



Göttinger Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: J. Biethahn · M. Schumann

Adam Melski

Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken

RFID-induzierte Veränderungen, Gestaltungsmöglichkeiten und Handlungsempfehlungen

Band 62



Cuvillier Verlag Göttingen

Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Göttinger Wirtschaftsinformatik
Herausgeber: J. Biethahn · M. Schumann

Band 62

Adam Melski

Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken

**RFID-induzierte Veränderungen, Gestaltungsmöglichkeiten
und Handlungsempfehlungen**

CUVILLIER VERLAG

Herausgeber

Prof. Dr. J. Biethahn

Prof. Dr. M. Schumann

Georg-August-Universität
Wirtschaftsinformatik
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2009
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2009
ISBN 978-3-86955-041-1

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2009
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2009
Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 978-3-86955-041-1

Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken

**RFID-induzierte Veränderungen, Gestaltungsmöglichkeiten
und Handlungsempfehlungen**

Dissertation

zur Erlangung des wissenschaftlichen Doktorgrades der
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Dipl.-Wirtsch.-Inf. Adam Melski

aus Olawa (Polen)

Göttingen, 2009

Erstgutachter: Prof. Dr. Matthias Schumann

Zweitgutachter: Prof. Dr. Lutz M. Kolbe

Tag der mündlichen Prüfung: 26.06.2009

Geleitwort

Der RFID-Technologie wurde in den letzten Jahren sowohl in der Theorie als auch in der Praxis viel Aufmerksamkeit geschenkt. Prognosen zufolge soll sich RFID in den kommenden fünf bis zehn Jahren als automatisches Identifikationssystem auf der Ladungsträger- und insbesondere Produktebene etablieren. Anfangs zumeist unternehmensintern in Pilotprojekten getestet, wird RFID dabei bereits heutzutage zunehmend über Unternehmensgrenzen hinweg zur Erhöhung der Prozesseffizienz in Logistiknetzwerken eingesetzt. Diese Entwicklung ist zum einen auf die Mandate großer Handelskonzerne an ihre Lieferanten, wie hierzulande von Metro oder in den USA von Wal-Mart ausgesprochen, zurückzuführen. Zum anderen kommt es infolge der fallenden Technologiepreise und verstärkten Standardisierungsbemühungen zu einem Anstieg der unternehmensübergreifenden RFID-Projekte.

Von RFID-Anwendern wird dabei das Datenmanagement als eine große Herausforderung identifiziert. Es stellt sich vor allem die Frage, wie die großen Datenmengen in RFID-gestützten Logistiknetzwerken verwaltet werden sollen. Welche Daten sollten auf dem Transponder abgelegt werden, um damit eine objektbegleitende Datenspeicherung zu ermöglichen? Wie können aus den Daten entscheidungsrelevante Informationen gewonnen werden? Und schließlich: Welchen Beitrag zur Visibilitätserhöhung können die auf RFID-Daten basierenden Informationen leisten?

Die Dissertationsschrift von Herrn Melski setzt an dieser Ausgangssituation an und gehört somit zu den ersten wissenschaftlichen Arbeiten, die Fragen des Datenmanagements in RFID-Systemen aufgreifen. Der Autor analysiert zunächst die allgemeinen Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf das Datenmanagement und leitet daraus relevante Ziele und Fragestellungen ab. Anschließend widmet er sich Aspekten aus den Bereichen der Datenorganisation, -aufbereitung und -verwendung. Neben den wissenschaftlichen Ergebnissen, die im Wesentlichen in der Entwicklung eines Bezugsrahmens zur objektbegleitenden Datenspeicherung und der Erklärung des Beitrags von RFID-Daten zur Erhöhung der Visibilität in Logistiknetzwerken anhand eines analytischen Modells liegen, werden Handlungsempfehlungen für die betriebswirtschaftliche Praxis abgeleitet.

Insgesamt wird eine Arbeit vorgelegt, die sich durch eine innovative Problemstellung auszeichnet und die wichtige Anhaltspunkte für das Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken liefert. Ich bin der Überzeugung, dass sie eine positive Aufnahme in Wissenschaft und Praxis finden wird.

Prof. Dr. Matthias Schumann

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wirtschaftsinformatik an der Professur für Anwendungssysteme und E-Business. Sie wurde im Juni 2009 von der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen als Dissertation angenommen. Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich bei meinem Forschungsvorhaben unterstützt und letztendlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Matthias Schumann danke ich für die wissenschaftliche Betreuung und die gewährte Gestaltungsfreiheit. Mein Dank gebührt weiterhin Herrn Prof. Dr. Lutz Kolbe für die Übernahme des Zweitgutachtens. Herr Prof. Dr. Wolfgang König hat freundlicherweise die Rolle des Drittprüfers im Rahmen meiner Disputation angenommen, wofür ich mich herzlich bedanke.

Des Weiteren bin ich meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut zum Dank verpflichtet, insbesondere für die wertvollen Hinweise für die vorliegende Arbeit. Die angenehme Arbeitsatmosphäre und der Zusammenhalt waren einmalig und hinterlassen bleibende Erinnerungen.

