

Georg-August-Universität Göttingen

Institut für Wirtschaftsinformatik

Professor Dr. Matthias Schumann



Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

Telefon: + 49 551 39 - 44 33

+ 49 551 39 - 44 42

Telefax: + 49 551 39 - 97 35

www.wi2.wiso.uni-goettingen.de

Arbeitsbericht Nr. 11/2006

Hrsg.: Matthias Schumann

Adam Melski

Grundlagen und betriebswirtschaftliche Anwendung von RFID

© Copyright: Institut für Wirtschaftsinformatik, Abteilung Wirtschaftsinformatik II, Georg-August-Universität Göttingen. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen der RFID-Technologie.....	2
2.1 Evolution der automatischen Identifikation	2
2.2 Historische Entwicklung.....	4
2.3 Aufbau und Funktionsweise	7
2.4 Standardisierung.....	15
2.5 Vergleich mit anderen Auto-ID Systemen	19
3 Betriebswirtschaftliche Auswirkungen des RFID-Einsatzes	23
3.1 Prozessautomatisierung	23
3.2 Prozessinnovation	25
3.3 Netzwerkanwendungen durch Diffusion	26
3.4 Paradigmenwechsel im Management	28
4 Anwendungsszenarien der RFID-Technologie.....	31
4.1 Supply Chain Management	31
4.2 Asset Management.....	37
4.3 Produktionssteuerung.....	40
4.4 Point of Sale	43
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	47
Literaturverzeichnis	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Medienbruch Dateneingabe	2
Abbildung 2-2: Barcode-Technologie adressiert nur die Fehleranfälligkeit.....	3
Abbildung 2-3: RFID schließt die Lücke zwischen der realen Welt und ihrem digitalen Abbild.....	4
Abbildung 2-4: Meilensteine der RFID-Entwicklung.....	7
Abbildung 2-5: Aufbau und Funktionsweise eines RFID-Systems.....	8
Abbildung 2-6: Aufbau eines passiven RFID-Transponders	9
Abbildung 2-7: Eigenschaften von Transpondern mit unterschiedlicher Energieversorgung	10
Abbildung 2-8: Gestaltungs- und Leistungsparameter eines Transponders	12
Abbildung 2-9: Antikollisionsverfahren	14
Abbildung 2-10: Aufgaben der RFID-Middleware	15
Abbildung 2-11: EPCglobal Standards.....	16
Abbildung 2-12: Infrastruktur des EPCglobal-Netzwerkes	17
Abbildung 2-13: Struktur des EPC	18
Abbildung 2-14: Transponderklassen.....	18
Abbildung 2-15: RFID-Frequenzbereiche und Standards.....	19
Abbildung 2-16: Barcode- und RFID-Systeme im Vergleich.....	21
Abbildung 3-1: Problemfelder bei der manuellen Identifikation in der Logistik	24
Abbildung 3-2: Diffusion von RFID-Systemen.....	27
Abbildung 3-3: Der Kreislauf der positiven Feedbacks	27
Abbildung 3-4: S-Kurven der Barcode- und RFID-Technologie.....	28
Abbildung 3-5: Management by Exception.....	30
Abbildung 4-1: Betriebswirtschaftliche Anwendungsbereiche von RFID-Systemen	31
Abbildung 4-2: Der Bullwhip-Effekt führt zu großen Nachfrageschwankungen	33
Abbildung 4-3: Nutzenpotenziale von RFID entlang der Wertschöpfungskette.....	35
Abbildung 4-4: Produktinformation entlang der Supply Chain	35
Abbildung 4-5: Konstellation in der Lieferkette.....	37
Abbildung 4-6: Asset Management am Frankfurter Flughafen	39
Abbildung 4-7: Einsatz von RFID in der Produktionssteuerung bei Porsche.....	42
Abbildung 4-8: Vor- und Nachteile dezentraler Steuerungskonzepte	43

Abkürzungsverzeichnis

AI	Air Interface
ALE	Application Level Event
API	Application Program Interface
Auto-ID	Automatische Identifikation
CD	Compact Disc
CDMA	Code Division Multiple Access
CRM	Consumer Relationship Management
DoD	Department of Defence
EAN	European Article Number
EAS	Elektronische Artikelsicherung
ECR	Efficient Consumer Response
EEPROM	Electric Erasable and Programmable Read Only Memory
EPC	Electronic Product Code
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FRAM	Ferroelectric Random Access Memory
GPS	Global Positioning System
HF	High Frequency
IS	Informationssystem
ISO	International Standards Organisation
IT	Informationstechnologie
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologie
JIT	Just-in-time
LF	Low Frequency
MF	Middle Frequency
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NFC	Near Field Communication
OCR	Optical Character Recognition

ONS	Object Naming Service
PC	Personal Computer
PML	Physical Markup Language
PPS	Produktionsplanung und Steuerung
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency Identification
ROI	Return on Investment
SCM	Supply Chain Management
SDMA	Space Division Multiple Access
SHF	Super High Frequency
TDMA	Time Division Multiple Access
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extended Markup Language

1 Einleitung

„Exciting times await those of us committed to the pursuit of advancements in RFID.“ (Landt 2005, S. 6)

Durch Entwicklungen auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnologie ist die Welt zunehmend vernetzt: Während das Internet Menschen miteinander vernetzt, werden mittels automatischer Identifikation Objekte in naher Zukunft dazu im Stande sein, miteinander zu kommunizieren (sog. „Internet der Dinge“). Sie können dann ihrer Umwelt mitteilen, wer sie sind, woher sie kommen und wohin sie befördert werden sollen. Die Technologie, welche diese Vision ermöglichen soll, heißt Radio Frequency Identification (RFID). Diese vier Buchstaben haben in der letzten Zeit für viele Schlagzeilen gesorgt und dabei stets einen Drahtseilakt zwischen Hoffnungsträger-Technologie und Hype vollführt.¹

Mittels RFID ist es möglich, Objekte per Funk zu identifizieren. Der wichtigste Grund, warum die Technologie in allen Zukunftsszenarien vorkommt, ist der Wunsch nach optimalen Prozessen, in der Ineffizienzen und Intransparenzen überwunden sind (vgl. Machemer 2004, S. 29). Dass RFID diese Wunschvorstellung realisieren kann, ist mittlerweile unbestritten. Allerdings wird der Technologie bisweilen zu viel zugetraut: „Talk of the practicality of the widespread acceptance of implanting chips in people, of orbiting satellites that can read tags from space, and of a world where everything, and perhaps everyone, is connected by RFID creates a sense that this technology may reach into our lives in ways that are understandably inappropriate and intrusive“ (Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 364). Die Überschätzung des Nutzens und Unterschätzung der Risiken ist dabei typisch für die Einführung neuer Technologien (vgl. Kern 2006, S. 3).

Aus den unklaren Vorstellungen darüber, was RFID leisten kann und wo es an seine Grenzen stößt, ergeben sich grundsätzlich zwei Forschungsfragen für die vorliegende Ausarbeitung: Welche Technologie steckt hinter dem Akronym RFID? Und welche betriebswirtschaftlichen Anwendungen können auf Basis dieser Technologie implementiert werden? Hierzu werden zunächst die Grundlagen der RFID-Technologie vorgestellt (Kapitel 2). Da die technische Seite von RFID in der Literatur bereits zu Genüge beleuchtet worden ist, wird dabei viel Wert auf eine zwar vollständige, aber vor allem übersichtliche Darstellung gelegt. Im Kapitel 3 werden betriebswirtschaftliche Auswirkungen des RFID-Einsatzes diskutiert. Anschließend werden Anwendungsfelder identifiziert und für jedes Einsatzszenario Motive, Nutzenpotenziale und Herausforderungen erörtert (Kapitel 4).

¹ Im April 2004 liefert Google auf das Suchwort RFID knapp 1,7 Millionen Treffer, ein Jahr später waren es schon 7,3 Millionen (vgl. Hiemsch 2005, S. 14). Im März 2006 sind es bereits über 51 Millionen Ergebnisse.

2 Grundlagen der RFID-Technologie

Im Folgenden werden die Grundlagen der RFID-Technologie erläutert. Zunächst wird ein Überblick zu den Entwicklungsstufen der automatischen Identifikation gegeben (Abschnitt 2.1). Als nächstes werden Meilensteine der RFID-Entwicklung beleuchtet (2.2). Abschnitt 2.3 widmet sich dem Aufbau und der Funktionsweise eines RFID-Systems. Nachfolgend wird der aktuelle Stand der Standardisierung dargestellt (2.4). Anschließend wird ein Vergleich mit anderen Auto-ID-Systemen vorgenommen (2.5).

2.1 Evolution der automatischen Identifikation

„As the number of sources and the quantity of information grow, analysis must be automated.“
(Heinrich 2005a, S. 9)

Medienbruch Dateneingabe

Trotz der rasanten Weiterentwicklung der Informationstechnologie (IT) in den letzten Jahrzehnten hat ein Grundprinzip der Datenerfassung aus früheren Tagen immer noch Bestand: „Das Abbild der realen Welt im IT-System ist immer nur so genau wie die Erfassung der Daten“ (Heinrich 2006, S. 157). Mit anderen Worten ist ein leistungsstarkes IT-System nutzlos, wenn es nicht mit den zur Problemlösung notwendigen Daten versorgt wird. Sowohl die Anzahl als auch der Detaillierungsgrad der Daten sind dabei aufgrund der steigenden Produktvielfalt und –komplexität wie auch dem Aufkommen neuer Management-Konzepte ständig gewachsen. Dateneingaben müssen heutzutage viel häufiger durchgeführt werden, um ein annähernd exaktes Abbild der Realität wiederzugeben. Jeder Eingabevorgang bildet dabei einen Medienbruch, bei dem es zu einer Mehrfacherfassung von Daten, nämlich jeweils auf dem Objekt und im IT-System, kommt. Dies impliziert im Falle einer rein manuellen Dateneingabe eine erhöhte Fehleranfälligkeit. Zudem ist der Eingabevorgang sehr zeit- und kostenintensiv (siehe Abbildung 2-1).

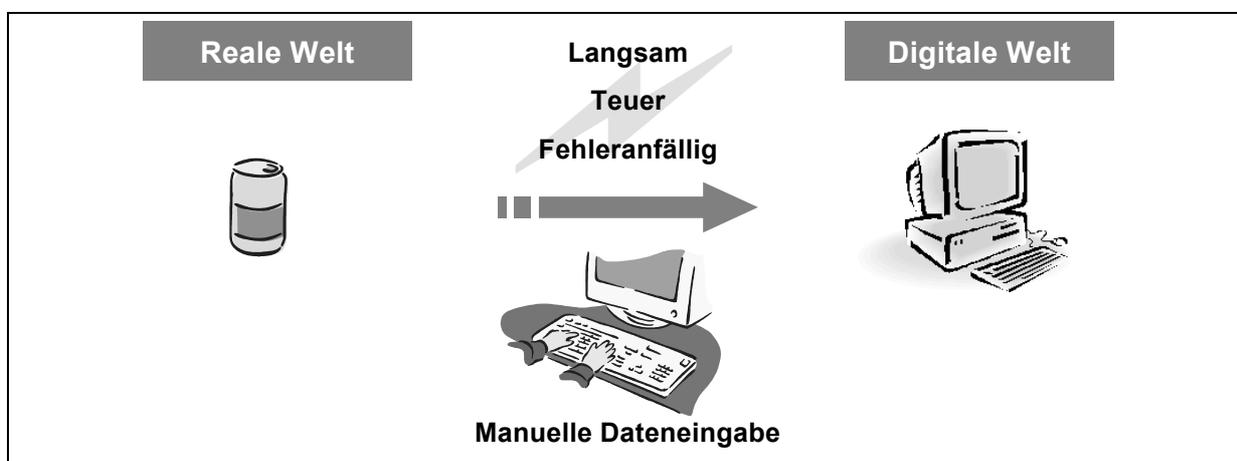


Abbildung 2-1: Medienbruch Dateneingabe

Evolutionsschritt 1: Manuell ausgewerteter Barcode

Um Abhilfe zu schaffen, wurden daher automatische Identifikationssysteme (Auto-ID) entwickelt. Sie nehmen in einem ersten Schritt die auf einem Objekt gespeicherten Informationen auf, um diese in einem zweiten Schritt mittels Computeranalyse zu interpretieren (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 9). Zu dem gegenwärtig am weitesten verbreiteten Auto-ID-Verfahren zählt die Barcode-Technologie. Der Barcode (bzw. Strichcode) ist ein aus parallel angeordneten Strichen und Trennlücken bestehender Binärcode, dessen Ablesung durch eine optische Laserabtastung erfolgt (vgl. Finkenzeller 2002, S. 2 f.). Seine bekannteste Variante, der International Article Number (früher European Article Number, kurz EAN), ist dabei bereits 1976 für die Lebensmittelindustrie konzipiert worden. Zwar konnte durch den Einsatz der Barcode-Scanner die Fehleranfälligkeit signifikant reduziert werden. Da der Scanvorgang jedoch immer manuell erfolgt, konnte der Nachteil der Zeit- und Kostenintensität nicht entscheidend kompensiert werden (siehe Abbildung 2-2).

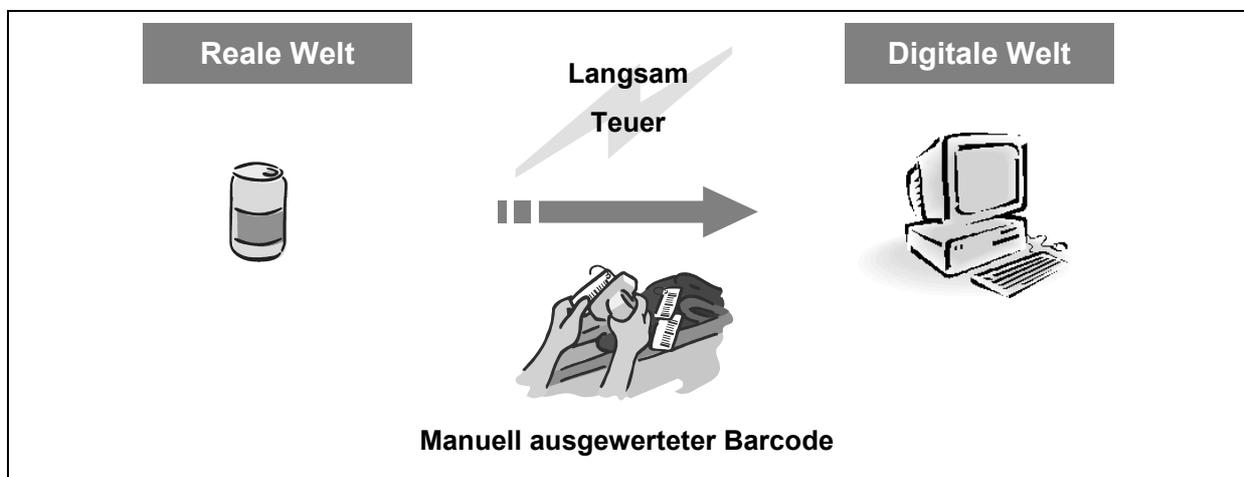


Abbildung 2-2: Barcode-Technologie adressiert nur die Fehleranfälligkeit

Evolutionsschritt 2: Automatische Identifikation

In den vorhergehenden Ausführungen ist deutlich geworden, dass hauptsächlich der Faktor Mensch für die Fehleranfälligkeit, Trägheit und hohen Kosten der Schnittstelle zwischen der realen und digitalen Welt verantwortlich zeichnet. Eine effiziente Identifikation von Objekten sollte also möglichst auf die Mensch-Maschine-Kommunikation verzichten und auf einer reinen Maschine-Maschine-Kommunikation aufbauen. Im Idealfall sollten sich also Objekte selbstständig identifizieren. Mittels RFID ist es möglich, diese Idee umsetzen. Dazu werden Objekte mit Vorrichtungen ausgerüstet, die selbstständig Daten senden, wenn sie in die Reichweite eines Lesegerätes kommen. Während im Falle der Barcode-Technologie also das Objekt manuell am Lesegerät vorbeigeführt werden muss, nimmt RFID eine Identifikation per Funk ohne menschliches Zutun vor. Auf diese Weise substituiert das RFID-System den Menschen als Intermediär zwischen der Ebene der physischen Objekte und der Informationsebene. Einen weiteren Vorteil, den RFID gegenüber Barcode-Systemen bietet, stellt die Möglichkeit dar, jedem Objekt eine eindeutige Identifikationsnummer zuzuteilen. Somit ist jede Instanz eines bestimmten Objekttyps exakt identifizierbar (siehe Abbildung 2-3).

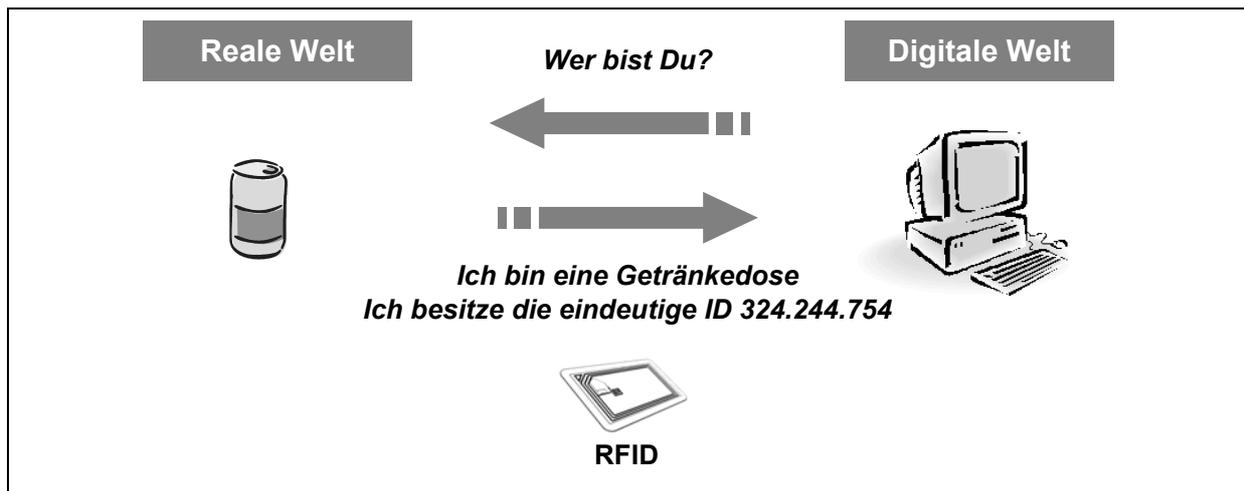


Abbildung 2-3: RFID schließt die Lücke zwischen der realen Welt und ihrem digitalen Abbild

Evolutionsschritt 3: Dezentrale Steuerung und Sensorik

Neben einer eindeutigen Identifikationsnummer ist es in einem nächsten Schritt auch möglich, weitere Informationen am Objekt zu speichern und somit einen objektbegleitenden Datentransport zu ermöglichen (vgl. Schumann/Diekmann 2005). Zusätzlich zu der reinen Datenspeicherung können RFID-Transponder mit Mikroprozessoren ausgestattet und somit in die Lage versetzt werden, eigene Berechnungen durchzuführen (vgl. Overmeyer/Höhn 2004, S. 3). Um zentrale Steuerungssysteme zu entlasten kann in letzter Konsequenz die Entscheidungsbefugnis an das smarte² Objekt delegiert werden (vgl. Fleisch/Dierkes 2003, S. 614).

Werden RFID-Transponder zusätzlich mit einem Sensor ausgestattet, können sie Veränderungen in ihrer unmittelbaren Umwelt wahrnehmen, speichern und eventuell Korrekturmaßnahmen einleiten. Diese Entwicklung betrachtend können RFID-Systeme zu Recht als die „Augen und Ohren eines Informationssystems“ (Thiesse 2005, S. 103) aufgefasst werden. Sie schließen damit die Lücke zwischen der realen Welt und ihrem digitalen Abbild.

2.2 Historische Entwicklung

Die Anfänge von RFID datieren aus dem Zweiten Weltkrieg, wo das auf einer Kombination der Rundfunk- und Radartechnologie beruhende Verfahren zur Flugzeugerkennung (friend or foe identification) genutzt wurde. Als die eigentliche Geburtsstunde von RFID gilt jedoch erst die Publikation „Communications by Means of Reflected Power“ von STOCKMAN aus dem Jahre 1948.³ Der Autor beschreibt in ihr die Möglichkeit, RFID-Transponder mit Hilfe der von dem Radiosignal ausgestrahlten

² Smarte (hybride) Dinge bestehen aus einem realen, physischen Objekt und einem integrierten (meist unsichtbaren, weil sehr kleinen) Computer, der das smarte Ding zur selbständigen Wahrnehmung des Kontextes befähigt (vgl. Fleisch/Mattern/Billinger 2003, S. 7).

³ Somit stellt paradoxerweise der Barcode die neuere der beiden Auto-ID-Technologien dar, da das erste Barcode-Patent aus dem Jahre 1949 stammt (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 4).

Energie zu betreiben und führt somit das Konzept der passiven RFID-Systeme ein (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 16). Er konstatiert aber auch: „Evidently, considerable research and development work has to be done before the remaining basic problems in reflected-power communication are solved, and before the field of useful applications is explored“ (zitiert nach Landt 2005, S. 4). Die Tatsache, dass RFID erst über ein halbes Jahrhundert später im großen Stil für den betriebswirtschaftlichen Einsatz entdeckt wird, ist jedoch nicht nur auf die weitere Erforschung der Technologie zurückzuführen, sondern hat vielmehr ihre Ursache in parallelen Entwicklungen (siehe nächste Seite), die miteinander verwoben sind und letztendlich gemeinsam den Zeitpunkt der wirtschaftlich sinnvollen RFID-Anwendung bestimmt haben.

Meilensteine in der RFID-Entwicklung

Die 50er Jahre sind zunächst von einer theoretisch fundierten Erforschung technologischer Grundlagen geprägt (vgl. im Folgenden Landt 2005, S. 9 ff.). In dieser Zeit wurde die RFID-Technologie vor allem vom Militär genutzt (vgl. Heinrich 2005b, S. 13).⁴ Erst in den späten 60er Jahren findet eine erste kommerzielle Nutzung der RFID-Technologie in Form der elektronischen Artikelsicherung statt. Dazu werden 1-bit-Transponder verwendet, die am Artikel befestigt sind und einen Signal auslösen, sobald sie in die Reichweite eines Lesers gelangen. Die Anzahl der Anwendungen steigt in den 70er Jahren. Als ein wesentliches Hauptanwendungsgebiet kristallisiert sich dabei die Tieridentifikation heraus, bei der Nutztieren RFID-Implantate unter die Haut injiziert werden. In diese Dekade fällt auch der erste Patentantrag für einen RFID-Transponder durch CARDULLO im Jahre 1973 (vgl. Shepard 2005, S. 50 f.). In den 80er Jahren ruft die RFID-Technologie ein gesteigertes Interesse hervor. Immer mehr Unternehmen, Institutionen und Individuen beschäftigen sich mit der neuen Technik. In Norwegen wird beispielsweise 1987 das erste auf der RFID-Technologie basierende Mautgebührensystem der Welt implementiert.

Ab 1990 findet dann „die eigentliche Entwicklung moderner RFID-Systeme“ statt (vgl. hier und im Folgenden Kern 2006, S. 7). Durch die enorme Verkleinerung der großen passiven Transponder und der damit verbundenen Reduktion der Preise erweitert sich das Spektrum der möglichen Anwendungen. Auch findet RFID mit der von Texas Instruments entwickelten Wegfahrsperre TIRIS Eingang ins Alltagsleben. Weitere Anwendungsfelder bietet die Zutrittskontrolle zu Gebäuden und Zeiterfassung bei Sportveranstaltungen⁵. Die beschriebenen Anwendungen bedienen sich dabei Transpondern, die im LF-Bereich arbeiten (<135 kHz). Durch einen späteren Frequenzwechsel in den HF-Bereich (13,56 MHz) ändert sich die Bauweise der Transponder und es ist nunmehr möglich, die Antenne zusammen mit dem Chip in einem flachen Etikett unterzubringen. Dies impliziert neue Anwendungsgebiete, da die RFID-Transponder dadurch wie Barcode-Labels an jeglichen Objekten angebracht werden können.

⁴ Das DoD (Department of Defence) in den USA verfügt immer noch über das größte RFID-System der Welt, welches vor allem zum Tracking von militärischen Objekten verwendet wird (vgl. Smith/Konsynski 2003, S. 305).

⁵ Hier ist vor allem der Einsatz von RFID bei Massensportveranstaltungen interessant, bei denen eine Herausforderung die Ermittlung der exakten Start- und Ankunftszeit darstellt. So hat sich die Technologie bei Marathonläufen etabliert, wo kleine Transponder am Schuh befestigt sind, die von Antennen in sog. Tartanmatten ausgelesen werden (vgl. Kern 2006, S. 123 f.).

Für einen breiten betriebswirtschaftlichen Einsatz ist die Technologie Ende der 90er Jahre jedoch noch zu teuer. RFID findet sich somit in einem *circulus vitiosus* wieder, bei dem die hohen Kosten eine geringe Adaption der Technologie bedeuten, eine geringe Adaption jedoch wiederum hohe Kosten nach sich zieht (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 38). Das 1998 gegründete Auto-ID Center⁶ nimmt sich dieses Problems an, indem es sich bei der Entwicklung eines Standards für RFID vorwiegend auf die Kostenreduktion konzentriert (low-cost RFID). Kleinere Transponder, einfache Datenaustauschprotokolle und elementare Datenstrukturen sind die Eckpfeiler einer Strategie, die der RFID-Technologie zum Durchbruch verhelfen sollen (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 39). Ab 2003 führt der Nachfolger des Auto-ID Centers, EPCglobal Inc.⁷, die Standardisierungsbemühungen fort.

