekt: CONET - Cooperating Objects Network of Excellence. EU FP 7, 2008-2012 (www.cooperating-objects.eu).
- [Fix 2008] Fix, W.: Elektronik von der Rolle. Physik Journal 7, Nr. 5, 2008.
- [Fleisch et. al.] Fleisch et al.: RFID : The Opportunity for Logistics Service Providers. Auto-ID White Paper, (<http://www.autoidlabs.org/single-view/dir/article/6/204/page.html>).
- [Franke und Dangelmaier 2006] Franke, W.; Dangelmaier, W.: RFID : Leitfaden für die Logistik, 2006. ISBN 103834903035.
- [FhG 2008] Fraunhofer Gesellschaft: Verbundprojekt: VitOL : Vernetzte intelligente Objekte in der Logistik, seit 2008.
- [Frey 2005] Frey, J.-E.: Drahtlos verbunden. ABB Technik, 2005.
- [Frost & Sullivan 2007] Frost & Sullivan: Printed Electronics: Technologies and Applications, 2007.
- [Guizani 2007] Guizani, S.: Special Issue on Security on wireless ad hoc and sensor networks. Comp. Communications 30, 2311-2313, 2007.
- [Gurganious 2008] Gurganious, D.: Wireless Sensor Network (WSN) for Smart Homes. Market Report, OW9852, Electronics.ca, 2008.
- [Hebling 2006] Hebling, C.: Mikroenergietechnik macht mobil. Physik Journal 6, Nr. 10, 2007.
- [Hecker 2007] Hecker, K. (Hrsg.): Organic Electronics, 2nd Edition. Organic Electronics Association within VDMA, 2007.
- [Heß 2008] Heß, W.: Ein Blick in die Zukunft: acht Megatrends, die Wirtschaft und Gesellschaft verändern. ALLIANZ DRESDNER ECONOMIC RESEARCH; Working Paper 103, 2008.
- [Horste et. al. 2008] Horste, B. et. al.: Bezahl's doch mobil! Marktstudie, Januar 2008.
- [idw 2009] idw: Assistenzsysteme auf der Agenda der Logistikbranche. idw-Pressemitteilung vom 27. 01. 2009.
- [IKB 2007] Studie: Transport und Logistik : Bericht zur Branche. IKB Deutsche Industriebank, 2007.
- [ISIS IC GmbH 2002] ISIS IC GmbH, Wesel: Active and Passive RFID: Two Distinct, But Complementary, Technologies for Real-Time Supply Chain Visibility. White Paper, 2002.

- [Jelden 2008] Jelden, H.: Energiespeicher für Elektrotraktion: Herausforderungen für Volkswagen. Vortrag. Strategiekonferenz Elektromobilität, Berlin, 2008.
- [Juniper Research 2008] Juniper Research: Mobile Payment Markets: Contactless NFC. 2008-2013, 2008.
- [Klaus und Kollé 2008] Klaus, P.; Kollé, C.: Die Top 100 der Logistik : Ausgabe 2008/2009. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg, 2008.
- [Korte et.al. 2008] Korte, S.; Rijkers-Defrasne, S.; Zweck, A.: Hybride Wertschöpfung : Statusbericht aktueller Fördervorhaben. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Band 78, 2008.
- [Lipp 2004] Lipp: Interaktion zwischen Mensch und Computer im Ubiquitous Computing, 2004.
- [Neef 2005] Neef, A.: Vom Personal Computer zum Personal Fabricator, -ISBN 3938017392, Murmann Verlag, Hamburg, 2005.
- [Nordmann 2005] Nordmann, A. (Berichtersteller): Technologische Konvergenz und die Zukunft der europäischen Gesellschaften. Bericht der Hochrangigen Expertengruppe (HLEG) Foresight zur neuen Technologiewelle i. A. der EU-Kommission, 2005.
- [Ondrus und Pigneur 2007] Ondrus, Pigneur: An Assessment of NFC for Future Mobile Payment International. Conference on the Management of Mobile Business, ICMB, 2007, Seite 43.
- [Ortiz 2008] Ortiz, E.: An Introduction to Near-Field Communication and the Contactless Communication API. Sun Developer Network, 2008.
- [OTTI-Tagung 2008] OTTI-Tagung: RFID-aktuelle Anwendungen und Zukunftsperspektiven. Regensburg 2008.
- [Patel 2006] Patel; N.: NFC Payment Momentum Increases as GSMA and Sony Announce Major Initiatives. Strategy Analytics, Research Report; Dec. 2006.
- [Phoenix 2006] Phoenix Contact GmbH & Co. KG: Kundenmagazin: Update 2/06, 2006.
- [Plowman 1964] Plowman, G. E.: Elements of Business Logistics. Stanford, 1. Auflage, Stanford 1964.
- [Schlecht und Böttner 2008] Schlecht, S.; Böttner, H.: Energiewandler mit großem Zukunftspotenzial, Nachrichten aus der Chemie, 56, S. 136-139, 2008.
- [Siemens 2005] Siemens AG: Intelligente Vernetzung: Funknetze in der Industrie, Pictures of the Future, 2005.