Meinen Eltern gebührt ein ganz besonderer Dank für ihre stets verlässliche Unterstützung und ihr großes Interesse an meiner persönlichen und beruflichen Entwicklung. Ganz besonders danke ich schließlich meiner großen Liebe Aleksandra für ihre moralische Unterstützung und den Halt, den sie mir in der schwierigen Endphase des Dissertationsvorhabens gegeben hat.

Göttingen, im Juli 2009

Adam Melski

Inhaltsüberblick

Inhaltsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einführung	1
2 Grundlagen	12
3 Charakterisierung des RFID-Datenmanagements	43
4 Objektbegleitende Datenspeicherung in Logistiknetzwerken.....	59
5 Aufbereitung und Verwendung von RFID-Daten in Logistiknetzwerken.....	119
6 Fazit und Ausblick.....	208
Literaturverzeichnis	213
Anhang	244

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einführung	1
1.1 Problemstellung und Handlungsbedarf	1
1.2 Zielsetzung und Forschungskonzeption	4
1.3 Gang der Untersuchung	10
2 Grundlagen	12
2.1 RFID.....	12
2.1.1 Evolution der automatischen Identifikation.....	12
2.1.2 Historische Entwicklung auf dem Gebiet der RFID-Technologie	15
2.1.3 Aufbau und Funktionsweise	18
2.1.4 Rolle in IT-Konzepten.....	24
2.2 Logistiknetzwerke	30
2.2.1 Definitorische Grundlagen.....	30
2.2.2 SCOR-Modell	33
2.2.3 Herausforderungen für das Management von Logistiknetzwerken.....	35
2.2.4 Einsatz von RFID in Logistiknetzwerken.....	36
2.3 Datenmanagement	39
3 Charakterisierung des RFID-Datenmanagements	43
3.1 Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf das Datenmanagement	43
3.1.1 Herausforderungen	43
3.1.2 Chancen	46
3.2 Ableitung von Zielen und Fragestellungen im Bereich des RFID-Datenmanagements.....	48
3.2.1 Datenerfassung	49
3.2.2 Datenorganisation	51
3.2.3 Datenaufbereitung und Datenverwendung	52

3.2.4	Datensicherheit und Datenschutz	54
3.2.5	Zusammenfassung des Forschungsstands und Implikationen	57
4	Objektbegleitende Datenspeicherung in Logistiknetzwerken.....	59
4.1	Datenorganisationsformen	59
4.1.1	Systematisierung der Daten in RFID-Systemen	59
4.1.2	Data-on-Network	60
4.1.2.1	Zentrales Data-on-Network.....	62
4.1.2.2	Dezentrales Data-on-Network.....	67
4.1.3	Data-on-Tag	67
4.1.4	Grundlegende Beurteilung	69
4.2	Herleitung des konzeptuellen Modells zur objektbegleitenden Datenspeicherung.....	71
4.2.1	Konzeptionelle Vorüberlegungen und Formulierung eines ersten Bezugsrahmens.....	71
4.2.2	Bezugspunkte aus Theorie und Praxis	72
4.2.2.1	Hinweise aus der relevanten Literatur	72
4.2.2.1.1	Einflussfaktoren	72
4.2.2.1.2	Nutzenpotenziale.....	74
4.2.2.2	Hinweise aus Fallstudien	75
4.2.2.2.1	Einleitende Bemerkungen zur Auswahl der Fallstudien.....	75
4.2.2.2.2	Unterhaltungselektronik: Hewlett-Packard	76
4.2.2.2.3	Bekleidungsindustrie: Lemmi Fashion.....	77
4.2.2.2.4	Lebensmittelhandel: REWE Group	78
4.2.2.2.5	Forstwirtschaft: Cambium Forstbetriebe	78
4.2.2.2.6	Luffahrtindustrie I: Airbus.....	79
4.2.2.2.7	Luffahrtindustrie II: Airbus / Boeing	80
4.2.2.2.8	Automobilbranche: Volkswagen	81
4.2.2.2.9	Lebensmittelhandel: Apo Conerpo / Nordiconad.....	81
4.2.2.2.10	Öl- und Gasindustrie: BP	82
4.2.2.2.11	Interpretation der Ergebnisse	82
4.2.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse und Anpassung des Bezugsrahmens	87
4.3	Empirische Befunde zur objektbegleitenden Datenspeicherung.....	88
4.3.1	Charakterisierung der Untersuchung	88
4.3.1.1	Zielsetzung.....	88
4.3.1.2	Ablauf und Methoden	89
4.3.2	Ableitung der Hypothesen.....	91
4.3.3	Methodik und Vorgehensweise	94
4.3.4	Empirische Analyse.....	97
4.3.4.1	Deskriptive Statistik.....	97