Parallele Entwicklungen als Katalysatoren der RFID-Entwicklung

Auf dem Gebiet der IuK-Technologie können vor allem Entwicklungen in drei verschiedenen Bereichen identifiziert werden, die letztendlich den Einsatz der RFID-Technologie ebneten (vgl. im Folgenden Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 269 f.; Landt 2005, S. 9). In der Informationsverarbeitung diente vor allem die Entwicklung leistungsstarker Computer als ein wesentlicher Katalysator, da für die Verarbeitung der enormen Anzahl an Daten, die durch RFID-Systeme generiert werden, eine adäquate Rechenleistung erforderlich ist. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit ist dabei mit der fortschreitenden Miniaturisierung und dem dahinter stehenden Mooreschen Gesetz, welches besagt, dass sich die Zahl der auf einem Computerchip integrierbaren Transistoren ca. alle anderthalb Jahre verdoppelt (Moore 1965)⁸, verknüpft. MATTERN konstatiert, dass „die Mikroelektronik, die in den letzten Jahrzehnten bezüglich ihres Leistungszuwachses diesem Gesetz treu geblieben ist, [...] die wohl wichtigste treibende Kraft hinter den Visionen des Ubiquitous Computing“ ist (Mattern 2005, S. 45). Auf dem Gebiet der Telekommunikation fungierten die digitalisierte Datenübertragung, die stetige Erhöhung der Übertragungsraten sowie auch neue Techniken wie die drahtlose Kommunikation (WLAN, NFC) als Enabler für RFID-Systeme. Schließlich ist in dem Bereich der globalen Vernetzung die Entwicklung des Internets als ein weiteres Mosaiksteinchen in der Entstehung von RFID zu sehen. Erst durch die globale Verfügbarkeit der zu einem Produkt gehörenden Daten kann die Idee verwirklicht werden, einzig das eindeutige Identifikationsmerkmal am Objekt zu speichern, welches weitere Daten in externen Datenbanken referenziert.

Für die kostengünstige Entwicklung von Transpondern waren neben den skizzierten technologischen Entwicklungen auch Fortschritte in den Materialwissenschaften von Bedeutung (vgl. Mattern 2005, S. 45 ff.). Die Verwendung des Siliziums ermöglichte in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts den

⁶ Das Auto-ID-Center wurde am Massachusetts Institute of Technology (MIT) als ein Zusammenschluss von ca. 100 Unternehmen und fünf renommierten Universitäten (MIT, Cambridge, Adelaide, Keio, St. Gallen) gegründet. Weitere Informationen finden sich unter http://www.epcglobalinc.org/about/AutoID_archive.html.

⁷ Electronic Product Code Global Inc. (www.epcglobalinc.org) ist ein Zusammenschluss mehrerer Unternehmen unter der Dachgesellschaft der Organisationen EAN (European Product Number International) und UCC (Unifying Code Council). In Deutschland wird die Organisation durch GS1 Germany (www.gs1-germany.de) vertreten.

⁸ Anders formuliert besagt das Gesetz von Moore, dass sich die Leistungsfähigkeit von Prozessoren etwa alle anderthalb Jahre verdoppelt.

Bau von Mikrochips. In Zukunft soll die Polymertechnologie eine treibende Kraft im Bereich der RFID-Transponder-Herstellung werden.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht hat eine stärkere Fokussierung auf unternehmensübergreifende Prozesse in der Wertschöpfungskette das Interesse an automatischer Identifikation, und damit vor allem an RFID, geweckt. Der in den 80er Jahren von PORTER eingeführte Begriff des Supply Chain Managements und der Wandel des Logistikverständnisses hin zum Management von Fließsystemen stellten dabei neue Anforderungen an die Datenerfassung und Qualitätssicherung. PFLAUM schreibt in diesem Zusammenhang, dass „ohne die automatische Identifikation von Gütern an den Schnittstellen zwischen Unternehmen und anderen sensiblen Punkten im Materialfluss die Datenbanken der Unternehmen weitestgehend ungefüllt blieben und die Voraussetzung für umfassende Planungsprozesse fehlt“ (vgl. Pflaum 2001, S. 1 f.).

Die vorgestellten Entwicklungspfade machen deutlich, dass sowohl technologische, materialwissenschaftliche wie auch betriebswirtschaftliche Impulse eine wichtige Rolle in der Entwicklung von RFID spielten und weiterhin spielen. Abschließend skizziert Abbildung 2-4 den zeitlichen Werdegang der RFID-Entwicklung (in Anlehnung an Kern 2006, S. 9).

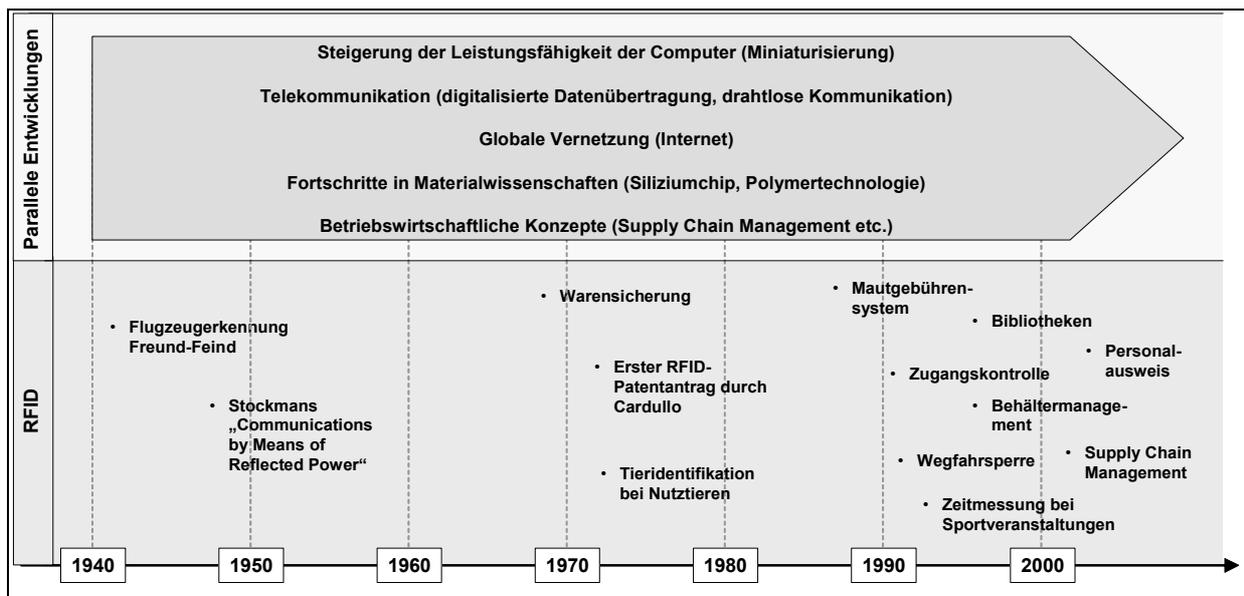


Abbildung 2-4: Meilensteine der RFID-Entwicklung

2.3 Aufbau und Funktionsweise

Obschon der Aufbau und die Funktionsweise von RFID einfach nachzuvollziehen ist, so ist die Technologie dahinter weitaus komplizierter. Um die Grundprinzipien eines idealtypischen RFID-Systems zu verstehen, braucht es jedoch nicht der Kenntnis jedes technischen Details. Beispielsweise sind die Feinheiten der physikalischen Übertragungsverfahren für die vorliegende Abhandlung von geringer

Bedeutung.⁹ Dennoch ist die Vorstellung einiger Grundlagen notwendig, um betriebswirtschaftliche Potenziale und Herausforderungen dieser Technologie richtig einschätzen zu können.

RFID ist nicht gleich RFID – jede Anwendung weist unternehmens- und systemspezifische Besonderheiten und Anforderungen auf (vgl. Lange 2004, S. 26). Dennoch folgen alle RFID-Systeme grundsätzlich dem in Abbildung 2-5 dargestellten Aufbau (in Anlehnung an Lampe/Flörkemeier/Haller 2005, S. 71).

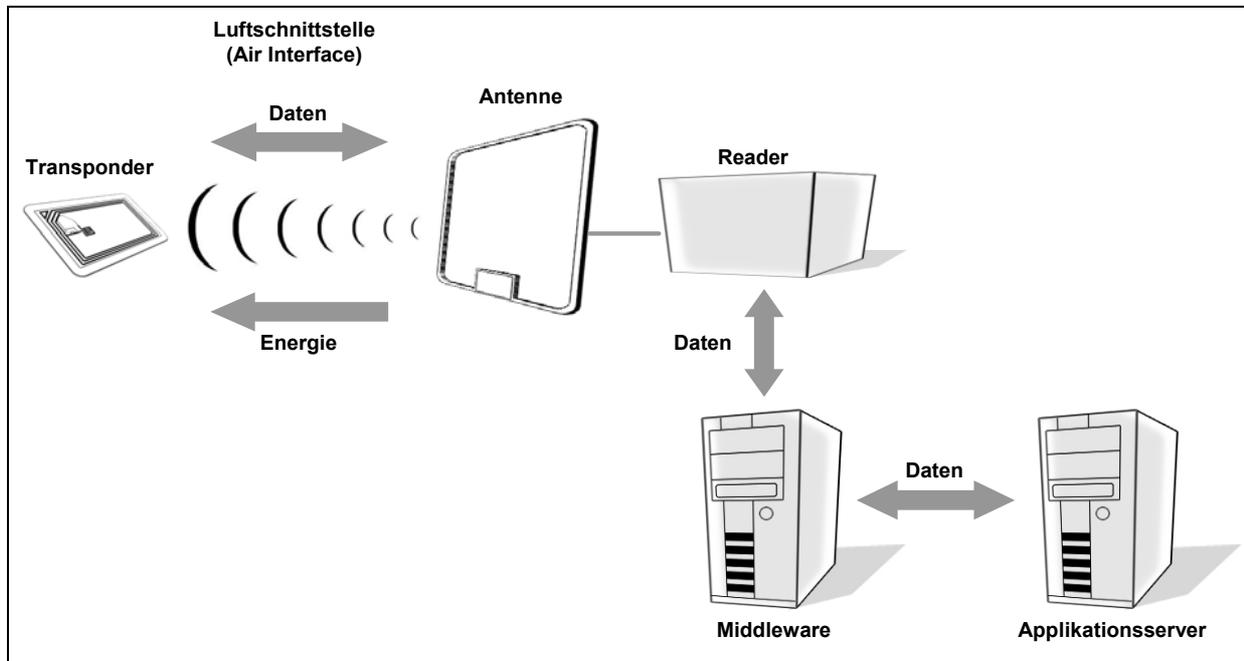


Abbildung 2-5: Aufbau und Funktionsweise eines RFID-Systems¹⁰

Die zentrale Komponente eines RFID-Systems bildet der Transponder, welcher Daten des zu identifizierenden Objekts, an dem er angebracht ist, speichert. Diese Daten werden ausgelesen, indem zwischen Lesegerät (Reader) und Transponder kodierte Radiowellen über die Luftschnittstelle ausgetauscht werden. Passive Transponder, die über keine eigene Energiequelle verfügen, beziehen dabei die für die Datenübertragung benötigte Energie ebenfalls aus den vom Lesegerät erzeugten Radiowellen. Das Lesegerät leitet die Daten an die Middleware weiter, wo diese gefiltert und für die angeschlossenen Applikationen aufbereitet werden. Im Folgenden werden die einzelnen RFID-Komponenten näher erläutert.

Transponder

⁹ Der technisch interessierte Leser sei in diesem Sinne auf die Publikation von FINKENZELLER (Finkenzeller 2002) verwiesen.

¹⁰ In der Literatur existieren unterschiedliche Meinungen zur Anzahl an Komponenten, aus denen RFID-Systeme bestehen. Manche Quellen zählen lediglich zwei Komponenten, den Transponder und das Lesegerät, zu dem eigentlichen RFID-System (vgl. bspw. Kern 2006, S. 33). Ein Großteil der Quellen schließt die angeschlossene IT mit ein (vgl. z.B. Lampe/Flörkemeier/Haller 2005, S. 70 f.). Mancherorts wird auch noch das Objekt, an dem der Transponder befestigt ist, dazugezählt (vgl. bspw. Agarwal 2001, S. 9).

Die Bezeichnung Transponder setzt sich aus den englischen Begriffen „Transmitter“ und „Responder“ zusammen (vgl. Meyer 2005, S. 22; Bald 2004, S. 91)¹¹ und wurde aus der Nachrichtentechnik übernommen, wo sie eine aus Funkempfänger und nachgeschaltetem Sender bestehende nachrichtentechnische Anlage bezeichnet (vgl. Pflaum 2001, S. 39).¹² Ein RFID-Transponder besteht aus vier Kernelementen (vgl. Sarma 2001, S. 4). Das Kernstück des Transponders bildet der Mikrochip. Er besteht aus einem Hochfrequenz-Teil zur Signalverarbeitung und Energiegewinnung aus dem elektrischen Feld des Lesegerätes, einer Kontrolleinheit zur Verarbeitung empfangener Kommandos sowie einer Speichereinheit. Die Antenne stellt die Verbindung zwischen den elektromagnetischen Wellen des Lesegerätes und dem Chip dar (vgl. BITKOM 2005, S. 22 f.). Weitere Elemente eines RFID-Transponders sind der Kondensator, welcher die dauerhafte Stromversorgung gewährleistet (bei aktiven Transpondern befindet sich stattdessen eine integrierte Batterie) sowie das Substrat, auf welchem sich alle Komponenten befinden.¹³ Abbildung 2-6 illustriert den Aufbau eines passiven RFID-Transponders (in Anlehnung an Kern 2006, S. 75).

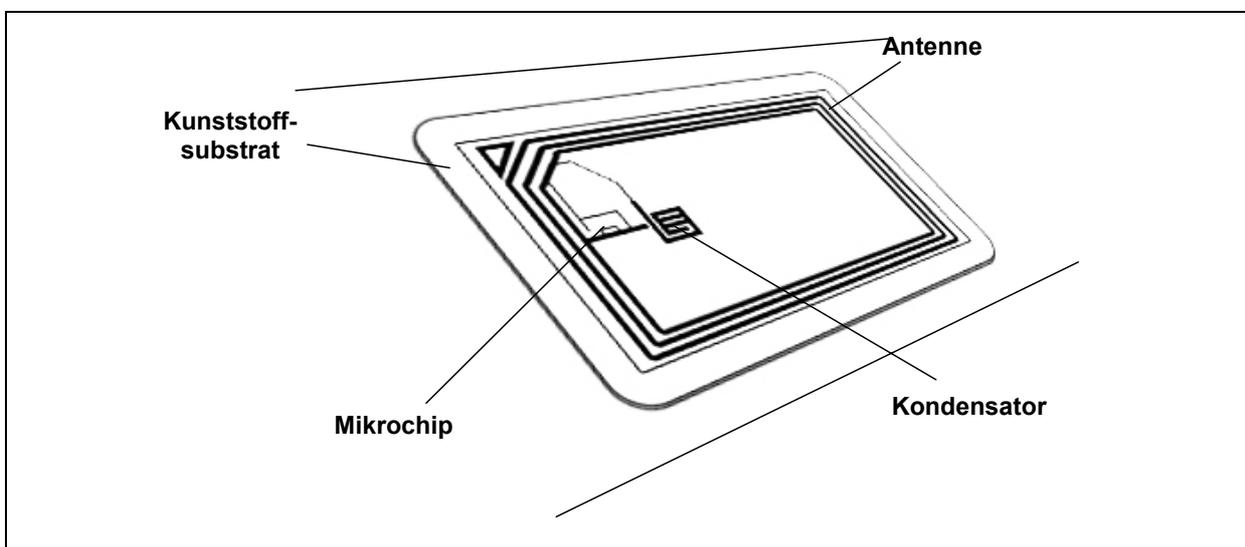


Abbildung 2-6: Aufbau eines passiven RFID-Transponders

Neben der in der Abbildung dargestellten Etiketten-**Bauform** kommen RFID-Transponder unter anderem auch in Glaskapseln (etwa zur Tieridentifikation), Kunststoffkarten oder in Sondergehäusen (wie etwa Uhren oder Schlüsselanhänger) vor (vgl. Finkenzeller 2002, S. 14 ff.; Kern 2006, S. 68 ff.). Im Folgenden werden wichtige Unterscheidungsmerkmale von RFID-Transpondern näher betrachtet.

RFID-Transponder unterscheiden sich in der **Energieversorgung** in passive, semi-aktive und aktive Modelle (vgl. im Folgenden Lampe/Flörkemeier/Haller 2005, S. 73; Meyer 2005, S. 23; Thorndike/Kasch 2004, S. 32 f.). Passive Transponder besitzen keine eigene Energiequelle. Sie beziehen die zur Datenübertragung notwendige Energie aus dem elektromagnetischen Feld, welches vom

¹¹ Mancherorts wird auch das Verbpaar „transmit“ und „respond“ genannt. Dagegen beruht eine weitere Herleitung fälschlicherweise auf den Begriffen „translate“ und „respond“ (vgl. Garber 2005, S. 31).

¹² Da diese Bezeichnung die Speicherfunktion vernachlässigt, schlägt der Autor daher vor, den englischen Begriff „Tag“ zu benutzen. In der deutschsprachigen Literatur wird jedoch überwiegend der Begriff „Transponder“ verwendet. Daneben gibt es noch weitere Bezeichnungen wie „Chip“, „Etikette“ oder „Label“.

¹³ Eine detaillierte Beschreibung der Herstellung eines Transponders findet sich bei Kern 2006, S. 185 ff.

Lesegerät erzeugt wird. Dadurch besitzen sie einerseits eine geringe Lesedistanz.¹⁴ Andererseits sind diese Transponder kostengünstig, da der Einbau einer eigenen Energiequelle entfällt, wie auch langlebig, da ihre Haltbarkeit nicht an die Lebensdauer einer Batterie gebunden ist. Semi-aktive (mancherorts auch als semi-passive bezeichnet) Transponder sind im Besitz einer eigenen Energiequelle zur Versorgung des Mikrochips. Allerdings benutzen sie zum Senden der Daten die vom Lesegerät ausgestrahlte Energie des elektromagnetischen Feldes. Sie verfügen somit über die Lesezuverlässigkeit eines aktiven und die Lesereichweite eines passiven Transponders. Außerdem können sie mit integrierten Sensoren versehen werden, die permanent Umweltdaten erfassen. Schließlich besitzen aktive Transponder eine interne Batterie, die sowohl zum Betrieb des Mikrochips wie auch zum Datenaustausch mit dem Lesegerät verwendet wird. Demzufolge sind sie viel teurer und kurzlebiger (maximal 5-10 Jahre nutzbar) als ihre passiven Pendanten. Zudem fallen sie durch die Batterie größer aus als passive Transponder. Allerdings weisen sie eine große Lesedistanz, die bis 100 Meter reichen kann, eine erhöhte Speicherkapazität wie auch eine etwas höhere Lesezuverlässigkeit auf. Daneben können sie auch mit Sensoren zur Datenerfassung ausgestattet werden. Abbildung 2-7 fasst die Eigenschaften bezüglich der Energieversorgung zusammen.

Merkmale/System	Passiv	Semi-aktiv	Aktiv
Lesedistanz	<i>gering</i>	<i>gering</i>	<i>groß</i>
Lesezuverlässigkeit	<i>hoch</i>	<i>sehr hoch</i>	<i>sehr hoch</i>
Lebensdauer	<i>lang</i>	<i>mittel</i>	<i>kurz</i>
Speicherkapazität	<i>gering</i>	<i>hoch</i>	<i>hoch</i>
Bauform	<i>klein</i>	<i>mittel</i>	<i>groß</i>
Sensorik	<i>nicht möglich</i>	<i>möglich</i>	<i>möglich</i>
Kosten	<i>gering</i>	<i>mittel</i>	<i>hoch</i>

Abbildung 2-7: Eigenschaften von Transpondern mit unterschiedlicher Energieversorgung

Aufgrund der skizzierten Eigenschaften, vor allem der kostengünstigen Herstellung, eignen sich passive Transponder für eine Anwendung im Massengüterbereich. Sie übernehmen dort eine reine Identifikationsfunktion. Semi-aktive und aktive Transponder spielen aufgrund ihrer hohen Kosten, aber auch wegen der umfangreicheren Funktionalität, in speziellen Anwendungen, wie etwa der Überwachung der Transportprozesse sensibler Güter mittels Sensoren, eine Rolle (vgl. Lange 2004, S. 22).

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von RFID-Transpondern bilden die eingesetzten **Frequenzbereiche**. Dabei nimmt die Wahl der Frequenz sowohl Einfluss auf die erzielbare Reichweite, die Durchdringungsrate wie auch die Übertragungsgeschwindigkeit (vgl. Lampe/Flörkemeier/Haller 2005, S. 73). So ermöglicht die weltweit am häufigsten genutzte 13,56 MHz-Frequenz (High Frequency) eine Pulker-

¹⁴ Bei passiven RFID-Systemen bildet das Senden von Energie an den Transponder den Flaschenhals für das Erreichen einer hohen Lesedistanz (vgl. Agarwal 2001, S. 10).

fassung¹⁵, zeichnet sich aber durch hohe Sensibilität gegenüber metallischen Objekten aus. Die UHF-Frequenz (Ultra High Frequency) ist dagegen weniger störanfällig gegenüber Metall und lässt zudem den Einsatz kleinerer Transponder zu (vgl. Meyer 2005, S. 23). Da es keine ideale Frequenz gibt, die alle Vorzüge in sich vereinigt, haben sich in der Praxis je nach Anwendungsgebiet bestimmte Frequenzen als besonders geeignet erwiesen (vgl. Kern 2006, S. 41 ff.). Bezüglich der Reichweite gilt dabei die Faustregel: „[...] the greater the interrogation signal power and the higher the interrogation signal frequency, the larger the interrogation zone“ (Agarwal 2001, S. 10). Die bevorzugte Frequenz kann jedoch nicht nur aufgrund der technologischen Präferenzen gewählt werden. Da bestimmte Frequenzbereiche bereits für Radiosender und Funkanlagen reserviert sind, kommen bei der Wahl nur die staatlich freigegebenen Frequenzbänder in Frage.

RFID-Transponder lassen sich hinsichtlich der **Speicherstruktur** grob in drei Kategorien einteilen (vgl. Lampe/Flörkemeier/Haller 2005, S. 81). So können sie nur eine Identifikationsnummer besitzen, über einen zusätzlichen Datenspeicher verfügen oder eine komplexe Speicherstruktur mit Sicherheitsmerkmalen aufweisen. Je nach Ausgestaltung kommen dabei unterschiedliche Speichertechnologien zum Einsatz (RAM, EEPROM oder FRAM) (vgl. Finkenzeller 2002, S. 307 ff.). Wird auf dem Transponder lediglich eine Identifikationsnummer gespeichert, werden die zum Objekt gehörenden Daten in zentralen Datenbanken gehalten und über internetbasierte Datenverteilungskonzepte bereit gestellt (Data-on-Network). Alternativ können im Sinne einer dezentralen Datenhaltung alle relevanten Daten auf dem Transponder gespeichert werden (Data-on-Tag) (vgl. Lange 2004, S. 24).

Bezüglich der **Schreib-/Lesefähigkeit** der RFID-Transponder gibt es drei unterschiedliche Ausprägungen (vgl. im Folgenden Meyer 2005, S. 23). Nicht beschreibbare Transponder (read only) werden bereits bei der Herstellung mit Daten ausgestattet, die nur noch ausgelesen, jedoch nicht mehr verändert bzw. überschrieben werden können. WORM-Transponder (write once/read many) lassen sich einmalig beschreiben und danach nur noch auslesen. Somit haben Produzenten die Möglichkeit, ihre eigene, spezifische Identifikationsnummer zu vergeben. Wiederbeschreibbare Transponder (read/write) können dem Namen nach mehrmals beschrieben werden und bieten des Weiteren die Möglichkeit, die gespeicherten Daten zu verschlüsseln (vgl. BITKOM 2005, S. 22).

Durch die Kombination der vorgestellten Gestaltungsmerkmale eines Transponders lassen sich seine Leistungsparameter wie Lesereichweite und –zuverlässigkeit, Übertragungsgeschwindigkeit oder Lebensdauer bestimmen. Dabei ist nicht jede Konfiguration technisch realisierbar, da beispielsweise die Wahl der Bauform eine bestimmte Energieversorgung impliziert und diese wiederum eine geeignete Frequenz erfordert. Die folgende Abbildung 2-8 verdeutlicht in diesem Zusammenhang die zwischen Gestaltungsmerkmalen und Leistungsparametern bestehenden Interdependenzen.

¹⁵ Unter Pulkerfassung wird die gleichzeitige Identifikation mehrerer Objekte im Lesefeld bezeichnet.