- [Statistisches BA 2007] Statistisches Bundesamt: Bruttoinlandsprodukt 2007 für Deutschland.
- [Stibor und Yunpeng 2007] Stibor, L.; Yunpeng, Z.: Schutzengel 2010: Fahrzeugkommunikation schafft Sicherheitsreserven. c` 19/2007.
- [Stupp et. al. 2005] Stupp, G. et. al.: The expected uncertainty of range-free localization protocols in sensor networks. Theoretical Computer Science 344, 86-99, 2005.
- [Sun et. al. 2008] Sun et. al.: Security co-existence of wireless sensor networks and RFID for pervasive computing; Comp. Communications 31, 4294-4303, 2008.
- [TAUCIS 2006] Technikfolgenabschätzung Ubiquitäres Computing und Informationelle Selbstbestimmung. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, 2006.
- [ten Hompel 2005] ten Hompel, M.: Das Internet der Dinge - Autonome Objekte und selbstorganisierende Systeme in der Logistik. Portfolio Industrieworkshop, 2005 (www.iml.fraunhofer.de/media/mediaposter.php?mediaId=2420)
- [TNS-global 2008] TNS-global: New Future In Store - How will shopping change between now and 2015? Research Report, May 2008.
- [Wang 2008] Wang, Z. L.: Kraftwerke im Nanoreich. Spektrum der Wissenschaft, Ausgabe Juni 2008, S. 90-95, 2008.
- [White Paper 2006] EU-Verordnung: VO (EG) Nr. 561/2006: Digitaler Tachograph.
- [Wilson 2008] Wilson, J.: Intelligent Wireless Microsystems. BCCResearch, 2008.
- [WTO 2008] World Trade Organization (WTO): International Trade Statistics 2008.
- [ZTA 2003] Zentrum für Technologiefolgenabschätzung der Schweiz: Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft, 2003.
- [ZTA 2004] Verselbständigung des Computers, 2004/2005; (www.ta-swiss.ch).
- [Zweck 2006] Zweck, A.: Virtuelle Realität - Spiel oder Kultur prägender Faktor? Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Band 66, Düsseldorf, 2006.

Alle genannten Webadressen waren im Februar 2009 verfügbar. Webseiten, die zum Zeitpunkt des Aufrufs nicht mehr online sind, können häufig in diesem Internet-Archiv nachgelesen werden:

<http://www.archive.org/web/web.php>

Zukünftige Technologien Consulting

ist eine Beratungseinheit der VDI Technologiezentrum GmbH in Düsseldorf.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) berät Entscheider aus

- Politik / politischer Administration / Regionen
EU - Bund - Länder - etc.
- Industrieunternehmen
Großunternehmen - KMU - junge Unternehmen - etc.
- Verbänden / Vereinen / Organisationen
Industrieverbände - Forschungseinrichtungen - etc.
- Finanzdienstleister
Banken - Venture Capital Gesellschaften - etc.
- Versicherungen
Rückversicherer - etc.

in technologischen und gesellschaftlichen Zukunftsfragen.

ZTC deckt durch ein Team verschiedenster Fachdisziplinen ein breites Themen- und Methodenspektrum ab. Systematisch und mit Unterstützung eigener Softwareinstrumente werden kundenspezifisch strategische Themen identifiziert, Ideen entwickelt sowie praxisnahe Lösungen umgesetzt.

Beispiele für Beratungsdienstleistungen sind:

- Innovations- und Technologiemonitoring
- Technologiefrüherkennung
- Newsmonitoring
- Szenarien und Prospektionen
- Studien und Innovationsanalysen
- Prozessberatungen, Prozessmoderationen
- Innovations- und Technologiemanagement
- Themengenerierung

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.zt-consulting.de



Zukünftige Technologien Consulting
VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Telefon: + 49 (0) 211 62 14 - 5 36
Telefax: + 49 (0) 211 62 14 - 1 39
E-Mail: ztc@vdi.de
www.zt-consulting.de