4.3.4.2	Prüfung der Hypothesen	101
4.3.4.3	Evaluation der Nutzenpotenziale	104
4.3.4.4	Interpretation der Ergebnisse.....	105
4.4	Analyse der Einflussfaktoren auf die Wahl der objektbegleitenden Datenspeicherung.....	107
4.4.1	Interpretative Structural Modeling	107
4.4.2	Formulierung des Modells	109
4.4.3	Interpretation der Ergebnisse	116
4.5	Implikationen der Untersuchung.....	117
5	Aufbereitung und Verwendung von RFID-Daten in Logistiknetzwerken.....	119
5.1	Annahmen und zugrundeliegendes Modell	119
5.2	Aufbereitung von RFID-Daten	124
5.2.1	Herausforderungen	124
5.2.2	Prinzipien.....	127
5.2.3	Vorgehensmodell zur Datenaufbereitung.....	130
5.2.3.1	Konzeptionelle Vorüberlegungen und Modelldarstellung	131
5.2.3.2	Phase 1: Datenbereinigung	133
5.2.3.2.1	Datenfilterung	134
5.2.3.2.2	Datenkomprimierung	143
5.2.3.3	Phase 2: Datenaggregation und -auswertung	146
5.2.3.3.1	Kontextdaten und Regeln	147
5.2.3.3.2	Complex Event Processing	150
5.2.3.4	Phase 3: Datenweiterleitung und -verwendung	154
5.2.3.4.1	Operative Systeme	154
5.2.3.4.2	Analytische Systeme	157
5.2.4	Beurteilung des Vorgehensmodells	160
5.3	Beitrag von RFID-basierten Informationen zur Visibilitätserhöhung in Logistiknetzwerken	163
5.3.1	Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf die Datengranularität	163
5.3.2	Visibilität im logistischen Kontext	166
5.3.3	Kosten-Nutzen-Modell.....	169
5.3.3.1	Konzeptionelle Vorüberlegungen.....	169
5.3.3.1.1	Modellannahmen	169
5.3.3.1.2	Wirkungs- und Prozessmodell.....	173
5.3.3.2	Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes	176
5.3.3.2.1	Herausforderungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung in RFID-Projekten.....	176
5.3.3.2.2	Quantifizierung des RFID-Nutzens.....	177
5.3.3.2.3	Systematisierung der Kosten und Nutzenpotenziale	179

5.3.3.3	Analyse der RFID-Wirkungen im Bereich der Kosten.....	180
5.3.3.3.1	Einmalige Investitionskosten	180
5.3.3.3.2	Wiederkehrende RFID-Kosten	181
5.3.3.4	Analyse der RFID-Wirkungen im Bereich der Nutzenpotenziale.....	182
5.3.3.4.1	Beschaffung.....	182
5.3.3.4.2	Auslieferung.....	184
5.3.3.4.3	Inventur.....	185
5.3.3.4.4	Schwund.....	186
5.3.3.4.5	Kapitalbindung.....	187
5.3.3.4.6	Out-of-Stock-Situationen	189
5.3.3.4.7	Zuordnung der Nutzenpotenziale zu Visibilitatsstufen	191
5.3.3.5	Anwendungsfall.....	193
5.3.3.5.1	Modellparameter.....	193
5.3.3.5.2	Analyse.....	198
5.3.4	Implikationen der Untersuchung und Handlungsempfehlungen	205
6	Fazit und Ausblick.....	208
	Literaturverzeichnis	213
	Anhang	244

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung der Erwartungshaltung und Technologiereife im RFID-Umfeld	2
Abbildung 1-3: Einordnung der Forschungsziele anhand der Theorie- und Technologieebene.....	7
Abbildung 1-4: Einordnung der verwendeten Methoden anhand des Methodenprofils der Wirtschaftsinformatik	10
Abbildung 1-5: Aufbau der Arbeit	11
Abbildung 2-1: Medienbruch Dateneingabe	13
Abbildung 2-2: Barcode-Technologie adressiert nur die Fehleranfälligkeit.....	13
Abbildung 2-3: RFID schließt die Lücke zwischen der realen Welt und ihrem digitalen Abbild	14
Abbildung 2-4: Meilensteine der RFID-Entwicklung	18
Abbildung 2-5: Aufbau und Funktionsweise eines RFID-Systems.....	19
Abbildung 2-6: Aufbau eines passiven RFID-Transponders	20
Abbildung 2-7: RFID-Frequenzbereiche und Standards	24
Abbildung 2-8: S-Kurven der Barcode- und RFID-Technologie	26
Abbildung 2-9: Struktur eines Logistiknetzwerks.....	32
Abbildung 2-10: Zuordnung der Produktart zum Logistiknetzwerk	33
Abbildung 2-11: SCOR-Modell	34
Abbildung 2-12: Nachfrageschwankungen durch den Bullwhip-Effekt.....	36
Abbildung 2-13: Data Evolution Life Cycle	41
Abbildung 2-14: Rolle der Daten in der Generierung von Entscheidungen	41
Abbildung 3-1: Wertverlust bei verzögerten Handlungen aufgrund von Latenzzeiten	48
Abbildung 3-2: Antikollisionsverfahren	51
Abbildung 3-3: Dynamic Relationship ER Model.....	54
Abbildung 3-4: Zusammenfassung der Fragestellungen im Bereich des RFID- Datenmanagements	58
Abbildung 4-1: Datenorganisationsformen im Bereich Data-on-Network.....	62
Abbildung 4-2: Zentrales Data-on-Network (dominantes Unternehmen): Schematische Darstellung	64
Abbildung 4-3: Historische Entwicklungen auf dem Gebiet der Logistik-Dienstleistung	65
Abbildung 4-4: Zentrales Data-on-Network (Dienstleister): Schematische Darstellung.....	66
Abbildung 4-5: Dezentrales Data-on-Network: Schematische Darstellung.....	67
Abbildung 4-6: Data-on-Tag: Schematische Darstellung	69
Abbildung 4-7: Vergleich der Datenorganisationskonzepte	70
Abbildung 4-8: Erster Bezugsrahmen zur objektbegleitenden Datenspeicherung.....	71
Abbildung 4-9: Finaler Bezugsrahmen zur objektbegleitenden Datenspeicherung	88
Abbildung 4-10: Idealtypischer Ablauf der empirischen Forschung	89
Abbildung 4-11: Struktur des Fragebogens.....	95