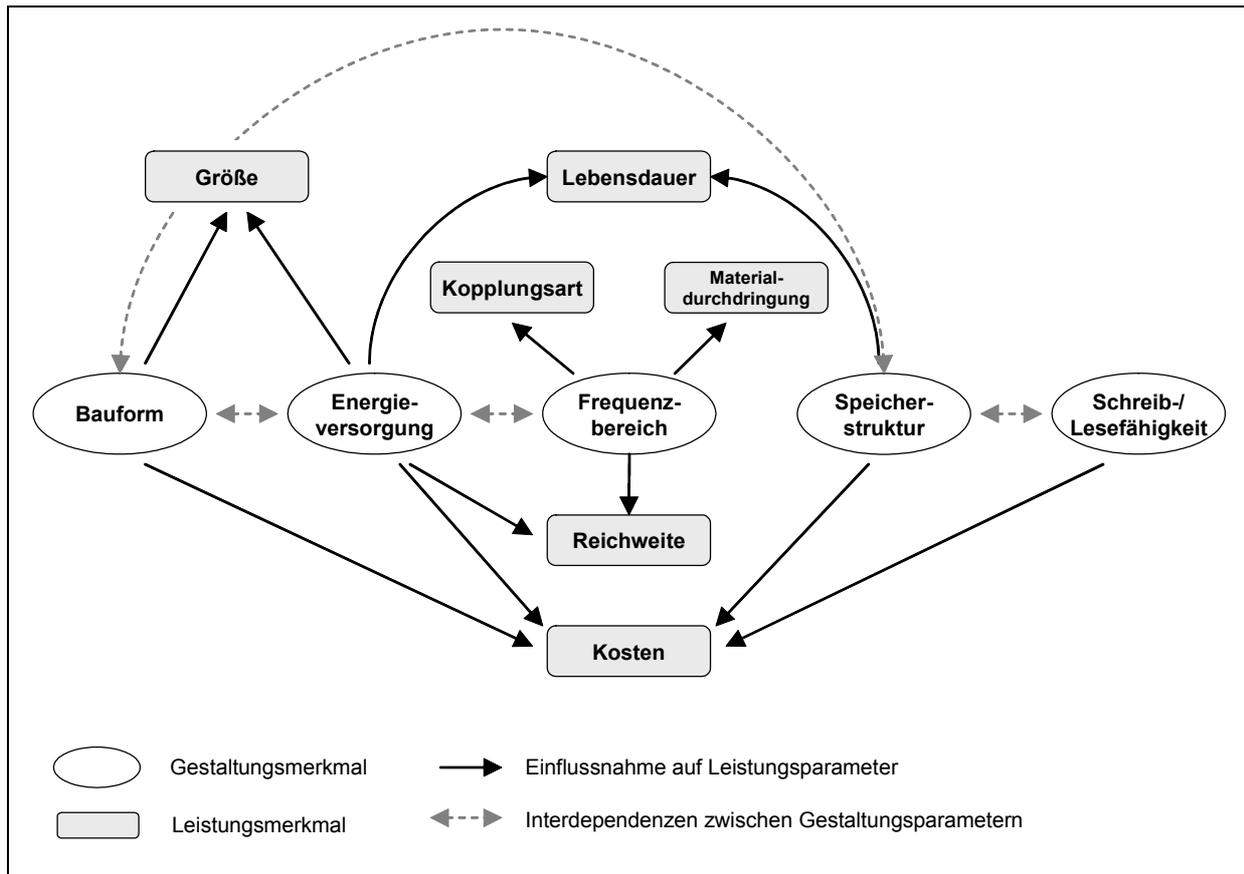


Abbildung 2-8: Gestaltungs- und Leistungsparameter eines Transponders

Basierend auf den technologischen Voraussetzungen und anwendungsspezifischen Erfordernissen haben sich in der jüngsten Vergangenheit hauptsächlich drei unterschiedliche Transpondertypen herauskristallisiert (vgl. im Folgenden Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 280):

- „Klassische“ passive Transponder: Sie nutzen den unteren Frequenzbereich (120 - 135 kHz), haben eine hohe Materialdurchdringungsfähigkeit, besitzen aber eine geringe Reichweite (40 - 100 cm). Sie werden hauptsächlich für die Steuerung von Produktionsanlagen und für die Kennzeichnung von Mehrwegbehältern in logistischen Systemen verwendet. Diese Transponder sind relativ preiswert (zwischen 1 und 5 Euro).
- Hochfrequenztransponder: Diese aktiven Transponder arbeiten in dem Hochfrequenz-Bereich um 2,4 GHz. Sie erreichen aufgrund der eigenen Energiequelle eine Reichweite von bis zu 10 Metern, allerdings sind sie auch um einiges teurer als die passiven Modelle (ab 10 Euro aufwärts). Sie werden überall dort eingesetzt, wo die Leistungsfähigkeit klassischer Transponder nicht ausreicht.
- Smartlabel: Bei dieser neuesten Generation der RFID-Transponder wird der integrierte Schaltkreis mit der Antenne auf einem dünnen polymeren Substrat angebracht. Dadurch können diese passiven Transponder sehr kostengünstig hergestellt werden. Sie besitzen eine ähnliche Reichweite wie die „klassischen“ Transponder, haben jedoch einen geringeren Speicher. Der Einsatz soll hauptsächlich in logistischen Massenmärkten (vornehmlich zur Konsumgüterdistribution) erfolgen.

Lesegerät

In einem RFID-System hat das Lesegerät zwei Aufgaben. Erstens aktiviert es den Transponder in seiner Reichweite, der wiederum Daten an den Reader zurück sendet. Zweitens dient es als „interface between the theater of operations (where the tags live) and the system that collects, analyzes, and distributes the massive volumes of data generated by energized tags in a typical supply chain environment“ (Shepard 2005, S. 113 f.).

RFID-Lesegeräte bestehen aus einer oder mehreren Antennen und dem eigentlichen Schreib-Lesemodul. Auch sie kommen in unterschiedlichen Bauformen vor (vgl. im Folgenden Finkenzeller 2002, S. 14 ff.; Kern 2006, S. 68 ff.; Meyer 2005, S. 23). Es wird grundsätzlich zwischen zwei Arten von Lesegeräten unterschieden. Mobile Lesegeräte für den flexiblen Vor-Ort-Einsatz kommen ohne Verkabelung aus. Dagegen sind stationäre Reader fest installiert. Sie werden vor allem zur „Ausleuchtung“ eines Bereichs verwendet, in welchem jeder Transponder erkannt werden soll. Sie untergliedern sich unter anderem in große Gate-Reader, die eine Kombination von Einzelantennen zur Erfassung einer großen Menge an RFID-Transponder darstellen, und Regalleser, die ständig oder in Zeitabständen überprüfen, ob sich ein bestimmtes Objekt in ihrem Empfangsbereich befindet. Die Lesegeräte müssen dabei bezüglich der genutzten Frequenz mit den Transpondern kompatibel sein. Aus diesem Grunde werden sog. „Multi-mode Reader“, die unterschiedliche Frequenzbänder bedienen können, immer populärer (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 20).

Ein entscheidender Vorteil von RFID-Systemen gegenüber anderen Auto-ID-Techniken besteht in der Pulkerfassung, also der Möglichkeit mehrere Objekte gleichzeitig zu identifizieren. Damit das Lesegerät mit einer Vielzahl von Transpondern gleichzeitig kommunizieren kann, müssen geeignete Antikollisionsverfahren implementiert werden. Eine Kollision entsteht, wenn sich Signale mehrerer Transponder überlagern. Antikollision bedeutet dabei, dass die Signale der im Lesefeld befindlichen Transponder auseinander gehalten werden, um von diesen einzeln Daten zu empfangen (vgl. Kern 2006, S. 63). Grundsätzlich werden transpondergesteuerte (FDMA, TDMA und SDMA) und leserätgesteuerte (CDMA) Verfahren unterschieden (vgl. BSI 2004, S. 35). Bei den ersteren wiederholt das Lesegerät seine Anfrage an alle Transponder, bis sie mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erkannt worden sind, während bei den letzteren das Lesegerät einzelne Transponder gezielt nacheinander anspricht (siehe folgende Abbildung 2-9, in Anlehnung an Kern 2006, S. 64).

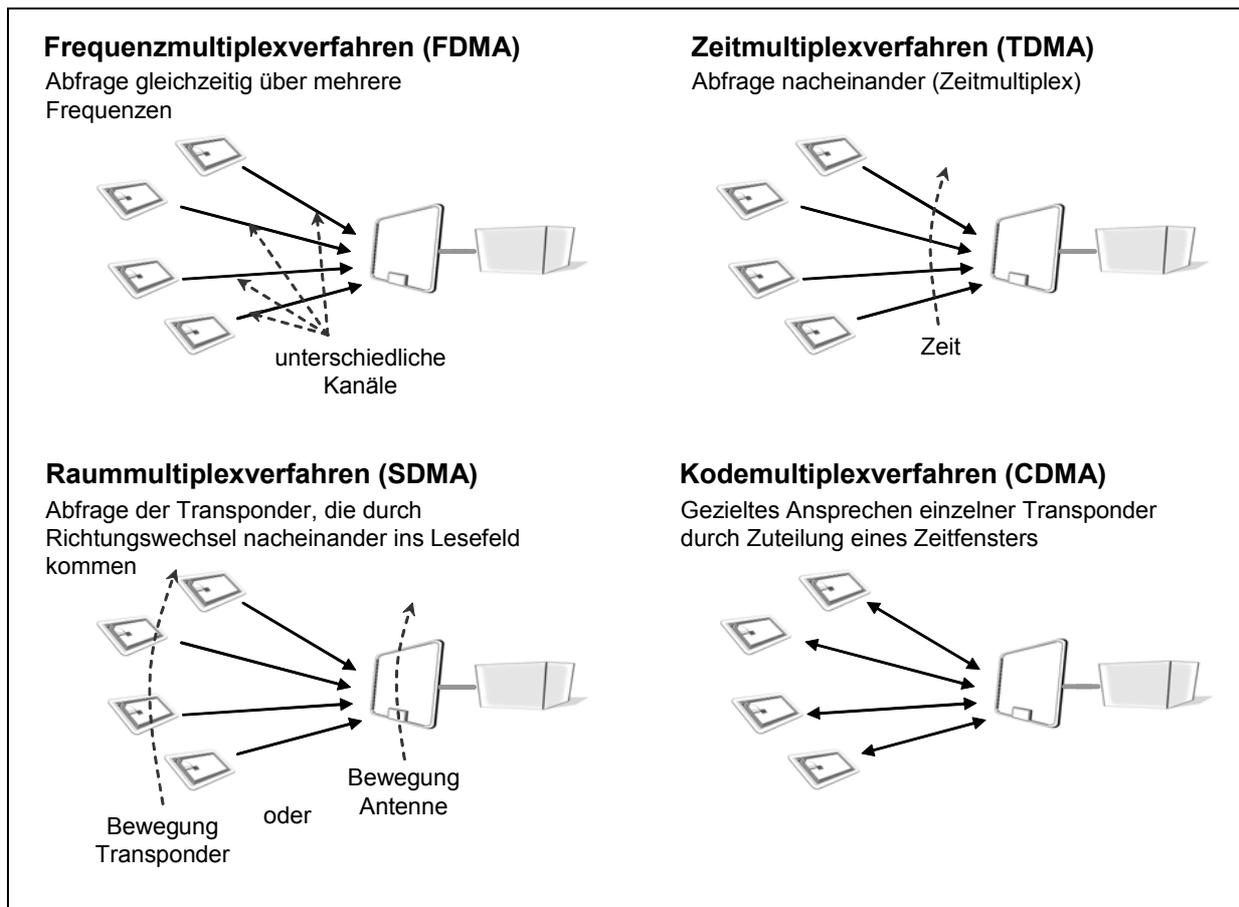


Abbildung 2-9: Antikollisionsverfahren

Middleware¹⁶

Die Daten eines RFID-Systems fallen ereignisorientiert an. Sobald ein Transponder sich in der Reichweite eines Lesegerätes befindet, sendet er seine Daten an diesen. Eine Weiterleitung der Daten an die angeschlossenen Anwendungssysteme ist in den meisten Fällen aufgrund des rohen Charakters und der hohen Menge dieser Daten nicht sinnvoll. Zur Filterung und Aufbereitung ist somit die Middleware als eine weitere Funktionsschicht zwischen dem Lesegerät und den nachgelagerten Geschäftsanwendungen im Backend notwendig (vgl. BITKOM 2005, S. 14). Zudem übernimmt die Middleware die Aufgabe, alle angeschlossenen Lesegeräte zu steuern sowie die heterogene Systemlandschaft zu koordinieren (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 8).¹⁷ Abbildung 2-10 verdeutlicht die Rolle der Middleware in einem RFID-System (in Anlehnung an Strassner/Fleisch 2005, S. 47 und Kern 2006, S. 184).

¹⁶ Allgemein bezeichnet der Begriff Middleware eine zwischen der Betriebssystem- und Anwendungsebene angesiedelte Funktionsschicht.

¹⁷ „This infrastructure is possibly the most important, but least understood, components of a successful RFID system, and understanding its role in the transformation of the enterprise technology architecture is critical to the success of any scaled RFID deployment“ (METRO Group 2004, S. 31).

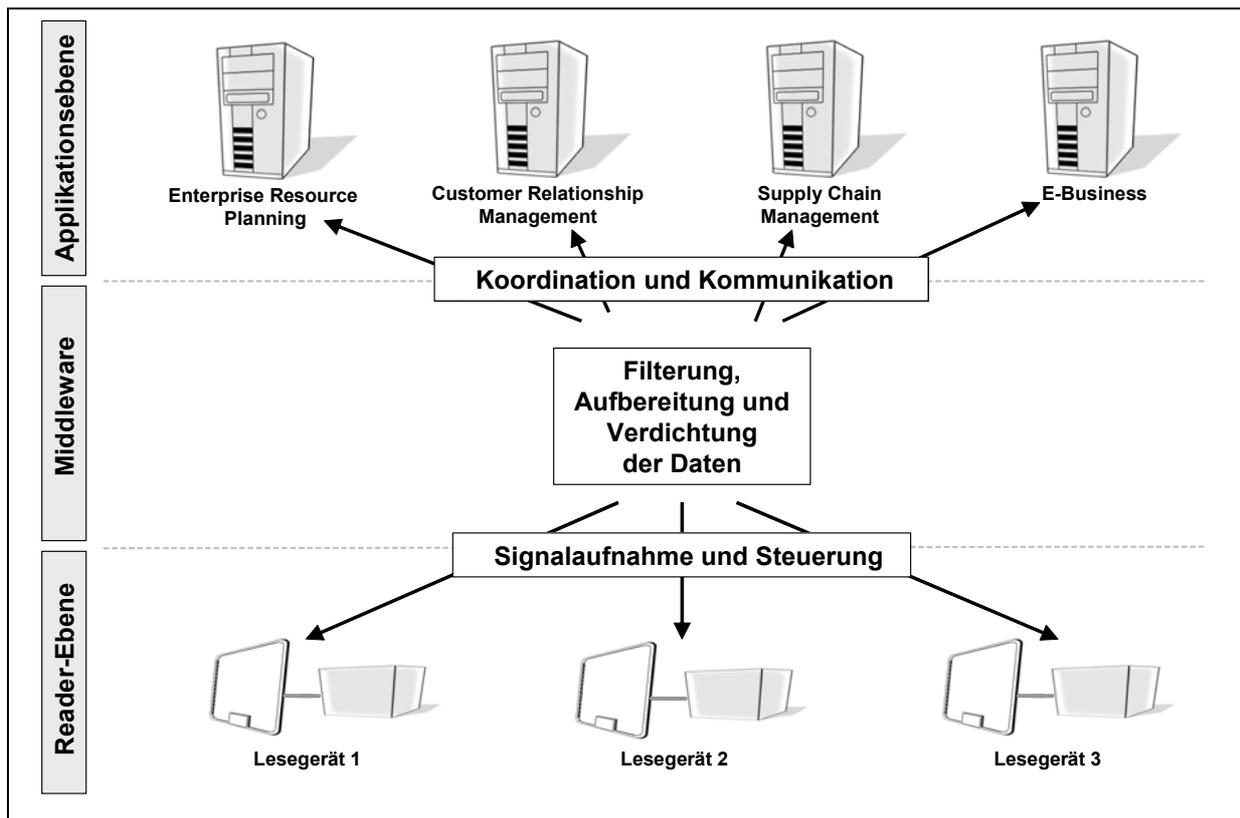


Abbildung 2-10: Aufgaben der RFID-Middleware

Air Interface

Das Air Interface (deutsch: Luftschnittstelle) stellt die Verbindung zwischen einem Lesegerät und einem Transponder dar. Physikalisch betrachtet handelt es sich um eine Kommunikation über elektromagnetische Radiowellen (vgl. BITKOM 2005, S. 24). Die von den Radiowellen erzeugte Energie wird dabei durch die Frequenzen, an denen sie oszilliert, wie auch durch die Stärke dieser Oszillationen bestimmt (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 20).

2.4 Standardisierung

Standards spielen eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz neuer Technologien. Beispielsweise hat die Standardisierung des EAN-Codes (European Article Number) den Siegeszug der Barcode-Technologie eingeleitet. HEINRICH konstatiert folgerichtig: „If anything has been learned in the past several decades of using computers to solve business problems, it's the vital importance of standards“ (Heinrich 2005a, S. 103). Im RFID-Bereich kommt den Unternehmen eine besondere Rolle bei der Entwicklung dieser Standards zu, da sie diese durch positive Anwendungsbeispiele in Pilotprojekten entscheidend mitgestalten können (vgl. Strassner/Fleisch 2005, S. 53). Die Standardisierungsbemühungen wirken sich dabei wie folgt aus (vgl. Kern 2006, S. 169):

- Durch die Gewährleistung der Kompatibilität wird die Anwendung von RFID langfristig abgesichert.

- Aufgrund von Wahlmöglichkeiten zwischen kompatiblen Systemen entsteht ein Wettbewerb, welcher positive Auswirkungen auf die Preise hat.
- Die technische Weiterentwicklung wird durch diesen Wettbewerb vorangetrieben. Durch Standards wird hierbei ein Vergleich unterschiedlicher RFID-Systeme möglich.
- Standards ermöglichen einen überbetrieblichen Einsatz der RFID-Technologie.
- Nebenbei werden durch die Standardisierung bestimmter Frequenzbereiche, Sendeleistungen und Kommunikationsweisen anderer Anwendungen, wie z.B. Mobilfunknetze, vor Störungen geschützt.

Im Folgenden wird das EPCglobal-Netzwerk als eine mögliche Standardarchitektur für RFID-Anwendungen vorgestellt.

EPCglobal-Netzwerk

Orientiert man sich an den im vorigen Kapitel definierten Komponenten eines RFID-Systems, können Ansatzpunkte für Standards in den Bereichen Transponder, Lesegerät, Middleware und Air Interface identifiziert werden. Um die Kommunikation zwischen Lesegerät und Transponder zu ermöglichen, sind zunächst geeignete Datenstandards notwendig (im Sinne einer gemeinsamen Sprache). Um miteinander zu kommunizieren, muss eine einheitliche Kommunikationsplattform existieren. Sowohl die International Standards Organisation (ISO) wie auch EPCglobal arbeiten dabei an weltweit anerkannten Standards.¹⁸ Die folgende Abbildung 2-11 stellt die von EPCglobal definierten Standards vor (in Anlehnung an BITKOM 2005, S. 18 f.).¹⁹

Standard	Zweck
Tag Data Standard	Kodierung der Daten auf dem Transponder und der Ebene der Informationssysteme in einem EPCglobal-Netzwerk
Air Interface (AI) Protokoll	Regelung der Kommunikation zwischen Lesegerät und Transponder
Reader Protokoll	Beschreibung des Datenaustausches und der Befehlsstruktur zwischen der Middleware und dem Lesegerät
Reader Management Spezifikation	Beschreibung von Standardfunktionen zur individuellen Konfiguration von Lesegeräten
Tag Data Translation	Konvertierung der EPC-Informationen des Transponders in ein Internet-kompatibles Format
Application Level Event (ALE) Spezifikation	Beschreibung, wie EPC-Daten ausgelesen und gefiltert werden können
Object Naming Service (ONS) Spezifikation	Auskunft darüber, wo in dem EPCglobal-Netzwerk Informationen über eine bestimmte EPC-Nummer zu finden sind
EPCIS Protokolle	Art der Speicherung von EPC-Informationen und des Aufrufs über das EPCglobal-Netzwerk
Security Spezifikation	Anforderungen an einen sicheren Informationsaustausch zwischen den Teilnehmern des EPCglobal-Netzwerkes

Abbildung 2-11: EPCglobal Standards

¹⁸ Eine umfangreiche Auflistung der existierenden ISO-Standards findet sich bei Kern (Kern 2006, S. 173).

¹⁹ Eine detaillierte Spezifikation der Standards findet sich auf den Internetseiten von EPCglobal unter http://www.epcglobalinc.org/standards_technology/specifications.html.

EPCglobal entwickelt in diesem Zusammenhang seit einigen Jahren eine standardisierte Infrastruktur, die den Einsatz von RFID über Unternehmensgrenzen hinweg ermöglichen soll (siehe Abbildung 2-12, BITKOM 2005, S. 19). Da die meisten Unternehmen dabei über keine „grüne Wiese“ für eine vollkommen neue Architektur verfügen, orientiert sich EPCglobal weitestgehend an der bereits vorhandenen Infrastruktur.

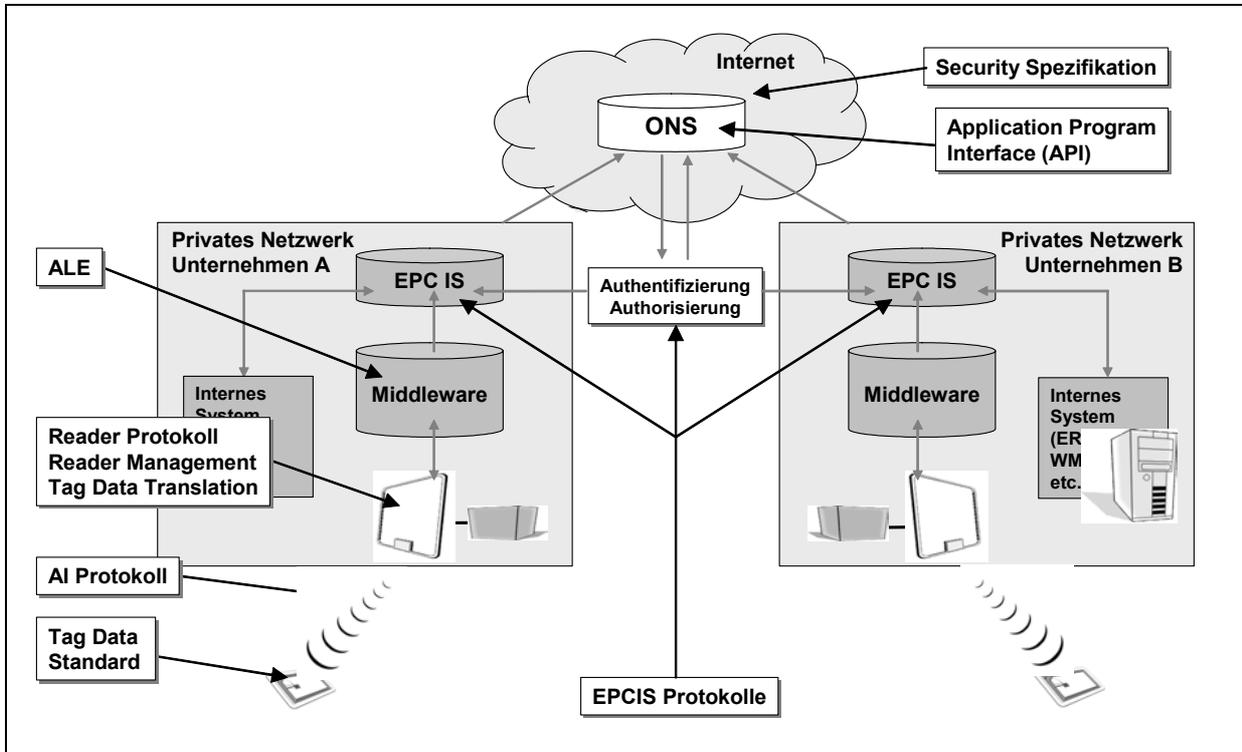


Abbildung 2-12: Infrastruktur des EPCglobal-Netzwerkes

Im Mittelpunkt des EPCglobal-Konzeptes steht die EPC-Nummer (Electronic Product Code), mit Hilfe derer jedem Objekt eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen wird (siehe Abbildung 2-13, in Anlehnung an Kern 2006, S. 178 und Machemer 2004, S. 29). Der *Header* gibt an, dass es sich um einen EPC-Transponder handelt. Der *EPC-Manager* wird von EPCglobal an Unternehmen vergeben. Die *Objektklasse* beschreibt eine bestimmte Objektart, die *Seriennummer* spezifiziert eine individuelle Instanz der Objektklasse. *Item Information* beinhaltet schließlich Informationen zum Objekt (z.B. Beschreibung, Zustellungsort, Behandlungshinweise). Bei der Konzeption des EPC wurde die Kompatibilität zum Barcode-System gewahrt, um den parallelen Einsatz beider Technologien zu ermöglichen.²⁰

Der EPC bildet die einzige auf dem Transponder gespeicherte Information. Weitere Daten zum Objekt sind in externen Datenbanken abgelegt und werden über die eindeutige Identifikationsnummer referenziert. Die Weiterleitung an die entsprechende Datenquelle erfolgt über den *Object Naming Service* (ONS). Die Datenquellen werden dabei vom *EPC Information System* (EPC IS) angeboten. Um die Daten zwischen den Komponenten des EPCglobal-Netzwerkes und externen Anwendungen austauschen zu können, wurde die XML-basierte Auszeichnungssprache *Physical Markup Language* (PML)²¹

²⁰ Weitere Informationen zum EPC finden sich bei BROCK (Brock 2001a).

²¹ Eine ausführliche Dokumentation der PML ist nachzulesen bei BROCK (Brock 2001b).

ins Leben gerufen (vgl. Flörkemeier 2005, S. 88 f.). Als Middleware fungiert eine Software namens Savant, welche die von den Lesegeräten empfangenen Daten filtert und aufbereitet (vgl. dazu Auto-ID Center 2003, S. 12 ff.).

Neuer Standard	EPC Code Typ 1 - Klasse 1 (128 bit)				
Erster Standard	EPC Code Typ 1 (96 bit)				
Vergleich zu EAN	Entspricht der EAN				
Bezeichnung	Header	EPC-Manager	Object Class	Serial Number	Item Information
Speicher	fest	fest	fest	fest	variabel
Anzahl der Bits	8 bit	28 bit	24 bit	36 bit	32 bit
Verwendung	Versionsnummer	Firma, Organisation	Objektart	Einzelobjekt	Informationen zum Einzelobjekt
Beispiel Menge		268 Mio	16 Mio	68 Mrd	

Abbildung 2-13: Struktur des EPC

Transponderklassen

EPCglobal definiert fünf verschiedene Transponderklassen (siehe Abbildung 2-14, Lange 2006, S. 90). Ende 2004 wurde für Transponder der Klasse 1 bis 5 der zurzeit gültige Standard „EPC Generation 2“ (kurz Gen 2) verabschiedet. Die Transponder dieser Generation zeichnen sich durch eine verbesserte Lesbarkeit sowie eine höhere Lesegeschwindigkeit aus. Sie bieten zudem die Möglichkeit zur Deaktivierung mittels eines „Kill“-Befehls (vgl. Kilb 2005, S. 26; Füßler/Springob 2006, S. 34 f.).

Klasse	Lese-/Schreibfähigkeit	Energieversorgung
Klasse 1	Nicht beschreibbar (Read Only)	Passiv
Klasse 2	Einmal beschreibbar (WORM)	Passiv
Klasse 3	wiederbeschreibbar	Passiv
Klasse 4	wiederbeschreibbar	Semi-aktiv
Klasse 5	wiederbeschreibbar	Aktiv

Abbildung 2-14: Transponderklassen

Frequenzen

Bezüglich der Frequenzen existiert weltweit kein einheitlicher Standard. Dieser Umstand ist auf regionale Unterschiede in der maximal zulässigen Sendeleistung zurückzuführen. Während diesbezüglich in

Europa die 13,56 MHz-Frequenz (HF) günstigere Bedingungen bietet, hat sich in den USA die 915 MHz-Frequenz (UHF) etabliert (vgl. Kern 2006, S. 171). Die folgende Abbildung 2-15 stellt die wichtigsten RFID-Frequenzbereiche mit den dazugehörigen Standards dar (in Anlehnung an Kern 2006, S. 41 ff. und BITKOM 2005, S. 13).

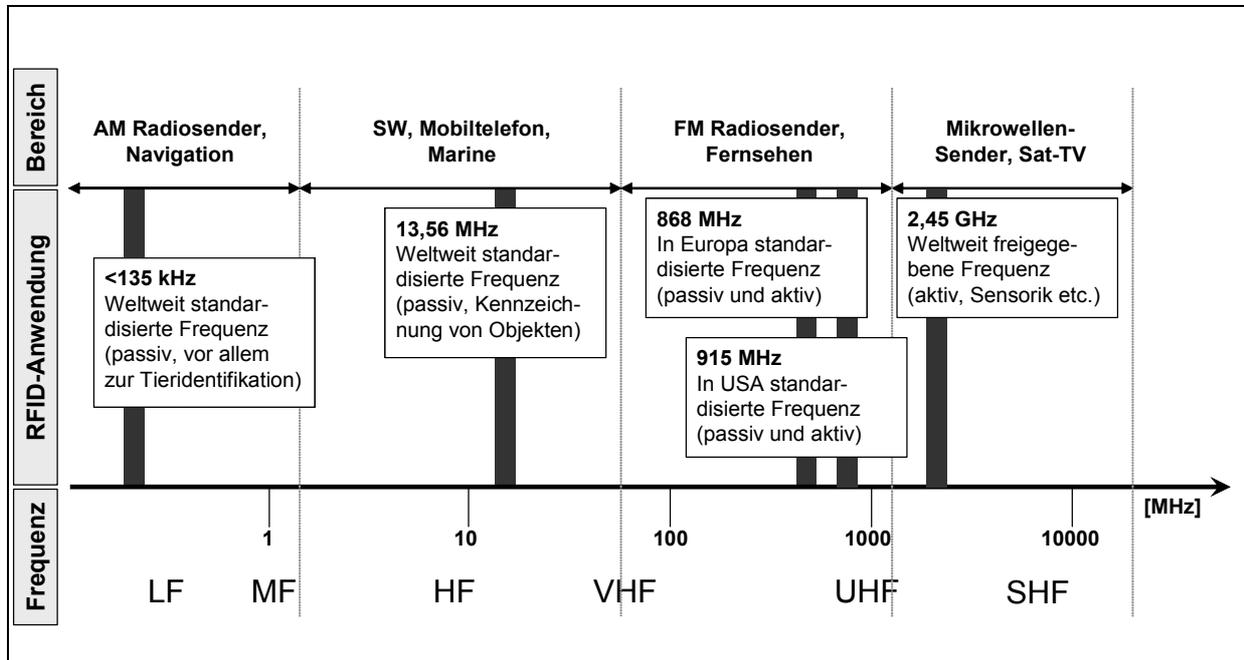


Abbildung 2-15: RFID-Frequenzbereiche und Standards

2.5 Vergleich mit anderen Auto-ID Systemen

RFID ist eine von vielen Möglichkeiten der automatischen Identifikation. Daneben existieren noch folgende Auto-ID-Systeme (vgl. Finkenzeller 2002, S. 2 ff.):

- **Barcode-Systeme**

Der Barcode ist ein Binärcode aus parallel angeordneten Strichen und Trennlücken, dessen Ableseung über die optische Leserabtastung erfolgt. Barcode-Systeme haben sich in den vergangenen 30 Jahren als Standard in Industrie und Handel etabliert. Am meisten verbreitet ist dabei der EAN-Code. Daneben gibt es noch Weiterentwicklungen dieses Strichcodes, wie bspw. der 2D- bzw. Matrix-Code.²²

- **Optical Character Recognition (OCR)**

Bei OCR (zu Deutsch Klarschriftleser) handelt es sich um die Entwicklung spezieller Schrifttypen, die automatisch von Maschinen gelesen werden können. Obwohl OCR-Systeme eine hohe Informationsdichte besitzen und die Möglichkeit bieten, die Daten auch visuell erfassen zu können, fin-

²² 2D-Codes bestehen nicht mehr nur aus einer Zeile, sondern aus polygonisch angeordneten Gruppen von Datenzellen. Ein umfangreicher Überblick zu den unterschiedlichen 2D-Codes findet sich bei Barcodat 2004.

den sie aufgrund der relativ hohen Kosten und komplizierten Lesegeräte nur in speziellen Bereichen Anwendung (bspw. Erfassung von Überweisungsaufträgen in Banken).

- **Chipkarte**

Bei der Chipkarte handelt es sich um einen elektronischen Datenspeicher, bei dem der Datenaustausch durch galvanisches Kontaktieren erzeugt wird. Die kontaktbehaftete Identifikation stellt zugleich den größten Nachteil dieser Technologie dar. Anwendung finden Chipkarten vor allem als Handy- und EC-Karten.

- **Biometrische Verfahren**

Unter diesem Begriff werden „alle Verfahren, die Personen durch den Vergleich von unverwechselbaren und individuellen Körpermerkmalen identifizieren“ subsumiert (Finkenzeller 2002, S. 4). Dazu gehören bspw. die Fingerabdruck-, Sprach- oder Iriserkennung. Während der Schwerpunkt bei allen anderen Auto-ID-Systemen auf der schnellen und sicheren Lesbarkeit liegt, zielen biometrische Verfahren auf die Fälschungssicherheit ab (Kern 2006, S. 20). Sie werden daher vorwiegend bei Zutrittskontrollen verwendet.

Die Beschreibung der vorgestellten gängigen Auto-ID-Systeme macht deutlich, dass vor allem die Barcode-Technologie mit ihren unterschiedlichen Ausprägungen der RFID-Technologie am meisten ähnelt. Aufgrund dieser Tatsache und der weiten Verbreitung der Barcode-Technologie, muss sich die Leistungsfähigkeit von RFID daher in erster Linie an dem Potenzial des Barcodes messen lassen (vgl. Pflaum 2001, S. 94).²³ Da die Barcode-Technologie in der Einführungszeit gegen kein alternatives Identifikationssystem ankämpfen musste, konstatieren MCFARLANE/SHEFFI, dass „the hurdle now is much higher – the new system must be demonstratively better than the bar code“ (McFarlane/Sheffi 2003, S. 15). Abbildung 2-16 vergleicht beide Systeme miteinander (Darstellung in Anlehnung an Strassner 2005; Witzki 2002; Penttilä/Engels/Kivikoski 2004; Lange 2006, S. 92).

Wie aus dem Vergleich ersichtlich, besteht der primäre Vorteil der RFID-Technologie darin, dass mehrere Objekte ohne Sichtkontakt simultan und vollautomatisch erfasst werden können. Während Barcodes nur Objektklassen identifizieren, können mittels Funktranspondern aufgrund der höheren Speicherkapazität individuelle Instanzen einer solchen Objektklasse unterschieden werden. Die Widerstandsfähigkeit gegen widrige Bedingungen (Schmutz, Feuchtigkeit, Hitze etc.) ist besonders bei der Anwendung in rauer Umgebung von Vorteil. Bei wiederbeschreibbaren Transpondern können zudem Daten geändert werden. Dadurch kann ein weiterer Vorteil realisiert werden: „[...] RFID tags not only deliver information on demand, as do barcodes; they also have the ability to collect information and store it for later review“ (Shepard 2005, S. 131).

²³ Aufgrund des innovativen Charakters von RFID herrscht in der Literatur kein Konsens darüber, ob RFID mit anderen automatischen Identifikationssystemen im direkten Wettbewerb steht: „The race between smart labels and bar code labels, at the moment, is a little like a contest between a submarine and a bicycle. The submarine is not much of a threat on dry land, and the bike is not going to be very useful in the ocean. In other words, it is less a contest between technologies than it is a difference between visions of the total logistics and distribution process“ (Agarwal 2001, S. 11).

Merkmale/System	Barcode		RFID	
	1D-Codes	2D-Codes	Passiv	Aktiv
Übertragung	<i>optisch</i>		<i>elektromagnetisch</i>	
Lesedistanz	<i>wenige cm</i>		<i>0,4 – 1 Meter</i>	<i>bis 10 Meter</i>
Leserate	<i>langsam (manuelles Scannen)</i>		<i>schnell</i>	
Pulkerfassung	<i>nein</i>		<i>ja</i>	
Sichtverbindung	<i>erforderlich</i>		<i>nicht erforderlich</i>	
Empfindlichkeit ggü. Umwelteinflüssen	<i>Schmutz, Feuchtigkeit, Hitze</i>		<i>Metall, Flüssigkeiten</i>	
Form und Größe	<i>festgelegt</i>		<i>beliebig anpassbar</i>	
Lesbarkeit durch Personen	<i>möglich (zusätzlich Klarschrift)</i>	<i>nicht möglich</i>	<i>nicht möglich</i>	
Mehrfachverwendung	<i>nicht möglich</i>		<i>möglich</i>	
Datenkapazität	<i>bis zu 252 alpha-numerische Zeichen</i>	<i>bis zu 2.335 alpha-numerische Zeichen</i>	<i>bis zu 32 kByte (ca. 33.000 alphanumerische Zeichen)</i>	
Datensicherheit	<i>niedrig</i>		<i>hoch</i>	
Fälschbarkeit	<i>leicht</i>		<i>schwierig</i>	
Information	<i>statisch</i>		<i>dynamisch</i>	
Kosten des Datenträgers	<i>ca. 0,01 €</i>		<i>ab ca. 0,20 €</i>	<i>ab ca. 10 €</i>
Kosten für Lesegeräte	<i>hoch (100 – 8000 €)</i>		<i>niedrig</i>	
Globaler Standard	<i>z.B. EAN</i>	<i>z.B. Data Matrix</i>	<i>EPC</i>	

Abbildung 2-16: Barcode- und RFID-Systeme im Vergleich

Derzeit ist die Barcode-Technologie mit einem Anteil von etwa 87 Prozent in der Konsumgüter- und 50 Prozent in der Investitionsgüterindustrie noch führend (vgl. Lange 2005). Dies ist insbesondere auf die hohen Kosten, die mit einem Wechsel zur RFID-Technologie verbunden sind, zurückzuführen.²⁴ Bei einem Produkthersteller entstehen dabei Kosten für die Produktion von Transpondern, deren Anbringung an das Objekt, Erwerb und Installation von Lesegeräten, Systemintegration, Schulung und Implementierung von Anwendungslösungen (vgl. Agarwal 2001, S. 12). Allerdings wird für die Zukunft auf-

²⁴ An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Kosten der Identifikation in den meisten Fällen nicht in die Kalkulation einfließen. Denn durch die Notwendigkeit der teuren manuellen Tätigkeit beim Identifizieren werden Barcodes in der Regel nur einmal eingescannt – nämlich an der Kasse (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 41). Der Autor spricht in diesem Zusammenhang von versteckten Kosten, die bei Barcodes anfallen.

grund der Vorteile, die sich aus dem Vergleich der beiden Technologien ergeben, und dem Preisverfall auf dem Gebiet der Transponder eine Ablösung des Barcodes durch RFID erwartet.²⁵

²⁵ Analysten von Forrester Research gehen davon aus, dass 2009 bei einer Kostenentwicklung von derzeit ca. 50 auf 1 Cent bereits 45 Milliarden RFID-Chips produziert werden sollen (vgl. Kehrwald 2004, S. 18).

3 Betriebswirtschaftliche Auswirkungen des RFID-Einsatzes

Bei der RFID-Technologie handelt es sich einstimmig um eine radikal-revolutionäre²⁶ Innovation (vgl. bspw. Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 272 f.).²⁷ Als solche besitzt sie den Anspruch, betriebswirtschaftliche Prozesse nicht nur effizienter zu gestalten (Abschnitt 3.1), sondern diese grundlegend zu verändern (3.2). Neben diesem originären Nutzen für den Implementierer, stiftet die RFID-Technologie einen derivativen Nutzen bei einer durchgängigen Anwendung in Wertschöpfungsnetzwerken (3.3). Nicht wenige Autoren (bspw. Heinrich 2005a) gehen davon aus, dass RFID einen Paradigmenwechsel im Management herbeiführen wird (3.4).

3.1 Prozessautomatisierung

Die Mehrzahl der Nutzenpotenziale des RFID-Einsatzes ist auf die Automatisierung von bisher manuell durchgeführten Prozessschritten zurückzuführen. Die manuelle Datenerfassung und -eingabe ist fehleranfällig, zeitaufwendig und bindet Personalkapazitäten. Zudem werden die Daten nicht zeitnah an die Anwendungssysteme (z.B. Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme) übermittelt (siehe Abbildung 3-1).

Die Substitution der teuren menschlichen Arbeit durch vollautomatische Identifikationssysteme führt zu einer deutlich höheren Datenverfügbarkeit und Informationsqualität, wodurch Potenziale moderner Planungs- und Steuerungssysteme erschlossen werden können (vgl. Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 286). Bezogen auf die Automobilindustrie konstatiert STRASSNER, dass die heutigen SCM-Systeme bereits leistungsfähige Planungs- und Steuerungsfunktionen enthalten, deren Anwendung jedoch wegen unzureichender Informationsversorgung eingeschränkt ist (Strassner 2005, S. 112).

Die höhere Datenverfügbarkeit ist zum einen auf den schnelleren Identifikationsvorgang zurückzuführen. Zum anderen werden die Daten sofort ins Informationssystem übertragen und stehen somit relevanten Anwendungssystemen zeitnah zur Verfügung. Die automatische Abbildung realer Vorgänge (wie z.B. Wareneingang, Einlagerung, Versand etc.) im Informationssystem führt zur vollständigen Transparenz der Prozesse.

²⁶ In der Literatur wird oftmals eine Einteilung des Innovationsbegriffs nach dem Neuheitsgrad in radikal-revolutionäre („große Sprünge“) und inkremental-evolutionäre („kleine Schritte“) Innovationen vorgenommen (vgl. Vahs/Burmester 2002, S. 45 f.). Unter die erste Kategorie fallen alle Neuerungen, die eine völlige Neugestaltung eines Produkts oder Prozesses darstellen (auch Basisinnovationen genannt). Inkrementelle Innovationen sind dagegen durch eine kontinuierliche Verbesserung einzelner Produkt- oder Prozessparameter unter Beibehaltung der gleichen Prinzipienlösung gekennzeichnet.

²⁷ Tatsächlich tauchen die Begriffe „RFID“ und „Revolution“ immer öfter als Kombination in der Literatur und auf Konferenzen auf. Bezeichnenderweise hat die Europäische Kommission jüngst ein Forum auf der CeBIT 2006 mit „The Revolution of RFID“ betitelt.

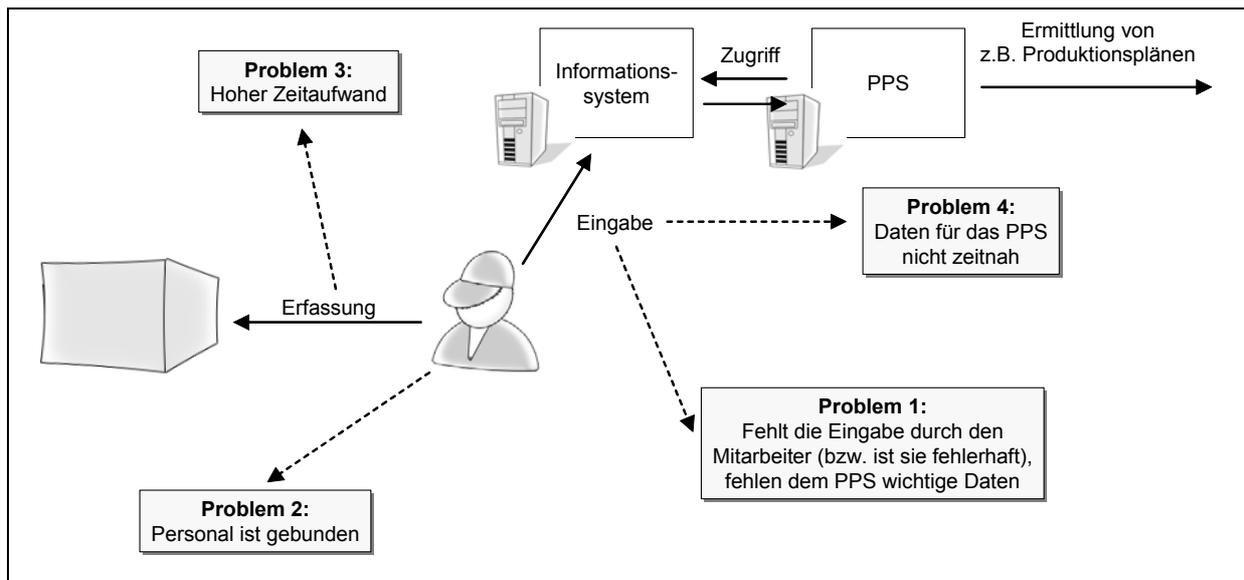


Abbildung 3-1: Problemfelder bei der manuellen Identifikation in der Logistik

Die höhere Informationsqualität resultiert aus der Reduzierung von fehlerhaften Dateneingaben, wodurch Fehlerfolgekosten vermieden werden können. Um die Fehlerfolgekosten zu vermeiden, werden häufig manuelle Kontrollen an vielen Punkten der Wertschöpfungskette durchgeführt. Mittels RFID können diese durch einen automatisierten Regelkreis, bei dem ein permanenter Abgleich realer mit geplanten Abläufen stattfindet, ersetzt werden (vgl. Strassner/Fleisch 2005, S. 48). Durch die erhöhte Informationsqualität wird auch die Qualität der Prozesse erhöht, da bspw. in der Lagerhaltung die Fehl- und Falschkommissionierung verringert werden kann (vgl. Kehrwald 2004, S. 17).

Allerdings sinkt die Einsparung des manuellen Arbeitsaufwandes mit zunehmendem Automatisierungsgrad (vgl. Strassner 2005, S. 112). Werden beispielsweise bereits Barcode-Systeme oder automatische Lagersysteme in der Logistik eingesetzt, kann durch den Einsatz von RFID daher nur eine geringe Verbesserung der Prozessautomatisierung erzielt werden – es findet lediglich ein Tausch der Laser- durch die Funktechnologie statt. Da bereits die meisten großen Industrie- und Handelsunternehmen diese Systeme nutzen, greift eine ausschließliche Fokussierung auf die Prozessautomatisierung in vielen Fällen zu kurz.²⁸ Automatisierungspotenziale sind allenfalls noch bei ungeführten Prozessen, wie bspw. dem Behältermanagement, zu realisieren. RFID sollte demzufolge nicht nur als Ersatz für Barcode-Systeme, sondern vielmehr als eine weitere Möglichkeiten bietende Technologie verstanden werden (vgl. Beckenbauer/Fleisch/Strassner 2004, S. 49).

²⁸ „Vor dem Hintergrund des bereits hohen Automatisierungsgrades in der Logistik stellt sich die Frage, ob sich die Investition in ein RFID-System rentiert, wenn das einzige Ziel die Verbesserung der Prozesseffizienz ist“ (Strassner/Fleisch 2005, S. 53).

3.2 Prozessinnovation

„In many cases, the new technology inspires new applications which were impossible with the old technology.“ (Sheffi 2004, S. 5)

Wie bereits im vorigen Kapitel erläutert, wurden Identifikationstechniken in der Vergangenheit vorwiegend für die Automatisierung bisher manuell durchgeführter Prozesse in funktionalen Abteilungen eines Unternehmens eingesetzt. Unternehmensübergreifende Nutzenpotenziale wurden dabei kaum in Betracht gezogen. Erst eine stärkere Fokussierung auf die Prozessorganisation und die Durchführung von Business Process Reengineering (BPR) Projekten führten zu der Erkenntnis, dass Informations- und Kommunikationstechnologien ihr vollständiges Nutzenpotenzial dann entfalten, wenn Prozesse nicht nur automatisiert, sondern unternehmensübergreifend neu gestaltet werden (vgl. Pflaum 2001, S. 20; Picot/Hess 2005, S. 32). RFID bietet diesbezüglich vielfältige Potenziale zur Prozessreorganisation.

Als ein Beispiel können neue Lagerhaltungsmodelle auf Basis der automatischen Identifikation und echtzeitnaher Informationen dienen. Einerseits ist eine automatisierte Lagerverwaltung nicht mehr auf große zentrale Lager beschränkt, sondern kann auch in kleinen dezentralen Lagern effizient verwirklicht werden (vgl. Sheffi 2004, S. 8). Dies kann zu einer Substitution großer Zentrallager durch kleine Lager am Bedarfsort führen. Andererseits können in diesen Lagern Objekte nach Effizienzgesichtspunkten und nicht wie bisher nach Übersichtlichkeitskriterien gelagert werden (vgl. McFarlane/Sheffi 2003, S. 13). Denn bislang wurde jedes Gut in direkter Nachbarschaft zu Gütern gleicher Art eingelagert, damit den Lagermitarbeitern die Suche vereinfacht wird. Um Platz zu sparen, erscheint es jedoch sinnvoller, dass Güter dort eingelagert werden, wo sie den Raum am effizientesten Nutzen. Eine solche Lageranordnung mag für das menschliche Auge chaotisch anmuten, besitzt jedoch mit Hilfe von RFID die gleiche Visibilität, da jedes Objekt genau lokalisiert werden kann.

Weiterhin sind auch neue Dienstleistungen denkbar (vgl. im Folgenden Strassner 2005, S. 17 ff.). Durch die Speicherung produktbezogener Daten direkt am Produkt sind schnellere und individuellere Dienste denkbar. Beispielsweise lassen sich anhand der Produkthistorie Serviceleistungen, wie etwa die Abwicklung von Garantiefällen, oder der Wert der Produkte genauer bestimmen. Da die Speicherung von großen Datenbeständen am Produkt nicht immer ökonomisch sinnvoll wie auch technisch machbar ist, können Infrastruktur-Dienstleistungen für die Verfügbarkeit der Daten unabhängig von der Präsenz des Produkts sorgen. Dabei kann der Infrastrukturbetreiber Skaleneffekte realisieren, indem er die Verwaltung von Produktdaten für ganze Wertschöpfungsnetzwerke übernimmt und diese den Akteuren anwendungsbezogen bereitstellt.²⁹

²⁹ Eine solche Infrastruktur stellt das EPCglobal-Netzwerk dar (vgl. Abschnitt 2.4).