Abbildung 4-12: Statistik zur Ausgestaltung des RFID-Einsatzes.....	98
Abbildung 4-13: Statistik zur eingesetzten Technologie.....	100
Abbildung 4-14: Statistik zur Datenorganisationsform	101
Abbildung 4-15: Interpretative Structural Modeling – Vorgehensweise	108
Abbildung 4-16: Driver Power Dependence Matrix	115
Abbildung 4-17: Modell zur Wahl der Datenorganisationsform Data-on-Tag.....	116
Abbildung 4-18: Merkmalsausprägungen der Einflussfaktoren.....	118
Abbildung 5-1: Schematischer Aufbau der zugrundeliegenden Logistikkette.....	120
Abbildung 5-2: Architekturebenen eines RFID-Systems	132
Abbildung 5-3: Idealtypische Systemarchitektur und Aufbereitungsschritte	133
Abbildung 5-4: Leseanomalien und Duplikate im RFID-Umfeld.....	135
Abbildung 5-5: Auswirkungen der Wahl des Zeitfensters.....	136
Abbildung 5-6: Beispiel für unterschiedliche Zeitfenster	136
Abbildung 5-7: Ergebnisse der drei Algorithmen im Hinblick auf Falschlesungen.....	138
Abbildung 5-8: Beispiel für grundlegende Zustände und Ereignisse in RFID-Systemen.....	140
Abbildung 5-9: Beispielszenario für den Einsatz multipler Lesegeräte	142
Abbildung 5-10: Generalisierungsebenen von Ortsinformationen	144
Abbildung 5-11: Unterschiedliche Ladungsträgerebenen im Beispielszenario	145
Abbildung 5-12: Potenzial der Datenkomprimierung zur Reduktion des Datenvolumens	146
Abbildung 5-13: Entscheidungsbaum des RFID-Event-Managements.....	149
Abbildung 5-14: Notation des komplexen Ereignisses „Diebstahl“	152
Abbildung 5-15: Notation des komplexen Ereignisses „Nachbevorratung anstossen“	152
Abbildung 5-16: Notation des komplexen Ereignisses „Palettierung“	153
Abbildung 5-17: Notation des komplexen Ereignisses „Vergleich Lieferung – Lieferavis“.....	153
Abbildung 5-18: Analytisches Anwendungsszenario: Analyse der Materialflüsse	158
Abbildung 5-19: Analytisches Anwendungsszenario: Qualitätssicherung.....	159
Abbildung 5-20: Analytisches Anwendungsszenario: Lieferantenbeurteilung.....	159
Abbildung 5-21: Potenzial zur Reduzierung des Datenvolumens im Beispielszenario.....	161
Abbildung 5-22: Wertschöpfungskette der RFID-Informationen	162
Abbildung 5-23: Dimensionen der Datengranularität	163
Abbildung 5-24: Diffusion von RFID-Anwendungen.....	165
Abbildung 5-25: Optimale Visibilität durch den RFID-Einsatz	168
Abbildung 5-26: Relevante Datengranularitätsdimensionen: Ortsgranularität und Kennzeichnungsebene.....	170
Abbildung 5-27: Niedrige Ortsgranularität – Zustände.....	171
Abbildung 5-28: Mittlere Ortsgranularität – Zustände.....	172
Abbildung 5-29: Hohe Ortsgranularität – Zustände.....	173
Abbildung 5-30: Wirkungsmodell.....	174
Abbildung 5-31: Relevante Prozesse des Kosten-Nutzen-Modells.....	175
Abbildung 5-32: Kosten und Nutzenpotenziale im Modell.....	180