3.3 Netzwerkanwendungen durch Diffusion

Verwenden alle Akteure einer Wertschöpfungskette das gleiche Auto-ID-System, können Netzwerkeffekte (bzw. Netzeffekte)³⁰ realisiert werden (vgl. Strassner 2005, S. 122). Diese besagen, dass der Wert einer Netzleistung mit der Zahl ihrer Nutzer steigt (Metcalfe's Gesetz). Auf RFID übertragen bedeutet dies: Je mehr Unternehmen diese Technologie adoptieren, desto mehr Nutzenpotenziale können realisiert werden, wobei es sich insbesondere um „collaborative benefits, where the primary benefit is derived from the sharing of data between manufacturer and retailer or vice versa“ handelt (METRO Group 2004, S. 4). Die Implementierung einer durchgängigen RFID-Infrastruktur entlang der Wertschöpfungskette führt beispielsweise zur Vermeidung von Medienbrüchen an den Schnittstellen und in letzter Konsequenz zur Kostensenkung. Der originäre Wert der Technologie tritt somit in den Hintergrund, während der derivative Nutzen, also die Größe des Netzwerkes, eine entscheidende Rolle einnimmt (vgl. Zerdick et al. 2001, S. 157). Das Unternehmen erwirbt folglich nicht mehr nur die Technologie, sondern verschafft sich vielmehr Zugang zu dem Netzwerk, welches durch diese Technologie entsteht.

Eine wichtige Voraussetzung für die Entstehung eines solchen Netzwerkes sind verbindliche Standards. Dabei werden einerseits De jure-Standards³¹ (Normen), wie z.B. die EPC-Nummer, durch EPCglobal und ISO erarbeitet. Andererseits werden sich im Laufe der Zeit De facto-Standards (Industriestandards) durch die Wahl einer bestimmten Transponder-Technologie oder Netzwerkarchitektur etablieren.

Allgemein kann die Diffusion von RFID-Anwendungen drei Richtungen einschlagen (vgl. im Folgenden Strassner 2005, S. 122 ff.). Zum einen kann die Integrationstiefe bezüglich der Ebene des Materialflusses gesteigert werden (Paletten-, Verpackungs- und Einzelteilebene), zum anderen kann sie mittels Einbeziehung einer größeren Zahl an Objekten auf der gleichen Ebene ausgeweitet werden (A-, B- und C-Ressourcen)³². Schließlich kann die Integrationsreichweite eines RFID-Systems erhöht werden, indem mehr aufeinander folgende Prozessschritte einer Wertschöpfungskette unterstützt werden. Hierbei werden grundsätzlich geschlossene Systeme (closed loop), bei denen sich die logistischen Objekte in einem Kreislauf bewegen, von offenen Systemen (open loop), die keine Rückkehr des Objekts zu einem bestimmten Ort garantieren, unterschieden. Die folgende Abbildung 3-2 verdeutlicht diesen Sachverhalt grafisch (Strassner/Fleisch 2005, S. 52).

³⁰ Netzwerk- bzw. Netzeffekte werden auch als Netzwerk-Externalitäten bezeichnet. Externalitäten bezeichnen dabei allgemein eine Situation, in der sich das Verhalten einer Person auf das Wohlergehen anderer Personen auswirkt, sowohl positiv als auch negativ. In einem Netzwerk hat die Teilnahme eines weiteren Akteurs in der Regel eine positive Auswirkung (vgl. Zerdick et al. 2001, S. 157).

³¹ Darunter werden Standards verstanden, die verbindlich durch Industrie-Konsortien oder offizielle Institutionen festgelegt werden (vgl. Zerdick et al. 2001, S. 126).

³² Die Ausstattung von C-Ressourcen, also der kostengünstigsten Produkte, mit RFID-Transpondern mag zwar isoliert betrachtet keinen Sinn ergeben. Da jedoch eine durchgängig implementierte RFID-Lösung die meisten Potenziale bietet, ist die Auszeichnung dieser Güter aus der Systemperspektive gerechtfertigt (vgl. Lange 2004, S. 26).

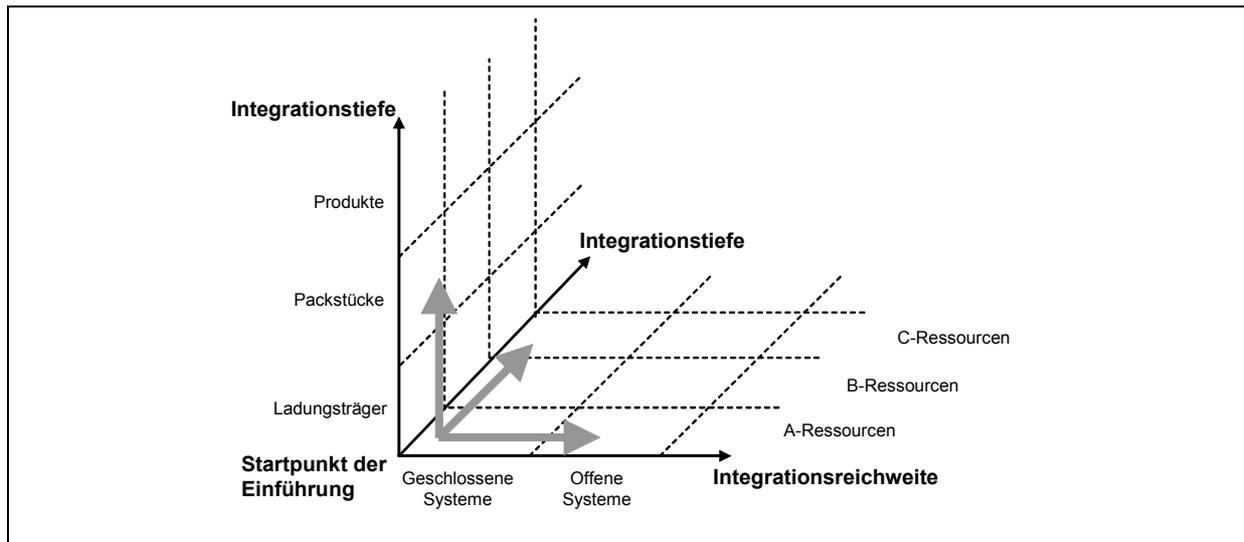


Abbildung 3-2: Diffusion von RFID-Systemen

Die zunehmende Diffusion der RFID-Technologie führt zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass sich entweder die Integrationstiefe erhöht oder weitere Akteure die Technologie adoptieren (siehe Abbildung 3-3, angelehnt an Zerdick et al. 2001, S. 160). Wird eine bestimmte Anzahl an Anwendern erreicht, die sog. „kritische Masse“, dann wird die Technologie zur Commodity – zu einem allgemein anerkannten Standard. In dieser Situation sind die Kosten für einen Wechsel der Technologie größer als der durch den Wechsel entstehende Nutzen. Dieser Zustand wird in der Literatur als sog. Lock-In-Effekt bezeichnet (vgl. bspw. Shapiro/Varian 1999, S. 103 ff.; Zerdick et al. 2001, S. 162).

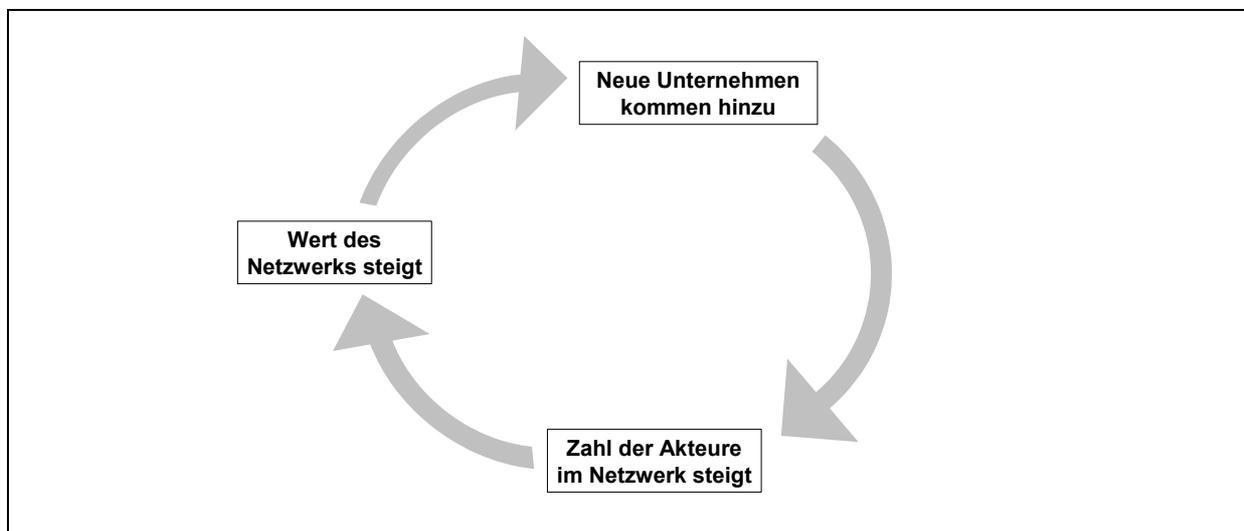


Abbildung 3-3: Der Kreislauf der positiven Feedbacks

Zurzeit konkurriert RFID in einigen Anwendungsfeldern mit anderen Auto-ID-Systemen, allen voran mit der Barcode-Technologie, um die Gunst der Unternehmen.³³ Gemäß dem S-Kurven-Prinzip (vgl. Foster 1986, S. 271 ff.) fungiert RFID dabei als eine leistungsfähigere Substitutionstechnologie, die die Leistungsgrenze des Barcodes überwindet (vgl. Abbildung 3-4). Wie die Praxis jedoch zeigt, stellen die

³³ Siehe Kapitel 2.5.

Wechselkosten (Switching Costs) dabei immer noch eine Barriere für eine stärkere Diffusion der RFID-Technologie.

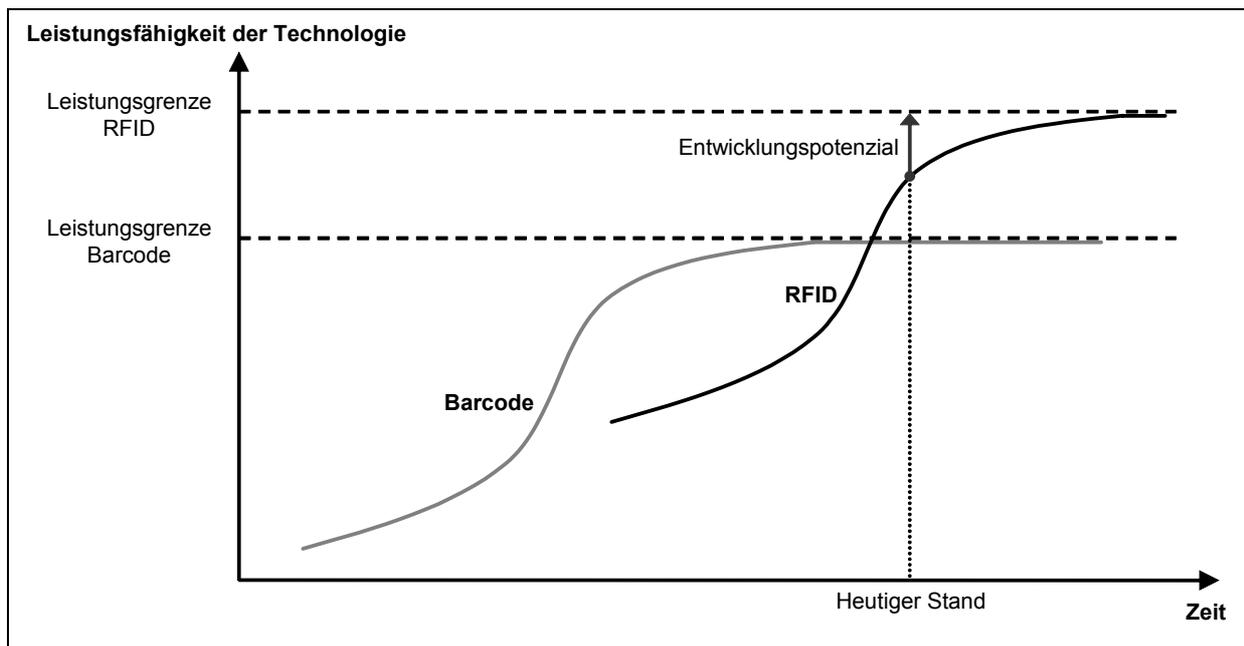


Abbildung 3-4: S-Kurven der Barcode- und RFID-Technologie

3.4 Paradigmenwechsel im Management

„Many important technological innovations had their most dramatic impacts in ways that were never envisioned by the original inventors.“ (Sheffi 2004, S. 6)

Für den US-amerikanischen Wissenschaftsphilosophen THOMAS S. KUHN, der den Begriff in der Wissenschaftstheorie einführte, sind Paradigmen³⁴ „allgemein anerkannte wissenschaftliche Leistungen, die für eine gewisse Zeit einer Gemeinschaft von Fachleuten maßgebende Probleme und Lösungen liefern“ (Kuhn 1973, S. 10 im Vorwort). Werden diese wissenschaftlichen Leistungen durch neue Entwicklungen in Frage gestellt, kommt es zu einem Paradigmenwechsel – also zu der Bildung eines neuen Paradigmas mitsamt neuer Probleme und Lösungen. RFID kann in diesem Zusammenhang als eine radikal-revolutionäre Innovation einen Paradigmenwechsel im Management herbeiführen, indem es das herrschende Managementparadigma ablöst. Dieses stützt sich bisher stärker auf Annahmen als auf Fakten, da vollständige Informationen in der Regel fehlen: „The missing ingredient is information. The barrier is often the cost of collecting it“ (Heinrich 2005a, S. 32). Die RFID-Technologie bietet nun die Möglichkeit, die Kostenbarriere der Informationsbeschaffung zu überwinden.³⁵ Aufgrund der Daten-

³⁴ Der Begriff „Paradigma“ hat seinen Ursprung im Griechischen und bedeutet „Beispiel“ oder „Muster“ (vgl. Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 275).

³⁵ Zeitnahe Informationen erscheinen vor allem angesichts der Tatsache, dass sich das Werteverhältnis zwischen dem physischen Objekt selbst und den zugeordneten Informationen zu verschieben beginnt, umso wichtiger. Denn während das Objekt heute den größten Teil des Wertes ausmacht, gewinnt jedoch die Information immer mehr an Bedeutung (vgl. Gerhäuser 1999, S. 32).

flut sollten die gesammelten Informationen allerdings gefiltert und in aggregierter Form an die Verantwortlichen weitergeleitet werden.

Bei den fehlenden Informationen handelt es sich vorwiegend um Echtzeitdaten über den Ort (und ggf. Zustand) von logistischen Objekten. Eine RFID-Infrastruktur, bei der alle relevanten Objekte mit Transpondern sowie wichtige Kontrollpunkte mit Lesegeräten versehen sind, ist in der Lage diese Echtzeitdaten zu liefern. Dadurch wird die historische Sicht (*was ist passiert?*) durch die echtzeitbasierte Sicht (*was passiert gerade?*) substituiert (vgl. METRO Group 2004, S. 33). Denn bislang bedeutete Echtzeitmanagement in der Regel „as soon as someone let the computer know“ (Heinrich 2005a, S. 7). Dagegen stehen relevante Informationen mittels RFID sofort zur Verfügung, wobei die Prämissen des Echtzeitmanagements erfüllt werden (vgl. Senger/Österle 2004, S. 223):

- jede Information ist sofort nach ihrer Entstehung überall auf dieser Welt verfügbar,
- jede Aktivität kann alle relevanten Informationen ohne Zeitverzug nutzen und
- von jeder Information kann die Verbindung (Relationship) zu ihrem Kontext hergestellt werden.

Es entsteht ein digitaler Managementkreis der Echtzeitwirtschaft, bei welchem Informationen vom Entstehungsort (Point Of Creation) sofort am Verwendungsort (Point Of Action) verfügbar sind (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 10 f.). Für den Manager bedeutet dies konkret, dass er bspw. Dispositionsentscheidungen nicht mehr aufgrund von Vergangenheitsdaten, etwa den Absatzzahlen des Vormonats, sondern aufgrund des tatsächlichen Absatzes zu dem Zeitpunkt der Entscheidung fällt.

Die Vision des „Internets der Dinge“ geht noch einen Schritt weiter: Objekte finden selbständig ihren Weg durch die Lieferkette, indem sie eigenständig Entscheidungen treffen und benötigte Ressourcen anfordern. Da die Prozesse mittels RFID weitestgehend automatisiert werden, greifen Mitarbeiter nur noch bei unvorhergesehenen Ereignissen ins Geschehen ein („Management by Exception“, siehe Abbildung 3-5, vgl. Heinrich 2005a, S. 44 f.). Sie kümmern sich lediglich um Ausnahmefälle und nicht mehr um die zahlreichen problemlos ablaufenden Prozesse und Transaktionen.

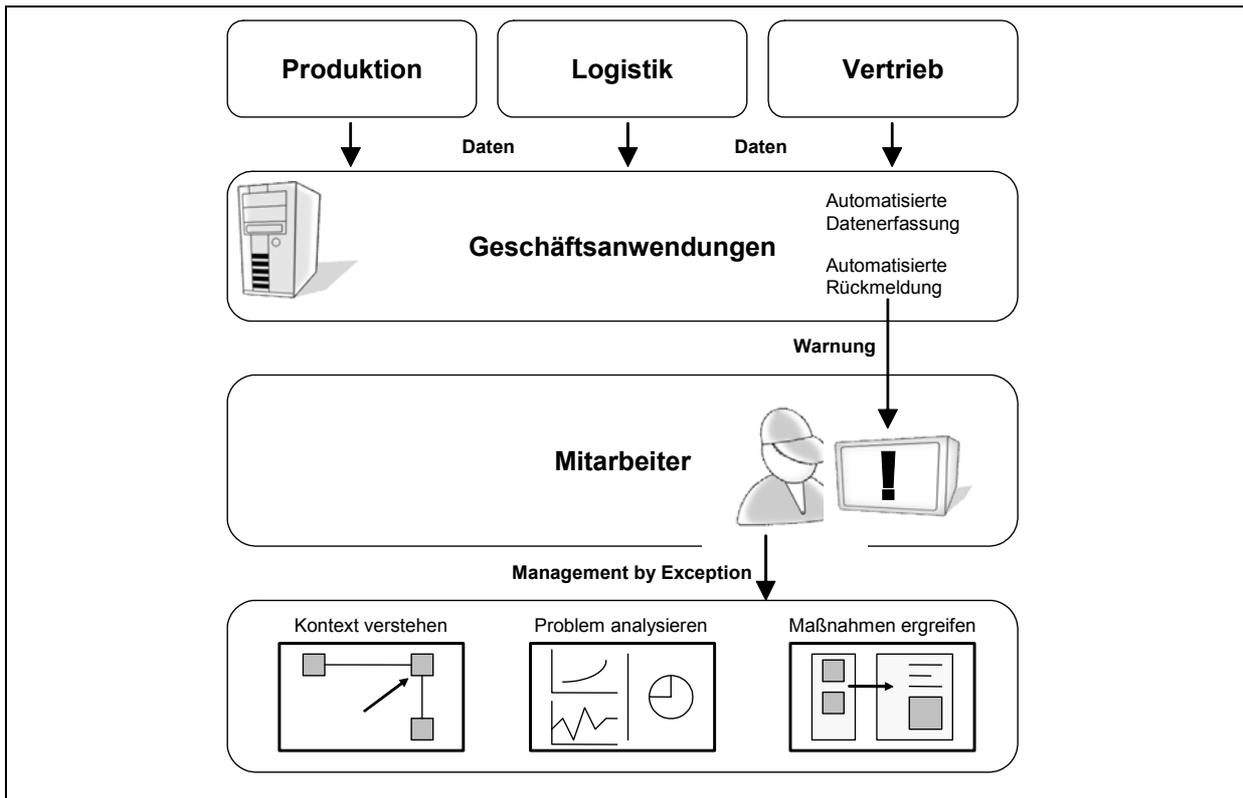


Abbildung 3-5: Management by Exception

4 Anwendungsszenarien der RFID-Technologie

Die RFID-Technologie gilt als eine typische Querschnittstechnologie, deren Anwendungsgebiete theoretisch unbegrenzt sind (BSI 2004, S. 66). Eine idealtypische Lieferkette betrachtend, bietet sich zum einen der unternehmensübergreifende Einsatz zur Unterstützung des Supply Chain Managements an (Abschnitt 4.1). Zum anderen können mittels RFID unternehmensinterne Prozesse in den Bereichen Asset Management (4.2) und Produktionssteuerung (4.3) effizienter gestaltet werden. Ferner ist die Anwendung von RFID-Systemen am Point of Sale denkbar (4.4, siehe Abbildung 4-1).

Bei der Vorstellung der Anwendungsszenarien wird zunächst jeweils ein Überblick zu jedem Anwendungsbereich gegeben. Danach werden die Beweggründe für den Einsatz der RFID-Technologie skizziert, die den Ansatz für die anschließende Darstellung der Nutzenpotenziale mitsamt den Herausforderungen bilden.

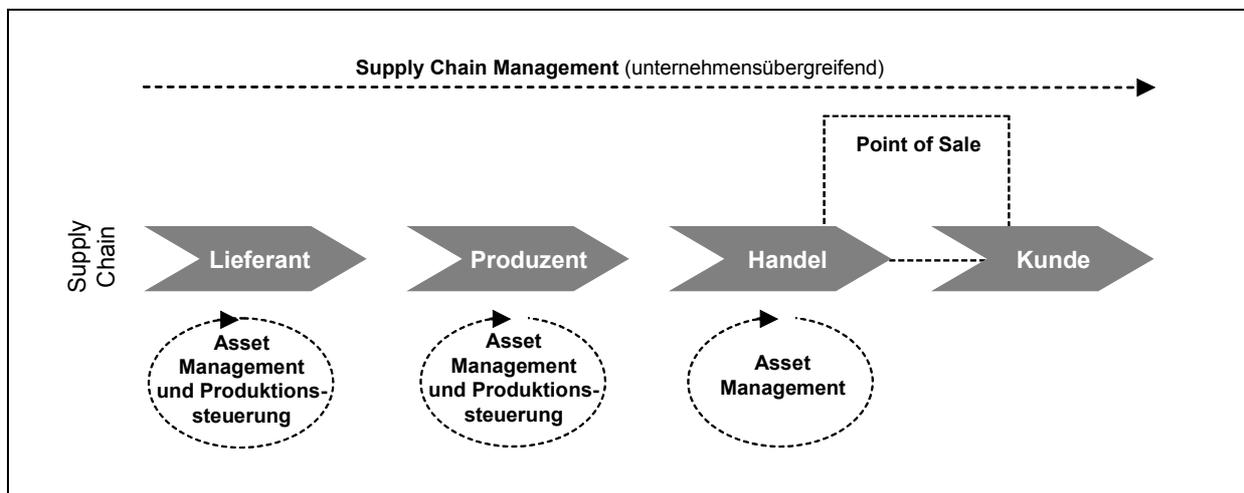


Abbildung 4-1: Betriebswirtschaftliche Anwendungsbereiche von RFID-Systemen

4.1 Supply Chain Management

„Das wichtigste Gut im Supply Chain Management ist die Information. Werden Informationen in Echtzeit durch die gesamte Kette propagiert, lassen sich Bestände einsparen, Zusatztransporte reduzieren, Verschrottung vermeiden und damit das zentrale Ziel, eine erhöhte Kundenzufriedenheit erreichen.“ (Alicke 2003, S. 7)

Überblick

Der englische Terminus Supply Chain wird in der Regel mit den Begriffen Lieferkette, Versorgungskette und unternehmensübergreifende Wertschöpfungskette übersetzt (Busch 2002, S. 4). Es handelt sich dabei um ein aus verschiedenen Unternehmen bestehendes Netzwerk, innerhalb dessen ein Produkt

erstellt und zum Endkunden transportiert wird (vgl. Gronau 2004, S. 208). Eine pragmatische Definition des Begriffs Supply Chain Management (SCM) liefern KUHN/HELLINGRATH (Kuhn/Hellingrath 2002, S. 10): „Supply Chain Management ist die integrierte prozessorientierte Planung und Steuerung der Waren-, Informations- und Geldflüsse entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Kunden bis zum Rohstofflieferanten mit den Zielen:

- Verbesserung der Kundenorientierung,
- Synchronisation der Versorgung mit dem Bedarf,
- Flexibilisierung und bedarfsgerechte Produktion und
- Abbau der Bestände entlang der Wertschöpfungskette.³⁶

Um diese Ziele zu erreichen, stellen vor allem die Reduktion von Schnittstellen und die Verbesserung der genannten Flüsse eine wichtige Aufgabe innerhalb des SCM-Ansatzes dar (vgl. Arndt 2004, S. 46). Hierzu ist vor allem eine intensive Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Unternehmen nötig. Diese erfährt durch Ansätze wie Efficient Consumer Response (ECR) im Bereich des Einzelhandels oder Just-in-time Anlieferung (JIT) in der Automobilbranche bereits seit mehreren Jahren verstärkte Aufmerksamkeit.³⁷ Obwohl diese Strategien sich bislang nicht der ursprünglich erhofften Resonanz erfreuen konnten, so legten sie den Grundstein für den Einsatz der RFID-Technologie (vgl. Lackner/Riedel 2004, S. 13).

Bisher wird RFID insbesondere aufgrund der hohen Kosten und der geringen Standardisierung eher in unternehmensinternen Applikationen eingesetzt (closed loop). Da jedoch sowohl die Technologiepreise sinken³⁸, als auch eine weltweite Standardisierung fortschreitet³⁹, wird die Technologie auch für unternehmensübergreifende Anwendungen interessant (open loop). Zukünftig wird deshalb ein großer Einsatzbereich in dem Tracking von Konsumgütern vom Hersteller zum Endkunden gesehen (vgl. Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 27).⁴⁰ Hier fungieren vor allem der Handel, die Konsumgüter- und Textilindustrie als Pioniere bei der Einführung von RFID (vgl. Beckenbauer/Fleisch/Strassner 2004, S. 44).

³⁶ ARNDT weist daraufhin, dass der Begriff „Supply Chain Management“, also zu Deutsch „Versorgungskettenmanagement“, irreführend sei. Zum einen impliziere die Betonung der Versorgungsseite (Supply) fälschlicherweise starke Impulse seitens der Lieferanten, während diese jedoch vielmehr von Seiten der Endkunden ausgehen (Demand). Zum anderen deute der Begriff der Kette (Chain) daraufhin, dass es sich jeweils immer um genau einen Lieferanten und Kunden handelt, während in der Realität in der Regel eher Netzwerke mit mehreren Akteuren auf der Beschaffungs- und Absatzseite zu beobachten sind. In diesem Sinne sei der Begriff „Demand Net Management“ passender (vgl. Arndt 2004, S. 46).

³⁷ Für eine Diskussion des ECR-Begriffes siehe Mau 2003, S. 22 ff. Zum JIT-Konzept siehe bspw. Wildemann 2001, S. 11 ff.

³⁸ Analysten von Forrester Research gehen davon aus, dass 2009 bereits 45 Milliarden RFID-Chips produziert werden sollen, bei einer Kostenentwicklung auf 1 Cent pro Transponder (vgl. Kehrwald 2004, S. 17).

³⁹ Siehe Abschnitt 2.4.

⁴⁰ Nach einer Studie der Marktforschungsfirma Allied Business Intelligence gilt RFID als eine Schlüsseltechnologie zur Verbesserung von Lieferketten. Demnach sollen im Jahre 2007 46% des RFID-Marktes auf SCM-Anwendungen entfallen (vgl. Maselli 2003).

Beweggründe für den Einsatz von RFID

Die von den Akteuren einer Wertschöpfungskette häufig isoliert vorgenommene Bedarfsplanung erzeugt einen so genannten **Bullwhip-Effekt**⁴¹ (deutsch: Peitscheneffekt). Dieser äußert sich in immer größeren Schwankungen der Bestellmenge, je weiter ein Unternehmen in der Wertschöpfungskette vom Endkunden entfernt ist (siehe Abbildung 4-2, angelehnt an Corsten/Gabriel 2002, S. 9; Alicke 2003, S. 8). Der Effekt tritt vor allem aufgrund von Verzögerungen der Material- und Informationsflüsse auf.⁴² Dadurch kommt es auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette zu Ineffizienzen durch Schätzungsfehler, die Auswirkungen auf die Höhe der Lagerbestände des Unternehmens haben. Dabei zieht ein zu hoher Lagerbestand Kapitalbindungs- und Lagerkosten, Qualitäts- und Frischeprobleme, Wertverlust sowie Diebstahl nach sich, während ein zu niedriger Lagerbestand zu Lieferengpässen bzw. zu „Out-of-Stock“ Situationen (leere Regale) führt.

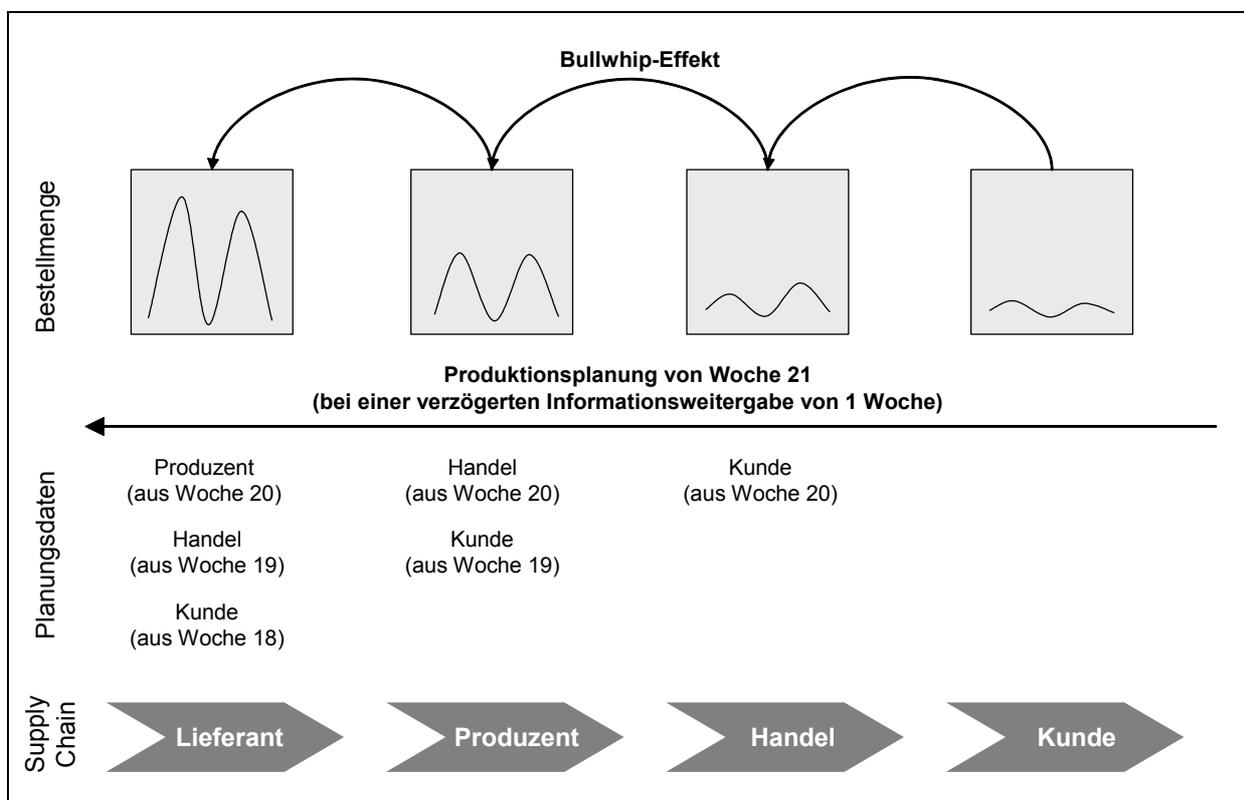


Abbildung 4-2: Der Bullwhip-Effekt führt zu großen Nachfrageschwankungen

Um die Schwankungen in der Wertschöpfungskette zu reduzieren, besteht eine zentrale Aufgabe des SCM in der Abschwächung des Bullwhip-Effektes. Hierzu werden von der Literatur Maßnahmen vorgeschlagen, die vor allem auf einer Bereitstellung der Marktinformation in Echtzeit basieren (vgl. Alicke 2003, S. 128). Damit soll dem Problem der verzögerten Informationsweitergabe begegnet werden.

⁴¹ Vgl. hierzu Arndt 2004, S. 71 f.; Kuhn/Hellingrath 2002, S. 17 ff. ALICKE widmet dem Bullwhip-Effekt sogar ein ganzes Kapitel (Alicke 2003, S. 97 ff.).

⁴² In diesem Zusammenhang wird in der Literatur von dem *Forrester-Effekt* (Nachfrageverstärkung durch verzögerten Informationsfluss) und dem *Bulbridge-Effekt* (Nachfrageverstärkung durch unterschiedliche Bestellperioden) gesprochen (vgl. Kuhn/Hellingrath 2002, S. 18 ff.).

Ein weiteres Problem, welches sich vor allem in der Lieferkette der Lebensmittelbranche zeigt, stellt die Rückverfolgbarkeit dar. Die häufigen Lebensmittelskandale schrecken den Konsumenten ab und führen zu steigenden Anforderungen hinsichtlich der Qualität und Rückverfolgbarkeit der Waren. Vor allem die lückenlose Rückverfolgbarkeit (sog. „from farm to fork“-Überwachung) ist in dieser Branche seit Anfang 2005 durch eine EU-Richtlinie vorgeschrieben (vgl. Lange 2004). Ab Oktober 2006 müssen dann auch alle mit der Nahrung in Berührung kommenden Gegenstände (z.B. Verpackung, Besteck, Transportbehälter) in die Rückverfolgbarkeitskette aufgenommen werden (vgl. Wöhrle 2005, S. 32).

Nutzenpotenziale

Nach PFLAUM kann RFID „als technologisches Mittel oder Potenzial verstanden werden, mit dem bereits vorhandene oder neue Bedarfe bzw. Anforderungen, die sich aus der Idee des SCM ableiten lassen, erfüllt werden können“ (Pflaum 2001, S. 50). Durch den Einsatz von RFID-Systemen wird das Management von Wertschöpfungsketten agiler, da genauere und vor allem echtzeitnahe Informationen zur Verfügung stehen. Alle in der Wertschöpfungskette existierenden logistischen Objekte können jederzeit identifiziert und lokalisiert werden.⁴³ Auch der Zustand des Objektes kann ermittelt werden, wenn die RFID-Transponder zusätzlich mit Sensoren ausgestattet werden. Beispielsweise ist eine Temperaturüberwachung von Tiefkühlprodukten ein denkbarer Anwendungsbereich. Durch diese Mehrinformationen erhöht sich die Transparenz innerhalb der Lieferkette. Alle weiteren Nutzenpotenziale resultieren aus der erhöhten Transparenz und Automatisierung (siehe folgende Abbildung 4-3, angelehnt an Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 3; Ramachandra 2005, S. 3 ff.; Koh/Staake 2005, S. 161 ff.).

Nutzenpotenzial	Beschreibung
Automatischer Wareneingang und -ausgang	Der Wareneingang und -ausgang kann effizienter abgewickelt werden, indem sowohl die Buchung als auch Kontrolle automatisiert abläuft. Die Produkte identifizieren sich selbst – keine manuellen Erfassungsvorgänge sind nötig.
Vereinfachte Ein- und Auslagerung	Manuelle Lagerkontrollen entfallen, da fehlerhafte Lieferungen bzw. falsch eingelagerte Produkte sofort automatisch erkannt werden.
Effiziente Produktverfolgung (Track and Trace)	Informationen über den Standort und Zustand von Produkten innerhalb der Lieferkette sind genau und zeitnah.
Monitoring	Mittels Sensorik kann der Zustand der Produkte durchgängig überwacht (z.B. Temperatur) und bei Überschreitung von vorgegebenen Grenzwerten eine Warnmeldung bzw. Gegenmaßnahme ausgelöst werden.
Echtzeitinventur	Informationen über Bestände sind jederzeit zeitnah abrufbar – jede Warenbewegung wird sofort sichtbar.
Reduzierung des Schwund	Echtzeitnahe Informationen über den Ort eines Produktes erschweren internen und externen Diebstahl.
Reduzierung des Materialflusses und Verbesserung des Informationsflusses	Die Sicherheitsbestände innerhalb der Supply Chain werden reduziert, da genaue und zeitnahe Informationen über Bestände und Bedarfe aller Akteure in der Lieferkette abrufbar sind.

⁴³ Identifikation schließt Lokalisierung mit ein – da der Ort des Lesegerätes, von dem die Transponderdaten ausgelesen werden, bekannt ist, kann auch die Position des Transponders ermittelt werden. Wie akkurat die Positionsbestimmung ist, hängt letztendlich von der Anzahl der verwendeten Lesegeräte, wie auch von der Entfernung zwischen diesen ab. Für eine genaue Lokalisierung existieren bereits zahlreiche technische Lösungen (z.B. GPS). Mehr zu der Verschmelzung von Identifikations- und Lokalisierungstechnologien findet sich bei Pflaum/von der Grün/Bernhard 2004.

Effizienteres Produktmanagement	Eine genauere Produkthistorie für jedes einzelne Objekt vereinfacht Garantieabwicklungen, Rückrufaktionen, Service und Entsorgung.
Schutz vor Plagiaten (anti-counterfeiting)	Die Speicherung der Herkunft und Historie des Produktes erschwert Markenpiraterie (vor allem in der Supply Chain der Pharmaindustrie bedeutend)

Abbildung 4-3: Nutzenpotenziale von RFID entlang der Wertschöpfungskette

Einen interessanten Aspekt beleuchten MCFARLANE/SHEFFI (vgl. McFarlane/Sheffi 2003, S. 14): Heutzutage endet die Supply Chain mit dem Kaufvorgang am Point of Sale (POS). Danach erlischt der Informationsfluss. Mit Hilfe von RFID sind nun Informationen über den kompletten Produktlebenszyklus verfügbar und Anwendungsmöglichkeiten jenseits des POS denkbar – vorausgesetzt, dass der Transponder nach dem Kauf nicht deaktiviert wird (siehe Abbildung 4-4, angelehnt an McFarlane/Sheffi 2003, S. 14).

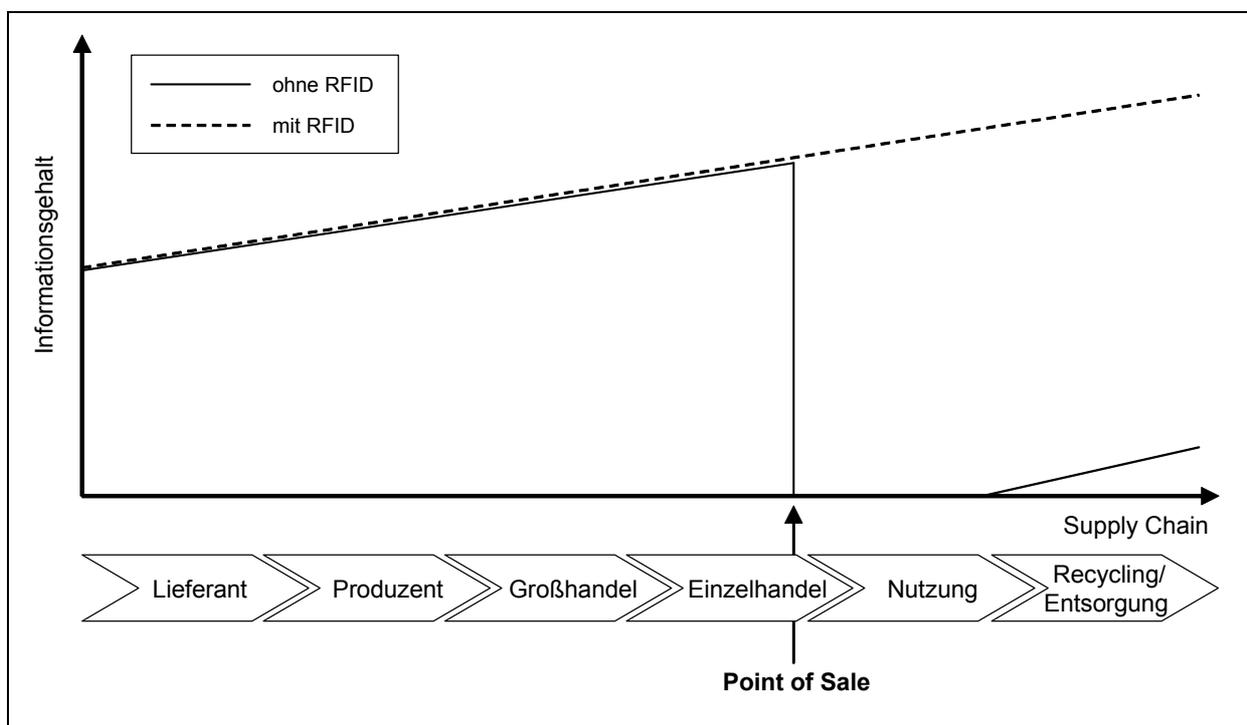


Abbildung 4-4: Produktinformation entlang der Supply Chain

Herausforderungen

„Unlike simpler technologies where one clear overriding benefit can be identified, calculating the ROI of RFID requires looking at multiple processes spanning the life of a product from the end of the factory production line all the way to the consumer’s hands in the retail store.“ (METRO Group 2004, S. 2)

Der Einsatz von RFID im Supply Chain Management impliziert wesentlich höhere Investitionen in die RFID-Infrastruktur als bei einer unternehmensinternen Anwendung. Da keine isolierte Lösung entwickelt werden kann, sondern eine Abstimmung zwischen den Akteuren der Supply Chain stattfinden muss, sind in den meisten Fällen Prozessänderungen wie auch eine an die neuen Prozesse angepasste IT-Infrastruktur nötig. Zudem wird eine hohe Anzahl an Transpondern benötigt, da diese nach

der Produktauslieferung an den Endkunden nicht wieder verwendet werden können. Dies zieht den Einsatz von kostengünstigen passiven Transpondern nach sich, die nicht alle Nutzenpotenziale der RFID-Technologie ausschöpfen (bspw. ist die Lesereichweite eingeschränkt und der Einsatz von Sensorik nicht möglich).

Eine weitere Herausforderung des RFID-Einsatzes im Supply Chain Management liegt in der Kostenverteilung innerhalb der Lieferkette. Obwohl sowohl Produzenten wie auch Händler gleiche Kosten im Zusammenhang mit der nötigen Infrastruktur haben, muss in der Regel der Produzent als erster Akteur in der Lieferkette die permanenten Kosten für die Transponder alleine tragen – und das obwohl die Nutzenpotenziale auf Seiten der Händler weitaus größer sind („essential paradox of RFID“, vgl. METRO Group 2004, S. 26). Denn im Handel bietet die Kennzeichnung auf Produktebene vielfältige Potenziale (siehe Abschnitt 4.4), während Produzenten die meisten Vorteile aufgrund der hohen Produktions- und Liefermengen bereits auf der Palettenebene realisieren. Bei einem Übergang von der Paletten- zur Produkt-Kennzeichnung fällt also das Nutzenpotenzial beim Hersteller, während es beim Händler steigt. Folglich schätzen diese die RFID-Technologie positiver ein als die Hersteller (vgl. Agarwal 2001, S. 12). Die letzteren befinden sich durch die Mandate der Händler⁴⁴ in einem Spannungsfeld zwischen einer für sie sinnvollen Nutzung der Technologie und einer gleichzeitigen Erfüllung der Anforderungen des Handels (vgl. Thorndike/Kasch 2004, S. 32). Um den Verpflichtungen mit möglichst geringen Kosten nachzukommen, wenden die meisten Hersteller die sog. „Slap-and-Ship“-Strategie an, indem sie das fertige Produkt erst kurz vor der Auslieferung mit einem Transponder versehen. Damit können sie keine Nutzenpotenziale realisieren, sparen jedoch die Kosten für die notwendige RFID-Infrastruktur.

Werden zusätzlich zu den bisherigen Ausführungen die zwischen den Produzenten und Händlern agierenden Logistikunternehmen in die Betrachtung einbezogen, so ergibt sich die folgende Konstellation in der Lieferkette (siehe folgende Abbildung 4-5).

⁴⁴ Große Handelskonzerne wie bspw. Wal-Mart fordern seit Anfang 2005 Zulieferer auf, RFID auf ihren Produkten zu implementieren (vgl. Heinrich 2005a, S. 212).

	Produzenten	Logistikunternehmen	Handelsunternehmen
Situation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Werden von den Handelskonzernen verpflichtet, ihre Produkte mit RFID-Transpondern auszustatten ▪ Versuchen die RFID-Einführung hinauszuzögern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Versprechen sich Vorteile von RFID (tracking and tracing) ▪ Werden erst mittelfristig von RFID profitieren, da die Investitionen in die Infrastruktur noch zu hoch sind 	Setzen alles daran, RFID möglichst bald am Markt zu etablieren
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei einer Slap-and-ship Strategie: Transponder ▪ Um Nutzenpotenziale zu realisieren, zusätzlich: Lesegeräte, Hardware und Software für das Datenmanagement 	Lesegeräte, Hardware und Software für das Datenmanagement	Lesegeräte, Hardware und Software für das Datenmanagement
Herausforderungen	Sinnvolle Nutzung muss mit Verpflichtungen ggü. den Handelskonzernen in Einklang gebracht werden	Müssen Standards mehrerer Branchen berücksichtigen	Kritik an RFID trifft meistens die Händler als letzte Stufe der Lieferkette

Abbildung 4-5: Konstellation in der Lieferkette

Durch die erhöhte Transparenz in der Supply Chain besteht auch eine erhöhte Gefahr, dass sensible Daten (z.B. Liefermengen, Absatzzahlen) in die Hände von Wettbewerbern geraten (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 19). Ein offenes System, welches sich über die komplette Wertschöpfungskette erstreckt, muss daher entsprechend gegen Datenmissbrauch abgesichert werden. Hierbei ist auch die Rolle der Vertrauensbildung zwischen dem Lieferanten und Abnehmer zu berücksichtigen, die letztendlich Einfluss auf die Gestaltung des Datenaustauschs nimmt.

Schließlich sind Standardisierungsbemühungen für einen unternehmensweiten RFID-Einsatz von großer Bedeutung.⁴⁵ Denn ein Wertschöpfungsnetz besteht aus vielen Unternehmen mit einer heterogenen IT-Landschaft, deren Integration sich schwierig gestaltet. Standards können die Kompatibilität der RFID-Systeme untereinander gewährleisten und somit kooperative Prozesse zwischen den Unternehmen fördern (vgl. Strassner/Fleisch 2005, S. 51).

4.2 Asset Management

Überblick

Der Begriff Assets umfasst Behälter, Ladungsträger und Werkzeuge, die vorwiegend unternehmensintern eingesetzt werden (closed loop). Für die Bewegungen von Assets im Werk existieren dabei selten exakt vorgegebene Routen (Strassner/Plenge/Stroh 2005, S. 191). Mittels RFID lassen sich jedoch diese ungeführten Prozesse in IT-Systemen abbilden. In diesem Bereich ist zudem die Wiederver-

⁴⁵ Zu dem aktuellen Stand der Standardisierung im RFID-Bereich siehe abschnitt 2.4.

wendbarkeit der RFID-Transponder gewährleistet, wodurch der Einsatz von leistungsstarken und teuren aktiven Transpondern ermöglicht wird.

Beweggründe für den Einsatz von RFID

Bisher wurde dem systematischen Asset Management in der Praxis wenig Bedeutung beigemessen (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 17). Allerdings wird geschätzt, dass bei Mehrwegbehältern jährlich ein Schwund von ca. 5 bis 8 Prozent auftritt, wodurch hohe Kosten für Ersatzinvestitionen entstehen (vgl. Beckenbauer/Fleisch/Strassner 2004, S. 47). Zudem werden häufig hohe Sicherheitsbestände an Behältern und Ladungsträgern vorgehalten, um ihre Verfügbarkeit zu gewährleisten (vgl. Strassner/Plenge/Stroh 2005, S. 189). Ein systematisches Asset Management sollte daher sicherstellen, dass einerseits die benötigten Objekte jederzeit in gutem Zustand zur Verfügung stehen, andererseits der Bestand minimiert wird.

Das Spezialbehältermanagement bei Volkswagen verdeutlicht die bisherigen Ausführungen (vgl. im Folgenden Strassner/Fleisch 2005, S. 46). Die zum Transport von Karosserieteilen verwendeten Spezialgestelle haben einen Wert von ca. 500 Euro pro Stück. Zuverlässige Informationen über den Standort und Bestand an diesen Spezialbehältern gibt es bisher nicht, da sie von den Mitarbeitern nicht immer zu den Leergutsammelplätzen gebracht bzw. im System erfasst werden. In der Konsequenz sind häufig zeit- und kostenintensive Suchaktionen nötig. Daneben verzeichnet Volkswagen jährlich einen Schwund von etwa 5 Prozent sowie eine sehr schlechte Auslastung der Spezialgestelle. Bei einem Bestand von ca. 13.000 Gestellen ergeben sich Kosten für Ersatzinvestitionen in Höhe von ca. 325.000 Euro pro Jahr.

Auch Werkzeuge werden bisher selten einem systematischen Management unterzogen. Häufig müssen diese von den Mitarbeitern gesucht werden, wodurch Verzögerungen verursacht werden. Zudem sind die Werkzeuge oft keinem bestimmten Mitarbeiter zugeordnet. Daher ist es schwer nachzuvollziehen, welches Werkzeug von welchem Mitarbeiter gerade benutzt wird. Nicht selten kommt es in diesem Zusammenhang auch zu Diebstählen (vgl. Strassner/Plenge/Stroh 2005, S. 190).