Abbildung 5-33: Stock-Out-Modell zur Konsumentenreaktion	190
Abbildung 5-34: Umsatzerhöhung durch Vermeidung von Out-of-Stock – Vergleich unterschiedlicher Studien	197
Abbildung 5-35: Beispiel für die Berechnung der Kennzahlen	199
Abbildung 5-36: Barwert [in Mio. €] im Ausgangsszenario – Transponderkosten trägt der Produzent	200
Abbildung 5-37: Barwert [in Mio. €] im Ausgangsszenario – Verteilte Transponderkosten	201
Abbildung 5-38: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit von Transponderpreisen – Transponderkosten trägt der Produzent	202
Abbildung 5-39: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit von Transponderpreisen – Verteilte Transponderkosten	203

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Beitrag der Arbeit für die Wissenschaft und Praxis.....	6
Tabelle 1-2:	Wissenschaftstheoretische Positionierung anhand des epistemologischen Ordnungsrahmens.....	8
Tabelle 2-1:	Eigenschaften von Transpondern mit unterschiedlicher Energieversorgung	21
Tabelle 2-2:	Barcode- und RFID-Systeme im Vergleich	27
Tabelle 2-3:	Rolle von RFID in IT-Konzepten	30
Tabelle 2-4:	Definitionen des Begriffs Logistiknetzwerk.....	31
Tabelle 3-1:	Fragestellungen im Bereich der Datenerfassung.....	50
Tabelle 3-2:	Fragestellungen im Bereich der Datenorganisation.....	52
Tabelle 3-3:	Fragestellungen im Bereich der Datenaufbereitung und -verwendung	53
Tabelle 3-4:	Fragestellungen im Bereich der Datensicherheit und des Datenschutzes	55
Tabelle 3-5:	Relevanter Forschungsstand zum RFID-Datenmanagement.....	57
Tabelle 4-1:	Dienstleister für das RFID-Datenmanagement	66
Tabelle 4-2:	Wesentliche Merkmale der Datenorganisationskonzepte.....	70
Tabelle 4-3:	Überblick zu den verwendeten Fallbeispielen.....	75
Tabelle 4-4:	Daten auf dem Transponder bei HP	76
Tabelle 4-5:	Datenorganisation in den Fallstudien.....	83
Tabelle 4-6:	Datenspeicherung am Objekt.....	86
Tabelle 4-7:	Nutzenpotenziale der Speicherung von Daten am Objekt.....	87
Tabelle 4-8:	Überblick zu den verwendeten statistischen Analysemethoden	90
Tabelle 4-9:	Zusammenfassung der Hypothesen	93
Tabelle 4-10:	Ergebnisse der Kreuztabellierung	102
Tabelle 4-11:	Ergebnisse der Regressionsanalyse.....	103
Tabelle 4-12:	Ergebnisse der Hypothesenprüfung.....	104
Tabelle 4-13:	Einschätzung der Nutzenpotenziale des Data-on-Tag-Ansatzes	105
Tabelle 4-14:	Variablen des Modells	109
Tabelle 4-15:	Self-Structural Interaction Matrix.....	110
Tabelle 4-16:	Initiale Reachability Matrix.....	110
Tabelle 4-17:	Finale Reachability Matrix	111
Tabelle 4-18:	Einteilung der Variablen – Iteration 1	112
Tabelle 4-19:	Einteilung der Variablen – Iteration 2	112
Tabelle 4-20:	Einteilung der Variablen – Iteration 3	113
Tabelle 4-21:	Einteilung der Variablen – Iteration 4	113
Tabelle 4-22:	Canonical Matrix.....	114
Tabelle 5-1:	Merkmale der Erfassungspunkte beim Produzenten	121
Tabelle 5-2:	Merkmale der Erfassungspunkte im Distributionszentrum.....	122

Tabelle 5-3:	Merkmale der Erfassungspunkte im Einzelhandel.....	123
Tabelle 5-4:	Datenvolumen im Beispielszenario	126
Tabelle 5-5:	Relevanz der Datenaufbereitungs-Prinzipien im Hinblick auf die Herausforderungen	130
Tabelle 5-6:	Beispiel einer Liste mit erfassten RFID-Daten	134
Tabelle 5-7:	Beispiel einer Liste mit Ereignissen nach Filterung von Duplikaten	140
Tabelle 5-8:	Beispiel einer Liste mit Passier-Ereignissen	141
Tabelle 5-9:	Relevante Definitionen aus der Mengenlehre	143
Tabelle 5-10:	Operatoren im ECA-Modell	151
Tabelle 5-11:	Beispiele für Prozesse der transaktionalen und analytischen IT	154
Tabelle 5-12:	Beispiel der Ausgabe von internen Tracking & Tracing-Informationen des Produzenten	157
Tabelle 5-13:	Variable und vorgegebene Datengranularitätsdimensionen im Modell	171
Tabelle 5-14:	Allgemeine Modellvariablen	177
Tabelle 5-15:	Modellvariablen: Einmalige Investitionskosten	180
Tabelle 5-16:	Modellvariablen: Laufende RFID-Kosten	181
Tabelle 5-17:	Modellvariablen: Beschaffung	183
Tabelle 5-18:	Modellvariablen: Auslieferung	185
Tabelle 5-19:	Modellvariablen: Inventur	186
Tabelle 5-20:	Modellvariablen: Schwund	187
Tabelle 5-21:	Modellvariablen: Kapitalbindung	188
Tabelle 5-22:	Modellvariablen: Out-of-Stock.....	190
Tabelle 5-23:	Nutzenpotenziale und erforderliche Visibilitätsstufen	192
Tabelle 5-24:	Modellparameter der Kostenkomponenten.....	193
Tabelle 5-25:	Kosten für die RFID-Middleware in Abhängigkeit von der Visibilitätsstufe	194
Tabelle 5-26:	Transponderpreise in Abhängigkeit vom Bestellvolumen	194
Tabelle 5-27:	Bearbeitungszeitreduktion pro Palette: Beschaffungsprozess.....	195
Tabelle 5-28:	Bearbeitungszeitreduktion pro Palette: Auslieferungsprozess.....	195
Tabelle 5-30:	Ausprägungen der untersuchten Faktoren.....	197
Tabelle 5-29:	Modellparameter für die Quantifizierung der Nutzenpotenziale.....	198
Tabelle 5-31:	Optimale Visibilitätsstufen bei unterschiedlichen Nachfragemengen	204
Tabelle 5-32:	Optimale Visibilitätsstufen bei unterschiedlichen Produktwerten.....	205
Tabelle 6-1:	Implikationen für die Praxis und Wissenschaft.....	211