Nutzenpotenziale

Ein effizientes Behältermanagement kann aufgebaut werden, indem Behälter mit RFID-Transpondern ausgestattet und in kritischen Bereichen Lesegeräte installiert werden. Auf diese Weise können die Behälter jederzeit lokalisiert und effizienter eingesetzt werden. Zum Beispiel lassen sich Wartungs- und Reinigungsmaßnahmen aufgrund der genauen Nutzungshistorie effizienter planen (vgl. Strassner/Plenge/Stroh 2005, S. 190). Der Behälterbestand kann bei gleich bleibender Behälterverfügbarkeit reduziert und somit ein optimaler Bestand an Behältern ermittelt werden. Zugleich kann auch indirekt der Inhalt der Behälter bzw. Ladungsträger ermittelt werden (vgl. Beckenbauer/Fleisch/Strassner 2004, S. 47). In diesem Zusammenhang wird auch vom „Soft-Tracking“ gesprochen, wobei allerdings nicht sichergestellt werden kann, dass sich der angenommene Inhalt auch wirklich in dem Behälter bzw. auf dem Ladungsträger befindet (vgl. Tellkamp/Haller 2005, S. 229).

Das Fahrzeug-Tracking eines Logistikdienstleisters am Rotterdamer Hafen zeigt, dass eine effiziente Lokalisierung mittels RFID zur Vermeidung langer Suchzeiten führt (vgl. im Folgenden o.V. 2005). Dazu werden die ca. 40.000 Fahrzeuge, die sich gleichzeitig am Car Terminal befinden, mit aktiven RFID-Transpondern bestückt. Diese enthalten die Fahrzeug-Identifizierungsnummer des jeweiligen Fahrzeugs, die beim Eintritt in einen Arbeitsbereich bzw. beim Verlassen dieses Arbeitsbereichs an das angeschlossene System übermittelt wird. Die Position jedes Fahrzeugs kann grafisch am Bildschirm angezeigt werden, womit sich ein bestimmtes Auto schnell auffinden lässt.

Am Frankfurter Flughafen ermöglicht der Einsatz von RFID papierlose und lückenlos dokumentierte Wartungsarbeiten (vgl. im Folgenden Heinrich 2005a, S. 149 ff.). So hat die Fraport AG Ende 2002 an den etwa 22.000 Brandschutzklappen des Flughafens RFID-Transponder angebracht. An jedem Arbeitstag werden mobile Lesegeräte zentral mit den fälligen Wartungsaufträgen aktualisiert. Dabei sieht der Mitarbeiter nur den jeweils nächsten Standort der zu wartenden Brandschutzklappe. Dort angekommen, lädt er mittels des mobilen Lesegerätes die detaillierten Wartungsanweisungen vom RFID-Transponder herunter. Sind die notwendigen Wartungsarbeiten durchgeführt, werden die Daten des RFID-Transponders von dem Mitarbeiter aktualisiert. Somit kann sichergestellt werden, dass die Wartungsaufträge auch wirklich durchgeführt werden. Am Ende des Tages findet eine Synchronisation der Daten mit dem zentralen Instandhaltungssystem statt (vgl. Abbildung 4-6, angelehnt an Heinrich 2005a, S. 150).

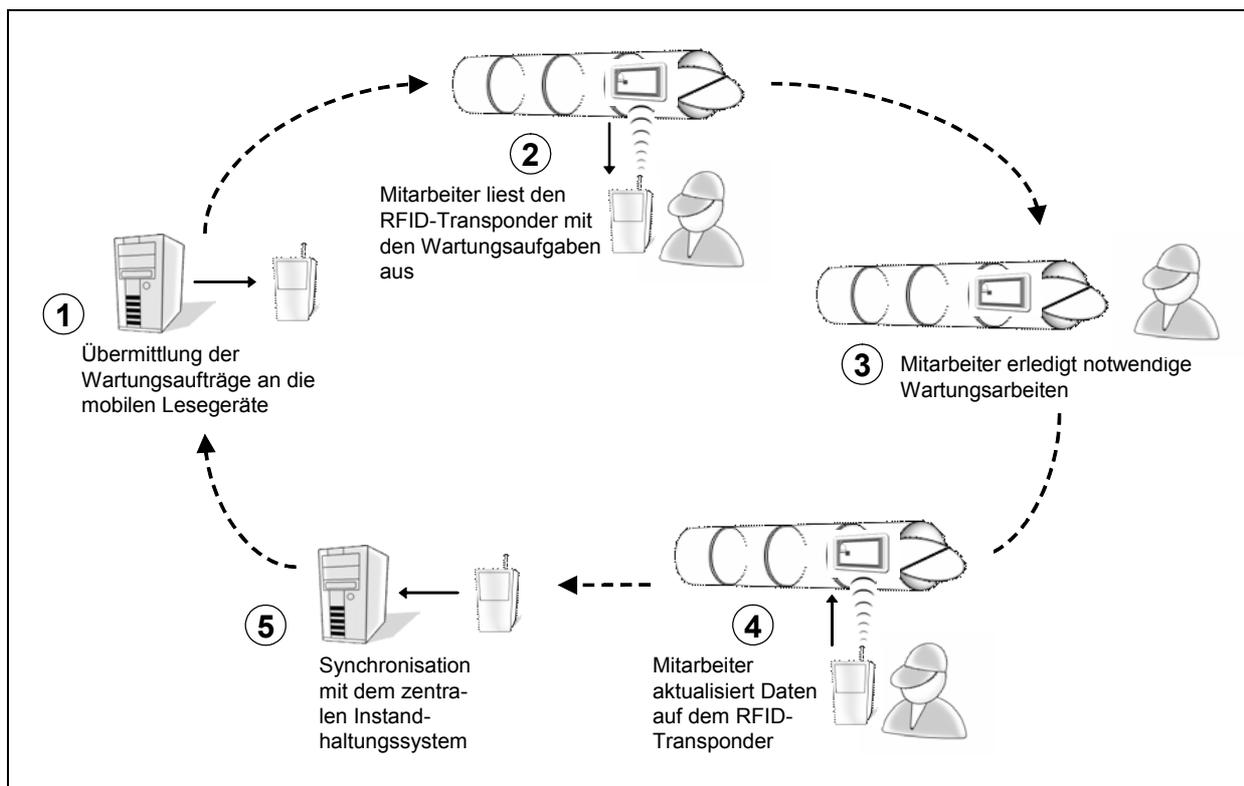


Abbildung 4-6: Asset Management am Frankfurter Flughafen

Auch das Management von Werkzeugen kann effizienter gestaltet werden. Das mit einem RFID-Transponder versehene Werkzeug kann seinem Besitzer mitteilen, wo es sich befindet. Liegt es im falschen Werkzeugkoffer, meldet es sich selbständig (vgl. Fleisch/Dierkes 2003, S. 617;

Strassner/Lampe/Leutbecher 2005, S. 269). Darüber hinaus kann die Verwendung und der Verschleiß ermittelt sowie Diebstählen vorgebeugt werden. So stattet beispielsweise die Telekommunikationsfirma Pacific Century Systems einen Teil ihres Inventars mit RFID-Transpondern aus. Mitarbeiter können die Position des gesuchten Werkzeugs jederzeit am PC abrufen. Außerdem können Daten über die Nutzung dieser Ressourcen gewonnen werden (vgl. Fleisch/Mattern/Billinger 2003, S. 9).

Herausforderungen

Der Einsatz von RFID im Asset Management bringt für die Unternehmen weniger Probleme mit sich als eine unternehmensübergreifende SCM-Anwendung, da einerseits die Wiederverwendbarkeit der noch relativ teuren Transponder ein geringeres Investitionsrisiko garantiert und andererseits in der Regel keine Abstimmungsprozesse mit Netzwerkpartnern nötig sind. Aus diesem Grund werden zurzeit die meisten RFID-Pilotprojekte unternehmensintern durchgeführt. Hierbei wird deutlich, dass die technische und inhaltliche Standardisierung unterschiedlich weit fortgeschritten sind. Während technische Standards, wie etwa die Ausgestaltung der Transponder, bereits im Detail spezifiziert sind, sind inhaltliche Aspekte (z.B. welche Daten werden zentral und welche objektbegleitend gespeichert?) noch nicht endgültig geklärt. Dieser Umstand schlägt sich negativ auf die Entwicklung und Ausbreitung der RFID-Technologie nieder.

Zudem zeigen sich noch technische Probleme: Die Erfassungsreichweite ist in metallischen Umgebungen eingeschränkt (vgl. Strassner/Plenge/Stroh 2005, S. 190). Eine Leserate von 100 Prozent kann nicht realisiert werden, weshalb die Implementierung intelligenter Prozesse die technischen Defizite ausgleichen muss. Auch die technische Integration mit bestehenden Systemen ist noch nicht hinreichend gelöst (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 16). Außerdem steigen durch das engere Netz an Identifikations- bzw. Datenerfassungspunkten wie auch die erhöhte Datengranularität die Datenvolumina signifikant an: „Es ist zu erwarten, dass die existierenden informationstechnischen Strukturen der zusätzlichen Belastung auf Dauer nicht standhalten werden“ (Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 286). Die Verarbeitung der hohen Datenmengen bildet dabei gleichzeitig „eine wahre Goldgrube für Softwarehersteller und Beratungsunternehmen“ (Kull/Kamieth 2004, S. 24).

4.3 Produktionssteuerung

Überblick

Die Produktionssteuerung beinhaltet alle Aufgaben der zeitnahen Unterstützung der Fertigung (vgl. Weigelt 1994, S. 3). In der Literatur werden dabei folgende Teilaufgaben identifiziert (vgl. Hoitsch 1993, S. 270):

- Erstellung von Arbeitsunterlagen
- Bereitstellung der Produktionsfaktoren

- Zuteilung der Arbeit und Auslösen der Aufgabendurchführung
- Sicherung der Produktion durch ggf. notwendiges Eingreifen in Produktionsprozesse bzw. Planänderung nach Produktionskontrolle

RFID wird in der Produktionssteuerung vorwiegend zur Überwachung des Produktionsfortschritts eingesetzt, indem Trägermodule mit Transpondern versehen und an den einzelnen Bearbeitungsstationen ausgelesen bzw. beschrieben werden. Wie beim Asset Management ist es auch in diesem Bereich möglich, die Transponder wieder zu verwenden, was auch hier den Einsatz von teuren aktiven Transpondern rechtfertigt.

Beweggründe für den Einsatz von RFID

Aufgrund einer erhöhten Nachfragedifferenzierung und kürzerer Produktlebenszyklen (vgl. Corsten 1998, S. 3 f.) rücken in der Produktion verstärkt kundenorientierte Ziele, wie z.B. kurze Durchlaufzeiten und eine hohe Produktqualität, in den Mittelpunkt. Der verstärkte Trend zur Individualisierung führt dabei zu einer steigenden Anzahl an kundenspezifischen Produktvarianten, was mit einer Erhöhung der Planungskomplexität einhergeht. Um eine hohe Produktqualität zu gewährleisten, sind aufwendige Qualitätssicherungsmaßnahmen nötig, wobei automatisierte Erfassungsvorgänge dazu beitragen könnten, die Prozessqualität effizienter zu sichern (Beckenbauer/Fleisch/Strassner 2004, S. 46).

Eine weitere Motivation für den Einsatz von RFID bildet die Umsetzung der dezentralen Produktionssteuerung. Bei vollständiger Information und der Möglichkeit, ein vollständiges Modell der Wirklichkeit im IT-System abzubilden, ist die zentrale Koordination der dezentralen überlegen. In einem dynamischen Umfeld sind jedoch dezentrale Systeme flexibler. Während in der Produktion also langfristige Planungs- und Steuerungsaufgaben durch zentrale PPS-Systeme ausgeführt werden, könnten dezentrale Systeme auf Basis der RFID-Technologie fertigungsprozessnahe Aufgaben übernehmen.

Nutzenpotenziale

Wie bereits erwähnt, lassen sich mittels RFID in der industriellen Fertigung flexible Produktionskonzepte realisieren, wobei RFID-Systeme zur Überwachung des Produktionsfortschritts eingesetzt werden. Hierzu werden RFID-Transponder, die zur automatischen Identifikation an den jeweiligen Fertigungsstationen dienen, an den Montageträgern befestigt. Dies erleichtert die Bereitstellung der für das Produkt benötigten Konfigurationspläne (vgl. Beckenbauer/Fleisch/Strassner 2004, S. 46) und ermöglicht eine integrierte Qualitätskontrolle (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 15).

Die RFID-Transponder können lediglich die Identifikationsnummer eines Fertigungsauftrages oder die vollständigen Produktionsanweisungen enthalten (vgl. BITKOM 2005, S. 42). Bei der ersten Variante wird der Träger an den einzelnen Bearbeitungsstationen identifiziert und es wird durch die zentrale Fertigungssteuerung festgelegt, welcher Produktionsschritt zu erfolgen hat (zentrale Koordination). Bei der zweiten Variante werden sowohl alle relevanten Daten am Objekt transportiert als auch die Entscheidungskompetenz an das Objekt übertragen (dezentrale Koordination). Dadurch werden einerseits

zentrale Steuerungsinstanzen entlastet und andererseits die Anpassungsflexibilität erhöht (vgl. Strassner 2005, S. 111). Die „autarke Intelligenz“ (BITKOM 2005, S. 44) sorgt für eine maximale Produktionsflexibilität, die die Fertigung mehrerer Produktvarianten auf der Linie ermöglicht. Zudem lässt sich der Auslieferungszeitpunkt der Produkte genauer bestimmen.

Der Einsatz von RFID zur Produktionssteuerung ist vor allem in der Automobilbranche weit verbreitet (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 15). Beispielsweise nutzt die Porsche AG diese Technologie bei der Produktion des Geländewagens „Cayenne“ im Werk Leipzig (vgl. im Folgenden Strassner 2005, S. 102). In der Montagehalle wird jedes Fahrzeug anhand des RFID-Transponders am Montageträger erkannt. Die Identifikationsnummer wird an das PPS-System weitergeleitet, welches zum einen den Status von Fertigungsaufträgen aktualisiert und zum anderen die zur Bearbeitung notwendigen Daten, wie Stücklisten und Arbeitsschritte, an die Fertigungsstationen sendet. Diese Daten können von den Mitarbeitern an Terminals eingesehen werden. Hier erfolgt auch die Quittierung der Arbeitsschritte und eventuelle Erfassung von Störungsmeldungen. Die Fertigungsmaschinen sind ihrerseits mit Sensoren ausgestattet, die eine Protokollierung des Fertigungsablaufs ermöglichen. Auf diese Weise stehen jederzeit detaillierte und echtzeitnahe Informationen zum Produktionsfortschritt zur Verfügung, die Porsche zur schnellen Behebung von Störungen sowie zur Dokumentation der Produktkonfiguration verwendet (siehe folgende Abbildung 4-7).

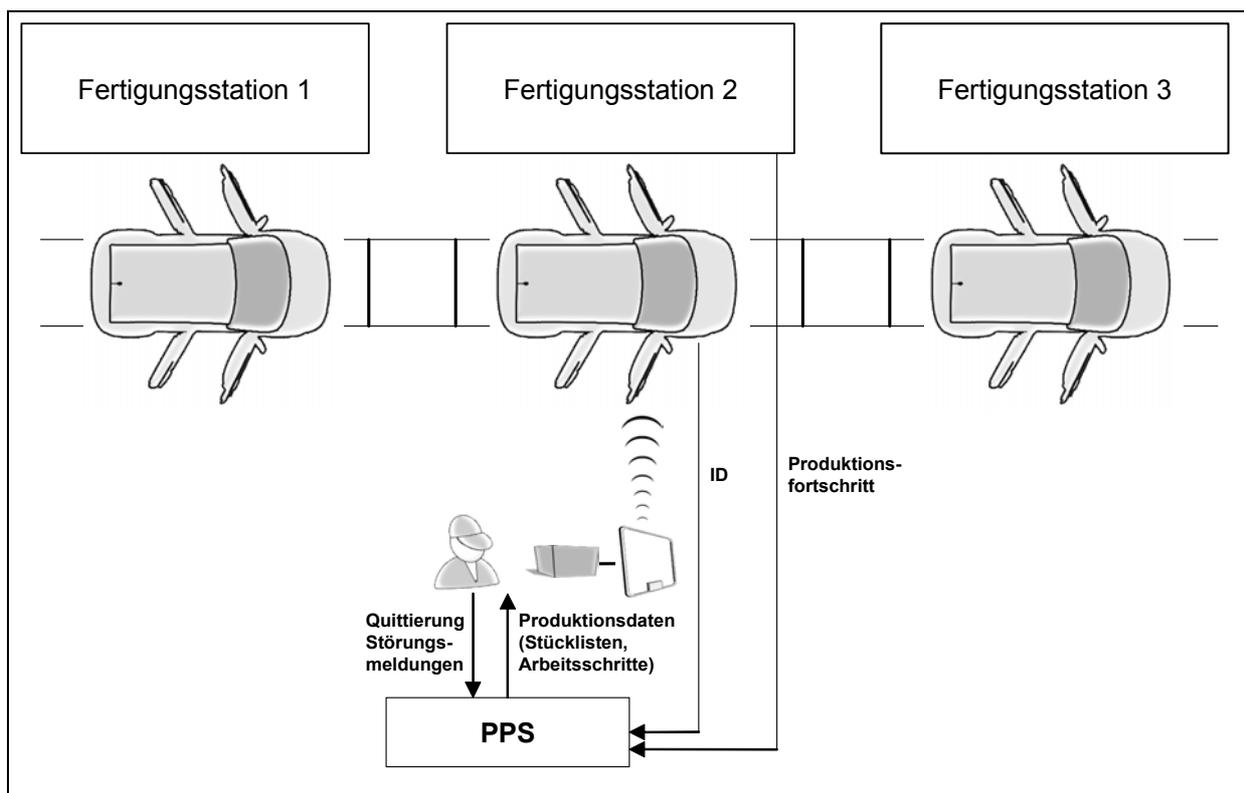


Abbildung 4-7: Einsatz von RFID in der Produktionssteuerung bei Porsche

Herausforderungen

Allgemein gelten für den Einsatz von RFID zur dezentralen Produktionssteuerung die gleichen Herausforderungen wie im Bereich des Asset Managements (vgl. Abschnitt 4.2). Neben den technischen Problemen gilt es hier jedoch zusätzlich die Vorteile gegenüber den Nachteilen dezentraler Steuerungskonzepte abzuwägen (siehe Abbildung 4-8, angelehnt an Weigelt 1994, S. 6):

Vorteile dezentraler Steuerungskonzepte	Nachteile dezentraler Steuerungskonzepte
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berechnungen (z.B. Ablaufpläne) und Auswertungen (z.B. Planbewertung) können innerhalb der einzelnen Teilbereiche schneller durchgeführt werden. ▪ Teilautonome Fertigungsbereiche ermöglichen die Steuerung mit regionalspezifisch adäquaten Zielbündeln und Planungsverfahren ▪ Dringende Entscheidungen können unter unmittelbarer Kenntnis der aktuellen Gegebenheiten dezentral am besten getroffen werden. ▪ Eine dezentrale Produktionssteuerung fügt sich optimal in schlanke Fertigungsorganisationen ein. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zwischen den Planungen der teilautonomen Fertigungsbereiche besteht erheblicher Koordinationsbedarf. ▪ Die Planungsziele der verschiedenen Teilbereiche müssen aufeinander abgestimmt werden. ▪ Planungsalgorithmen sind nur für Teilbereiche anwendbar und können so zu Suboptima führen. ▪ Die notwendige Kommunikation zwischen verschiedenen Bereichen erhöht die Systemkomplexität und erfordert komplexe Netzwerkstrukturen.

Abbildung 4-8: Vor- und Nachteile dezentraler Steuerungskonzepte

4.4 Point of Sale

Überblick

Der aus dem Marketing-Bereich stammende Begriff Point of Sale (POS, zu Deutsch Verkaufsort) bezeichnet aus der Konsumentensicht die Einkaufs- und aus der Anbietersicht die Verkaufsstelle. Auf seinem Weg durch die Wertschöpfungskette vollzieht das Produkt hier den Übergang von der Angebots- auf die Nachfrageseite und erst an diesem Ort kommt der Konsument das erste Mal mit RFID in Berührung, sofern Transponder auf Produktebene eingesetzt werden. Die RFID-Technologie bietet am POS Nutzenpotenziale sowohl für den Händler wie auch für den Konsumenten. Allerdings birgt der Einsatz auch Risiken in sich, die vor allem die Privatsphäre des Konsumenten betreffen.

Beweggründe für den Einsatz von RFID

Ein wesentliches Problem am POS stellen Out-of-stock Situationen dar, wobei der Anteil nicht verfügbarer Produkte im Einzelhandel zwischen drei und sieben Prozent liegt (vgl. Christ/Fleisch/Mattern 2003, S. 22).⁴⁶ Dabei sind laut Statistiken bei etwa einem Drittel der Out-of-stock Fälle im Lebensmittelgeschäft die Produkte zwar nicht auf der Verkaufsfläche, aber dennoch im Lager vorhanden (vgl. METRO Group 2004, S. 30). Die Nichtverfügbarkeit der Produkte in den Regalen zieht Konsequenzen sowohl für den Händler als auch für den Hersteller nach sich. Dem ersteren entgeht wo-

⁴⁶ Nach Schätzungen von Procter & Gamble sind es sogar 16 Prozent (vgl. Smith 2005, S. 18).

möglich der Umsatz, wenn der Kunde das Produkt in einem anderen Geschäft nachfragt. Der letztere muss zudem damit rechnen, dass der Kunde das Produkt eines Konkurrenten kauft und in Zukunft die Marke wechselt.

Ein weiteres Problem stellt der Schwund dar, der seine Hauptursache im Diebstahl hat und nach Schätzungen etwa zwei bis drei Prozent des Umsatzes ausmacht. Hier sind bestimmte Produkte, wie z.B. Rasierklingen, besonders begehrt.⁴⁷ Zudem liegt der Anteil unverkäuflicher Produkte (bspw. aufgrund von Beschädigung, Überschreitung der Mindesthaltbarkeit, saisonale Artikel, Auslaufmodelle) bei ca. einem Prozent des Umsatzes.

Eine weitere Motivation für den Einsatz von RFID am Point of Sale bilden intensive Bemühungen, Kundenbindung zu erreichen. Der verstärkte Trend zur Massenindividualisierung (vgl. Agarwal 2001, S. 16) erfordert dabei einen verbesserten Beratungsprozess, der möglichst individuell auf den einzelnen Kunden zugeschnitten sein sollte (1:1-Zusatzinformationen, vgl. Kull/Kamieth 2004, S. 13). Dies kann nur gewährleistet werden, wenn jeder Kunde mitsamt seiner Präferenzen – oder zumindest das Produkt, an dem er interessiert ist – identifiziert werden kann.

Auch die Vermeidung von langen Wartezeiten an den Kassen trägt zur Kundenbindung bei. In diesem Zusammenhang sind effizientere Bezahlssysteme nötig, die den Kassiervorgang beschleunigen und vereinfachen.

Nutzenpotenziale

Bisher wird bei der Bestandsführung am Point of Sale nicht zwischen den Zuständen „Ware im Lager“ und „Ware auf der Verkaufsfläche“ getrennt, da ein manuelles Scannen der Barcodes zu aufwendig erscheint. Mit Hilfe von RFID reicht die Installation eines Lesegerätes am Übergang zwischen dem Lager und der Verkaufsfläche, um eine Trennung in Front- und Backstore-Bereich vorzunehmen (vgl. Tellkamp/Quiede 2005, S. 147). Zur Vermeidung von Out-of-stock Situationen sind dann zwei Vorgehensweisen denkbar: Entweder werden Lesegeräte an den Regalen angebracht, die permanent den Regalbestand auslesen (sog. Smart Shelves), oder der Kaufvorgang an der Kasse löst die Aktualisierung des Bestands und eventuell eine Nachricht an einen Lagermitarbeiter aus, der das Regal wieder auffüllt (vgl. METRO Group 2004, S. 30).

Der Einsatz von Smart Shelves bietet zudem den Vorteil, dass entnommene und in ein falsches Regal zurückgelegte Produkte erfasst werden können. Somit ist eine automatische Inventur möglich. Dadurch wird auch die Anzahl unverkäuflicher Produkte reduziert, da gefährdete Artikel anhand von z.B. Mindesthaltbarkeitsdaten identifiziert und rechtzeitig entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können (vgl. Tellkamp/Haller 2005, S. 231). Ein zusätzlicher Diebstahlschutz entfällt, da Lesegeräte am Ausgang einen Alarm auslösen, wenn die Ware nicht an der Kasse bezahlt worden ist. RFID kann hier die Aufgabe der EAS übernehmen (vgl. Bald 2004, S. 99).

⁴⁷ Die Firma Gillette hat aus diesem Grund eine Diebstahlsicherung per RFID in einem Pilotprojekt bei Tesco installiert. Dabei wurde von jedem Kunden, der eine Rasierklingenpackung in die Hand nahm, ein Foto gemacht. Nach einem Boykott der Verbraucher stellte Gillette den Versuch allerdings ein (vgl. Kull/Kamieth 2004, S. 15).

Mittels RFID kann die Qualität des Beratungsprozesses gesteigert werden, indem der Kunde mit zusätzlichen Informationen zum Produkt versehen wird. Im Future Store der Metro AG im Rheinberg sind beispielsweise alle Einkaufswagen mit einem persönlichen Einkaufsberater (Personal Shopping Assistant) ausgestattet. Hierbei handelt es sich um einen kleinen Computer mit einem Touchscreen-Display und integriertem RFID-Lesegerät. Der Kunde kann sich nicht nur Produktinformationen und Preise anzeigen lassen sowie den Gesamtpreis des Einkaufs ermitteln, sondern wird in Verbindung mit einer Kundenkarte individuell erkannt und mit einer persönlichen Einkaufsliste, die seinen Präferenzen entspricht, versehen. Zudem wird der Kassiervorgang beschleunigt, weil der Kunde die Produkte nicht mehr aus dem Einkaufswagen herausnehmen muss.⁴⁸ In Zukunft sind in diesem Zusammenhang auch Selbst-Check-Out-Systeme denkbar, die kein Personal für den Kassiervorgang erfordern und somit zur Kostenreduktion beitragen.

Ein weiteres Beispiel visueller Unterstützung des Beratungsprozesses stellt der CD-Info-Point dar, wobei sich das vorgestellte Beispiel auf andere Konsumgüter übertragen lässt (vgl. im Folgenden Kubach 2003, S. 61 f.). Auch hier handelt es sich um einen Computer mit integriertem RFID-Lesegerät, welcher Informationen zu den verfügbaren Musik-CDs auf einem Touchscreen-Display bereitstellt. Um sich beispielsweise den Inhalt der CD anzuhören, muss diese nicht aus der Hülle entnommen werden. Der Kauf kann mittels einer Kundenkarte direkt an dem Info-Point getätigt werden. Neben dem Vorteil der stärkeren Kundenbindung, kann der Einzelhändler detailliertere Daten zur Analyse des Kundenverhaltens nutzen. So kann er z.B. in Erfahrung bringen, wie häufig eine bestimmte CD angehört und anschließend trotzdem zurückgelegt wird. In diesem Zusammenhang ist auch der Aufbau eines Recommendation Systems, der dem Kunden Vorschläge unterbreitet, welche CDs für ihn ebenfalls interessant sein könnten, denkbar.

Herausforderungen

„Solange keine wirklich wirksamen Datenschutz- und Sicherheitskontrollen existieren und nicht jeder problemlos gegen die Erfassung persönlicher Daten optieren kann, sollte der Verbraucher nicht direkt mit RFID in Berührung kommen.“ (Lee Tien in Fusaro 2005, S. 93)

Im Gegensatz zu der Mehrzahl der Nutzenpotenziale der RFID-Technologie im Supply Chain und Asset Management, können die meisten Potenziale am Point of Sale erst beim Produkt-Tagging realisiert werden. Hier sind jedoch zum einen die Leseraten aufgrund von äußeren Einflüssen (Metalle, Flüssigkeiten) noch nicht ausreichend⁴⁹, zum anderen müssen viel höhere Datenmengen⁵⁰ bewältigt werden. Außerdem ist wegen der noch zu hohen Transponder-Kosten derzeit ein Einsatz nur bei teuren Artikeln

⁴⁸ Wünscht der Kunde die Deaktivierung der RFID-Transponder nach dem Kaufvorgang, wird dieser Zeitvorteil allerdings dadurch relativiert, dass jedes Produkt einzeln auf den Deaktivierungsautomaten gestellt werden muss.

⁴⁹ In diesem Zusammenhang stellt sich die interessante Frage, ob RFID in Zukunft einen derart großen Einfluss auf die verwendete Verpackung nimmt, dass diese geändert wird bzw. es zu der Entwicklung neuer Verpackungsformen kommt.

⁵⁰ Das Einscannen eines 96-Bit EPC-Codes jede fünf Sekunden von 500.000 Produkten generiert 32.958 GB Daten pro Stunde (vgl. METRO Group 2004, S. 34).

denkbar. So könnte die Bekleidungsindustrie zu den Pionieren zählen, die RFID auf Produktebene einsetzen (vgl. Tellkamp/Quiede 2005, S. 159). Erfolgt die Kennzeichnung dagegen auf Palettenebene, sind die Nutzenpotenziale nur auf die Logistik bei der Anlieferung an das Geschäft beschränkt – ein Großteil der vorgestellten Vorteile lässt sich in diesem Fall nicht realisieren.

Die wohl größte Herausforderung liegt im Schutz der Privatsphäre des Kunden. Hier birgt der größte Vorteil der Technologie auch gleichzeitig das größte Risiko: „Perhaps nothing raises more privacy red flags than people’s concern about third-party access to their purchase and buying history” (Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 361). Datenschutzbedenken im Zusammenhang mit RFID resultieren daraus, dass die Technologie für den Menschen nicht sichtbar, also zugleich nicht wahrnehmbar ist, und das Auslesen der Daten vollkommen automatisch abläuft. Die Promiskuität der Transponder, die mit allen Lesegeräten gleicher Frequenz eine Liaison eingehen, stellt ein noch ungelöstes Problem dar. Einen Ausweg könnten geeignete Verschlüsselungsalgorithmen bzw. der Einsatz von Passwörtern bieten.

Ferner sollte die Kundenakzeptanz durch eine bessere Aufklärung sowie gesetzliche Regelungen gefördert werden.⁵¹ Denn RFID befindet sich immer noch auf einer frühen Innovationsstufe und der relativ geringe Reifegrad der Technologie ruft Kundenskepsis hervor („Die bestehende Technologie ist gut genug“ – im RFID-Fall bspw. der Barcode).⁵² Ein weiterer Grund für die geringe Kundenakzeptanz ist in parallelen Entwicklungen zu sehen. So sind Datenschutzbedenken nicht erst durch RFID entstanden (davor gab es bspw. Bedenken im Zusammenhang mit dem Abhören von Telefonaten oder dem Monitoring an öffentlichen Plätzen), haben aber durch RFID einen neuen Impuls erhalten. Skandale, wie die „geheime“ Einführung der RFID-Chipkarte in Metros Future Store (vgl. o.V. 2004), sind „Wasser auf die Mühlen“ der RFID-Antagonisten. Die bisherige Form der Einführung von RFID, bei der den Datenschutzbedürfnissen der Kunden und dem Kundennutzen nicht die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wurde, verstärkt diese Entwicklung.

⁵¹ Im Endeffekt “consumers will tell the industry where and how to use the technology – not the other way around” (Garfinkel/Rosenberg 2006, S. 364).

⁵² Die Skepsis ggü. neuen Technologien ist charakteristisch für viele Innovationen, Nutzenpotenziale werden am Anfang nicht erkannt. Bekannte Beispiele für die Durchsetzungsproblematik in der frühen Phase sind Computer (vs. Schreibmaschinen) und das Fernsehen (vs. Radio) (vgl. Sheffi 2004, S. 3).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, den Entwicklungsstand sowie betriebswirtschaftliche Anwendungsgebiete der RFID-Technologie darzustellen. Hierzu wurde zunächst dargelegt, dass RFID eine logische Weiterentwicklung im Bereich der automatischen Identifikationssysteme darstellt, um den Medienbruch zwischen der realen Welt und ihrem digitalen Abbild zu beseitigen. Eine anschließende historische Betrachtung der verschiedenen Entwicklungspfade hat deutlich gemacht, warum die Technologie erst über ein halbes Jahrhundert nach den ersten RFID-Anwendungen zu einem vieldiskutierten Thema wurde. Ein Vergleich mit anderen Auto-ID Systemen, allen voran mit dem derzeit führenden Barcode-System, hat die Überlegenheit der RFID-Technologie auf dem Gebiet der Identifikationssysteme verdeutlicht.

Im Anschluss wurden betriebswirtschaftliche Implikationen untersucht, wobei gezeigt werden konnte, dass RFID viel mehr leisten kann, als nur bestehende Prozesse zu automatisieren. Zwar befindet sich RFID zurzeit in einer Substituierungsphase, in der die Technologie meistens nur als Ersatz für die etablierten Identifikationssysteme betrachtet wird (vgl. Lee/Rice Jr/Murphy-Hoye 2005, S. 21). Die größten Potenziale entwickelt die Technologie jedoch, wenn Prozesse reorganisiert werden: „While it seems that RFID systems will eventually replace the barcode as the main tool for tracking products and managing inventory, the most intriguing possibilities lie in the structural changes which the technology may bring, possibly in combination with other emerging technologies” (Sheffi 2004, S. 9). Welche Anwendungen anschließend möglich sind, wurde an vier ausgewählten Einsatzszenarien verdeutlicht. Es wurde jeweils auch aufgezeigt, welche derzeitigen Probleme und Herausforderungen bewältigt werden müssen.

Die Entwicklungsperspektiven werden vor allem von der Technologie-, Standardisierungs- und Preisentwicklung sowie von Datenschutzaspekten und gesellschaftlichem Diskurs bestimmt (vgl. BSI 2004, S. 19). So kann die allgemeine Einführung von RFID an der mangelnden Kundenakzeptanz scheitern. Die Technologie muss besser kommuniziert werden, damit dem Kunden die (häufig unberechtigten) Ängste genommen werden. Die Präsenz auf der CeBIT 2006, die vor allem auf die Initiative des Handelsunternehmens Metro zurückgeht, ist ein Schritt in die richtige Richtung (vgl. Bönsch 2006, S. 28). Zudem sind einheitliche Standards erforderlich, um die Adaption von RFID schneller voranzutreiben. Hier ist EPCglobal mit den Standardisierungsbemühungen auf einem guten Wege.

Weitergehende Konzepte, wie der auf Echtzeitinformationen basierende Paradigmenwechsel im Management, sind dagegen gegenwärtig und in naher Zukunft für viele Unternehmen kein Thema. Denn die Mehrzahl der Unternehmen hat bereits Probleme, mit den derzeit meist vergangenheitsbezogenen Daten effizient umzugehen (vgl. METRO Group 2004, S. 33). Eine Infrastruktur, die Daten in Echtzeit sammelt, weiterleitet und bearbeitet ist daher für die meisten Unternehmen außer Reichweite.

Obwohl die Prognosen von Analysten sehr gute Entwicklungsperspektiven aufweisen, herrscht in der Literatur noch Uneinigkeit darüber, welche Bedeutung RFID letztendlich in der Zukunft erlangen wird (vgl. bspw. Sheffi 2004, S. 6). Allerdings ist man sich einig darüber, dass die RFID-Technologie im Laufe der Zeit leistungsfähiger wird und sich dementsprechend neue Anwendungsbereiche ergeben werden (vgl. bspw. Fusaro 2005, S. 94).

Für die Forschung ergeben sich zukünftig folgende Fragestellungen (angelehnt an Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 291):

- An welchen Stellen sollten in Wertschöpfungsketten Datenerfassungspunkte eingerichtet werden? Bei welchem Grad der Informationsversorgung kann die Wirtschaftlichkeit sichergestellt werden?
- Wo sollten Daten hinterlegt werden? Welche Daten sollten objektbegleitend transportiert werden, welche Informationen dagegen in zentralen Datenbanken abgelegt werden?
- Wie kann Datensicherheit gewährleistet werden? Wem gehören die Informationen auf dem Transponder?
- Wie können die Kosten der RFID-Implementierung gerecht auf die Akteure der Wertschöpfungskette verteilt werden?
- Welche Komplementärinnovationen sind noch nötig, um die Vision des Echtzeitunternehmens zu verwirklichen?
- Durch welche Maßnahmen kann die Akzeptanz der RFID-Technologie beim Endkunden gesteigert werden?

Literaturverzeichnis

- Agarwal 2001: Agarwal, V.: Assessing the benefits of Auto-ID Technology in the Consumer Goods Industry, Cambridge 2001.
- Alicke 2003: Alicke, K.: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken: unternehmensübergreifendes Supply Chain Management, Berlin [u.a.] 2003.
- Arndt 2004: Arndt, H.: Supply Chain Management: Optimierung logistischer Prozesse, Wiesbaden 2004.
- Auto-ID Center 2003: Auto-ID Center: Auto-ID Savant Specification 1.0,
http://www.epcglobalinc.org/about/AutoID_Archive/documents/6_auto_id_savant-1_0.pdf, Abruf am 02.03.2006.
- BITKOM 2005: BITKOM: White Paper RFID, Berlin 2005.
- Bald 2004: Bald, C.: RFID in der Wertschöpfungskette von Konsumgütern. In: Handel im Fokus 56 (2004) 2, S. 90-104.
- Barcodat 2004: Barcodat: 2D-Code-Fibel,
http://www.kompetenzzentrum-autoid.de/contents/pdfs/2d_code_fibel_2004.pdf, Abruf am 09.01.2006.
- Beckenbauer/Fleisch/Strassner 2004: Beckenbauer, B./Fleisch, E./Strassner, M.: RFID Management Guide. In: IM 19 (2004) 4, S. 43-50.
- Bönsch 2006: Bönsch, R.: RFID im Rampenlicht. In: VDI Nachrichten (2006) 11, S. 28.
- Brock 2001a: Brock, D.: The Electronic Product Code, Cambridge 2001.
- Brock 2001b: Brock, D.: The Physical Markup Language, Cambridge 2001.
- BSI 2004: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI): Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen: Trends und Entwicklungen in Technologien, Anwendungen und Sicherheit, Ingelheim 2004.
- Busch 2002: Busch, A.: Integriertes Supply Chain Management: Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse, Wiesbaden 2002.
- Christ/Fleisch/Mattern 2003: Christ, O./Fleisch, E./Mattern, F.: M-Lab: The Mobile and Ubiquitous Computing Lab - Phase 2, St. Gallen/Zürich 2003.
- Corsten 1998: Corsten, H.: Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, 7. Aufl., München [u.a.] 1998.
- Corsten/Gabriel 2002: Corsten, D./Gabriel, C.: Supply Chain Management erfolgreich umsetzen: Grundlagen, Realisierung und Fallstudien, Berlin [u.a.] 2002.
- Finkenzeller 2002: Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten, 3. Aufl., München [u.a.] 2002.

- Fleisch/Dierkes 2003: Fleisch, E./Dierkes, M.: Ubiquitous Computing aus betriebswirtschaftlicher Sicht - Ubiquitous Computing, Pervasive Computing, Anwendungen, Integration. In: Wirtschaftsinformatik 45 (2003) 6, S. 611-620.
- Fleisch/Mattern/Billinger 2003: Fleisch, E./Mattern, F./Billinger, S.: Betriebswirtschaftliche Applikationen des Ubiquitous Computing. In: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik 229 (2003) 2, S. 5-15.
- Flörkemeier 2005: Flörkemeier, C.: EPC-Technologie - vom Auto-ID Center zu EPCglobal. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 87-100.
- Foster 1986: Foster, R. N.: Innovation: die technologische Offensive, Wiesbaden 1986.
- Fusaro 2005: Fusaro, R. A.: Die Spur der Kunden. In: Harvard Business manager (2005) 3, S. 84-95.
- Füßler/Springob 2006: Füßler, A./Springob, K.: Gen 2 - die Zukunft der Funktechnik. In: Computerwoche (2006) 7, S. 34-35.
- Garber 2005: Garber, T.: RFID-Technologie goldene Zukunft oder nur ein Marketing-Hype? In: Absatzwirtschaft (2005) 2, S. 30-33.
- Garfinkel/Rosenberg 2006: Garfinkel, S./Rosenberg, B.: RFID: applications, security, and privacy, Upper Saddle River, NJ [u.a.] 2006.
- Gerhäuser 1999: Gerhäuser, H.: Die digitale Revolution, In: Warnecke, H.: Projekt Zukunft - Die Megatrends in Wissenschaft und Technik, Köln 1999, S. 32-37.
- Gerhäuser/Pflaum 2004: Gerhäuser, H./Pflaum, A.: RFID verändert die Architektur logistischer Informationssysteme: vom Identifikationsmedium zu selbststeuernden Transportobjekten. In: Entwicklungspfade und Meilensteine moderner Logistik: Skizzen einer Roadmap, Wiesbaden 2004, S. 267-294.
- Gronau 2004: Gronau, N.: Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management: Architektur und Funktionen, München [u.a.] 2004.
- Heinrich 2005a: Heinrich, C. E.: RFID and beyond: growing your business through real world awareness, Indianapolis 2005.
- Heinrich 2005b: Heinrich, C. E.: Die gesamte Logistikkette wird in Bewegung gesetzt. In: SAP Info (2005) 127, S. 12-16.
- Heinrich 2006: Heinrich, C. E.: Real World Awareness (RWA): Nutzen von RFID und anderen RWA-Technologien. In: Herausforderungen in der Wirtschaftsinformatik 2006, S. 157-161.
- Hiemisch 2005: Hiemisch, C.: Radio Frequency Identification - Wo sich RFID heute schon lohnen kann. In: It-Fokus (2005) 3-4, S. 14-17.
- Hoitsch 1993: Hoitsch, H.: Produktionswirtschaft: Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre, 2. Aufl., München 1993.
- Kehrwald 2004: Kehrwald, M.: RFID - Intelligenzzuwachs für die Supply Chain? In: IM 19 (2004) 4, S. 16-19.
- Kern 2006: Kern, C.: Anwendung von RFID-Systemen, Berlin [u.a.] 2006.
- Kilb 2005: Kilb, O.: Funkidentifikation überwindet Grenzen. In: Computerwoche (2005) 45, S. 26.

- Koh/Staake 2005: Koh, R./Staake, T.: Nutzen von RFID zur Sicherung der Supply Chain der Pharmaindustrie. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 161-175.
- Kubach 2003: Kubach, U.: Integration von Smart Items in Enterprise-Software-Systeme. In: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik 229 (2003) 2, S. 56-67.
- Kuhn 1973: Kuhn, T. S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt am Main 1973.
- Kuhn/Hellingrath 2002: Kuhn, A./Hellingrath, B.: Supply Chain Management: optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette, Berlin [u.a.] 2002.
- Kull/Kamieth 2004: Kull, S./Kamieth, W.: RFID, Segen oder Fluch? AB Nr. 2, Wilhelmshaven 2004.
- Lackner/Riedel 2004: Lackner, U./Riedel, U.: RFID und die (R)Evolution in der Supply Chain. In: IM 19 (2004) 4, S. 12-15.
- Lampe/Flörkemeier/Haller 2005: Lampe, M./Flörkemeier, C./Haller, S.: Einführung in die RFID-Technologie. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 69-86.
- Landt 2005: Landt, J.: The history of RFID. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE potentials 24 (2005) 4, S. 8-11.
- Lange 2004: Lange, V.: RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION - Perspektiven für die Nutzung der RFID-Technologie in Supply Chain Management und Logistik. In: IM 19 (2004) 4, S. 20-26.
- Lange 2005: Lange, V.: RFID: Anspruch und Wirklichkeit. In: Ident Jahrbuch 2005 (2005) S. 64-67.
- Lange 2006: Lange, B.: Aufbruchstimmung: RFID-Systeme in Handel und Logistik. In: ix - Magazin für professionelle Informationstechnik (2006) 3, S. 88-92.
- Lee/Rice Jr/Murphy-Hoye 2005: Lee, H./Rice Jr, J. B./Murphy-Hoye, M.: A Real-World Look at RFID. In: Supply chain management review 9 (2005) 5, S. 18-27.
- METRO Group 2004: METRO Group: RFID: Uncovering the Value, Düsseldorf 2004.
- Machemer 2004: Machemer, I.: RFID - Die Vernetzung des Alltags. In: IM 19 (2004) 4, S. 27-30.
- Maselli 2003: Maselli, J.: Allied Business Intelligence: RFID Market Poised for Growth, www.rfidjournal.com/article/view/506, Abruf am 23.02.2006.
- Mattern 2005: Mattern, F.: Die technische Basis für das Internet der Dinge. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 39-66.
- Mau 2003: Mau, M.: Supply Chain Management: Prozessoptimierung entlang der Wertschöpfungskette, Weinheim 2003.
- McFarlane/Sheffi 2003: McFarlane, D./Sheffi, Y.: The Impact of Automatic Identification on Supply Chain Operations. In: The international journal of logistics management 14 (2003) 1, S. 1-18.
- Meyer 2005: Meyer, J.: Wie RFID funktioniert - und wie nicht. In: Computerwoche 25 (2005) 25, S. 22-23.
- Moore 1965: Moore, G.: Cramming more components onto integrated circuits. In: Electronics (1965) 38, S. 114-117.

- o.V. 2004: o.V.: RFID beim Einkaufen: Danke, Katherine,
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/print/44237>, Abruf am 04.11.2005.
- o.V. 2005: o.V.: Mit RFID verschiffen sich Autos leichter. In: Computerwoche (2005) 37, S. 37.
- Overmeyer/Höhn 2004: Overmeyer, L./Höhn, R.: Logistikdatenerfassung und -verarbeitung in der Produktion auf Basis von intelligenten Transpondern, St. Gallen 2004.
- Penttilä/Engels/Kivikoski 2004: Penttilä, K./Engels, D./Kivikoski, M.: Radio Frequency Identification Systems in Supply Chain Management. In: International journal of robotics automation 19 (2004) 3, S. 143-151.
- Pflaum 2001: Pflaum, A.: Transpondertechnologie und Supply-Chain-Management: Elektronische Etiketten - bessere Identifikationstechnologie in logistischen Systemen? Hamburg 2001.
- Pflaum/von der Grün/Bernhard 2004: Pflaum, A./von der Grün, T./Bernhard, J.: Verschmelzung von Lokalisierungs- und Identifikationstechnologien, 2004.
- Picot/Hess 2005: Picot, A./Hess, T.: Geschäftsprozessmanagement im Echtzeitunternehmen. In: Real-Time Enterprise in der Praxis: Fakten und Ausblick, Berlin [u.a.] 2005, S. 31-48.
- Ramachandra 2005: Ramachandra, G.: RFID Tagging - Is the time ripe for Retail early adopters? http://www.infosys.com/rfid/RFID_Tagging.pdf, Abruf am 15.02.2006.
- Sarma 2001: Sarma, S.: Towards the 5 Cent Tag, Cambridge 2001.
- Schumann/Diekmann 2005: Schumann, M./Diekmann, T.: Objektbegleitender Datentransport entlang der industriellen Wertschöpfungskette - Möglichkeiten und Grenzen, Göttingen 2005.
- Senger/Österle 2004: Senger, E./Österle, H.: Kooperationsprozesse und Echtzeitmanagement. In: Stanoevska-Slabeva, K.: The Digital Economy - Anspruch und Wirklichkeit, Berlin [u.a.] 2004, S. 215-228.
- Shapiro/Varian 1999: Shapiro, C./Varian, H. R.: Information rules: a strategic guide to the network economy, Boston 1999.
- Sheffi 2004: Sheffi, Y.: RFID and the Innovation Cycle. In: The international journal of logistics management 15 (2004) 1, S. 1-10.
- Shepard 2005: Shepard, S.: Radio frequency identification, New York [u.a.] 2005.
- Smith 2005: Smith, A. D.: Exploring radio frequency identification technology and its impact on business systems. In: Information management computer security 13 (2005) 1, S. 16-28.
- Smith/Konsynski 2003: Smith, H./Konsynski, B.: Developments in Practice X: Radio Frequency Identification (RFID) - An Internet for Physical Objects. In: Communications of the Association for Information Systems 12 (2003) 19, S. 301-311.
- Strassner 2005: Strassner, M.: RFID im Supply Chain Management: Auswirkungen und Handlungsempfehlungen am Beispiel der Automobilindustrie, Wiesbaden 2005.
- Strassner/Fleisch 2005: Strassner, M./Fleisch, E.: Innovationspotenzial von RFID für das Supply-Chain-Management. In: Wirtschaftsinformatik 47 (2005) 1, S. 45-56.

- Strassner/Lampe/Leutbecher 2005: Strassner, M./Lampe, M./Leutbecher, U.: Werkzeugmanagement in der Flugzeugwartung - Entwicklung eines Demonstrators mit ERP-Anbindung. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 261-277.
- Strassner/Plenge/Stroh 2005: Strassner, M./Plenge, C./Stroh, S.: Potenziale der RFID-Technologie für das Supply Chain Management in der Automobilindustrie. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 177-196.
- Tellkamp/Haller 2005: Tellkamp, C./Haller, S.: Automatische Produktidentifikation in der Supply Chain des Einzelhandels. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 225-249.
- Tellkamp/Quiede 2005: Tellkamp, C./Quiede, U.: Einsatz von RFID in der Bekleidungsindustrie - Ergebnisse eines Pilotprojekts von Kaufhof und Gerry Weber. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 143-160.
- Thiesse 2005: Thiesse, F.: Architektur und Integration von RFID-Systemen. In: Fleisch, E./Mattern, F.: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u.a.] 2005, S. 101-117.
- Thorndike/Kasch 2004: Thorndike, A./Kasch, L.: RFID in Handel und Konsumgüterindustrie: Potenziale, Herausforderungen, Chancen. In: IM 19 (2004) 4, S. 31-36.
- Vahs/Burmester 2002: Vahs, D./Burmester, R.: Innovationsmanagement: von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung, 2. Aufl., Stuttgart 2002.
- Weigelt 1994: Weigelt, M.: Dezentrale Produktionssteuerung mit Agenten-Systemen: Entwicklung neuer Verfahren und Vergleich mit zentraler Lenkung, Wiesbaden 1994.
- Wildemann 2001: Wildemann, H.: Das Just-in-time-Konzept: Produktion und Zulieferung auf Abruf, 5. Aufl., München 2001.
- Witzki 2002: Witzki, A.: Transponder in der Logistik. In: Funkschau (2002) 7, S. 16-17.
- Wöhrle 2005: Wöhrle, T.: Chargenrein in den Handel. In: LOG.Punkt (2005) 4, S. 32-33.
- Zerdick et al. 2001: Zerdick, A./Picot, A./Schrape, K./Artopé, A./Goldhammer, K./Lange, U. T./Vierkant, E./López-Escobar, E./Silverstone, R.: Die Internet-Ökonomie: Strategien für die digitale Wirtschaft, 3. Aufl., Berlin [u.a.] 2001.