Abkürzungsverzeichnis

1PL	First Party Logistics
2PL	Second Party Logistics
3PL	Third Party Logistics
4PL	Fourth Party Logistics
ABS	Abfrageschnittstelle
ADBMS	Active Database Management System
AM	Amplitude Modulation
APPL	Applikation
ASP	Application Service Providing
Auto-ID	Automatische Identifikation
CDMA	Code Division Multiple Access
CEP	Complex Event Processing
CM	Canonical Matrix
CSV	Comma-Separated Values
DB	Datenbank
DBMS	Database Management System
DM	Datenmanagement
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DoD	Department of Defense
DoS	Denial-of-Service
DPDM	Driver Power Dependence Matrix
DRERM	Dynamic Relationship ERM
EAN	European Article Number (bzw. European Product Number International)
EAS	Elektronische Artikelsicherung
EC	Electronic Cash
ECA	Event-Condition-Action
EDI	Electronic Data Interchange

EEPROM	Electric Erasable and Programmable Read Only Memory
EERM	Extended Entity Relationship Model
EPC	Electronic Product Code
EPCIS	EPC Information System
EQL	Event Query Language
ERM	Entity Relationship Model
ERP	Enterprise Resource Planning
ES	Erfassungsschnittstelle
FAA	Federal Aviation Administration
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
FRAM	Ferroelectric Random Access Memory
Gen	Generation
GPS	Global Positioning System
GRAI	Global Returnable Asset Identifier
GSM	Global System for Mobile Communications
HF	High Frequency
HW	Hardware
IOS	Interorganisatorisches System
IS	Informationssystem
ISM	Interpretative Structural Modeling
IT	Informationstechnologie
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologie
LF	Low Frequency
LN	Logistiknetzwerk
LSP	Logistics Service Provider
LTS	Log Tracking System
MF	Middle Frequency
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NFC	Near Field Communication

NVE	Nummer der Versandeinheit
OCR	Optical Character Recognition
ONS	Object Naming Service
OoS	Out-of-Stock
PC	Personal Computer
PLZ	Produktlebenszyklus
PML	Physical Markup Language
POS	Point of Sale
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency Identification
RM	Reachability Matrix
ROI	Return on Investment
SaaS	Software as a Service
SB	Selbstbedienung
SC	Supply Chain
SCEM	Supply Chain Event Management
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply-Chain-Operations-Reference
SCV	Supply Chain Visibility
SDMA	Space Division Multiple Access
SHF	Super High Frequency
SQL	Structured Query Language
SSCC	Serial Shipping Container Code
SSIM	Self-Structural Interaction Matrix
SW	Software
T&T	Tracking & Tracing
TDMA	Time Division Multiple Access
TREAD	Transportation Recall Enhancement, Accountability and Documentation
UbiComp	Ubiquitous Computing
UCC	Unifying Code Council

UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VisuM	Visualisierung und Map-Matching
WI	Wirtschaftsinformatik
WLAN	Wireless Local Area Network
WM	Wireless Manufacturing
WORM	Write Once Read Many
XML	Extended Markup Language

1 Einführung

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

In den folgenden Abschnitten werden die Problemstellung der vorliegenden Arbeit und der daraus folgende Handlungsbedarf dargestellt (Kapitel 1.1), die Zielsetzung und Forschungskonzeption formuliert (1.2) sowie abschließend der Gang der Untersuchung skizziert (1.3).

1.1 Problemstellung und Handlungsbedarf

Die Bedeutung, die der Radiofrequenztechnologie (RFID) in der Wirtschaft und in den Medien beigemessen wird, ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Dies belegt neben der steigenden Anzahl von (populär-)wissenschaftlichen Beiträgen und RFID-Projekten auch die Anzahl der im Internet zu findenden Seiten zu diesem Thema.¹ Schätzungen des BMBF² zufolge werden im Jahr 2010 acht Prozent der Bruttowertschöpfung in Deutschland durch RFID beeinflusst (im Jahr 2004 waren es noch 0,5 Prozent, vgl. BMBF 2007, S. 83). Bis 2016 wird ein Anstieg der weltweit verwendeten Transponder um das 450fache der heute eingesetzten Menge sowie eine Verzehnfachung des RFID-Gesamtmarkts auf ca. 20 Milliarden Euro prognostiziert (vgl. BMBF, S. 73).

Die RFID-Technologie gilt als eine „*typische Querschnittstechnologie*“ (BSI 2004, S. 66), deren Anwendungsgebiete theoretisch unbegrenzt sind. Sie ist bei Wegfahrsperren, Mautgebühren-, Zugangskontroll- und Ticketinglösungen bereits seit Jahren etabliert. Aktuell wird die größte wirtschaftliche Bedeutung dem Einsatz von RFID in der Logistik, im Handel und in der Produktionssteuerung beigemessen.

Bisher wurde RFID insbesondere aufgrund der hohen Kosten und der geringen Standardisierung vorwiegend in unternehmensinternen Applikationen („closed loop“) eingesetzt. Da jedoch sowohl die Technologiepreise sinken (vgl. Niemayer et al. 2003, S. 7), als auch eine weltweite Standardisierung fortschreitet (vgl. Clasen 2006, S. 8), wird die Technologie zunehmend für unternehmensübergreifende Anwendungen („open loop“) interessant. Zukünftig wird deshalb ein großer Einsatzbereich in der Verfolgung von logistischen Objekten vom Hersteller zum Endkunden gesehen (vgl. Gaukler/Seifert 2007).

¹ Im April 2004 liefert Google auf das Suchwort RFID knapp 1,7 Millionen Treffer, ein Jahr später sind es schon 7,3 Millionen (vgl. Hiemisch 2005, S. 14). Im Mai 2009 werden bereits fast 22 Millionen Ergebnisse generiert. LAMMERT und GRAUER (2006) fügen hinzu, dass „*sich die Qualität der betrachteten Angebote überwiegend auf einem hohen Niveau [bewegt], was vor allem auf Seiten der kommerziellen Anbieter nicht weiter verwundert, da es sich bei RFID doch um einen zunehmend stärker umkämpften Markt handelt, auf dem es heißt, potenzielle Kunden für sich zu akquirieren*“.

² Bundesministerium für Bildung und Forschung (www.bmbf.de).

An die RFID-Technologie wurde in der jüngeren Vergangenheit jedoch bisweilen eine zu hohe Erwartungshaltung gelegt.³ Abbildung 1-1 verdeutlicht anhand des *Hype Cycle*⁴ von Gartner, dass RFID eine Entwicklung vom „Hype“ hin zu einer realistisch eingeschätzten Technologie nimmt. RFID befindet sich derzeit in einer Phase, bei der die überzogenen Erwartungen relativiert werden und eine „nüchterne“ Auseinandersetzung mit den Nutzenpotenzialen und Grenzen dieser Technologie ermöglicht wird (sog. „Tal der Desillusion“). Es wird prognostiziert, dass sich RFID in etwa fünf bis zehn Jahren sowohl auf der Ladungsträger- (Paletten, Boxen) als auch auf der Produktebene etablieren wird.

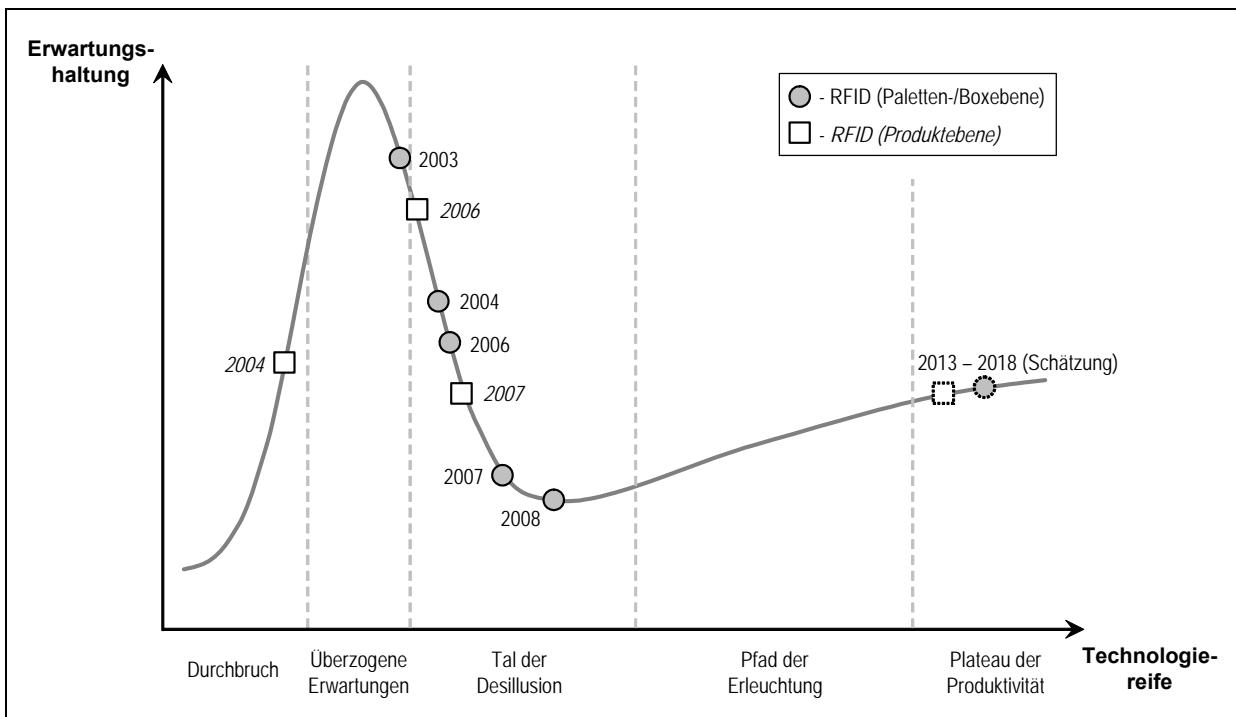


Abbildung 1-1: Entwicklung der Erwartungshaltung und Technologiereife im RFID-Umfeld⁵

Die realistische Einschätzung der RFID-Technologie führt insbesondere dazu, dass die Herausforderungen in den Mittelpunkt der Betrachtungen aktueller Praxisprojekte rücken. Neuesten Umfragen nach werden von den RFID-Anwendern neben den bereits genannten Herausforderungen der hohen Investitionskosten und der noch relativ geringen Standardisierung Hemmnisse hauptsächlich im Bereich des Datenmanagements (dabei auch der Datensicherheit) identifiziert (vgl. Strüker et al. 2008, S. 26). IT-

³ Die Überschätzung des Nutzens und Unterschätzung der Risiken ist typisch für die Einführung neuer Technologien (vgl. Kern 2006, S. 3). ALLEN (2006, S. 364) konstatiert in Bezug auf die RFID-Technologie: „*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.*“

⁴ Der Hype Cycle wird seit 1995 von Gartner-Analysten (www.gartner.com) einmal jährlich veröffentlicht. Mit diesem Instrument wird verdeutlicht, wie sich ausgewählte Technologien auf dem Markt behaupten und wie sich ihr Einfluss sowie ihre Verbreitung voraussichtlich entwickeln werden (vgl. Jarvenpaa/Makinen 2008, S. 12).

⁵ Abgetragen ist die jeweilige Position der Technologie (separat für Produkt- und Ladungsträgerkennzeichnung) in den letzten sechs Jahren (vor 2003 wurde RFID von Gartner nicht berücksichtigt). Für 2005 und 2008 haben die Gartner-Analysten keine Einschätzung der RFID-Technologie auf Produktebene vorgenommen.

Verantwortliche von Unternehmen, die RFID bereits nutzen, messen daher dem Datenmanagement einen hohen Stellenwert bei (vgl. O'Connor 2004). Anhand des folgenden Praxisbeispiels soll eine wesentliche Problemstellung des RFID-Datenmanagements verdeutlicht werden.

Motivierendes Beispiel 1: RFID-Einsatz bei der Metro Group

Die Metro Group⁶ setzt seit 2004 RFID in ihren logistischen Prozessen ein, wobei das Unternehmen Automatisierungseffekte vor allem bei der Erfassung im Wareneingang und -ausgang, bei der Ein- und Auslagerung sowie bei Inventurvorgängen realisieren konnte (vgl. Metro Group 2008). Die RFID-Transponder werden bereits durch Lieferanten an Paletten – und in einigen Fällen auch an Verpackungen – angebracht. Darüber hinaus experimentiert die Metro Group im sog. Future Store (Rheinberg)⁷ mit dem RFID-Einsatz auf Produktebene. In dem futuristischen Supermarkt sind 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.

Das dargestellte Beispiel lenkt die Aufmerksamkeit auf eine wesentliche Herausforderungen des RFID-Einsatzes im Bereich des Datenmanagements: Insbesondere bei einem RFID-Einsatz auf der Produktebene kommt es zur **Generierung von großen Datenmengen**.⁸ Dabei handelt es sich vor allem aufgrund der physikalischen Eigenschaften der RFID-Technologie häufig um fehlerhafte Daten, die im Vorfeld der Weiterleitung an angeschlossene Systeme bereinigt werden müssen. Zudem besitzen diese Daten allein wenig Aussagekraft und sind deshalb adäquat zu entscheidungsrelevanten Informationen aufzubereiten.

Auf der anderen Seite bieten sich durch den RFID-Einsatz neue Möglichkeiten. So wird das Management von Logistiknetzwerken agiler, da **genauere und echtzeitnahe Daten** zur Verfügung stehen. Bei einer durchgängigen RFID-Infrastruktur können alle relevanten logistischen Objekte jederzeit identifiziert und lokalisiert werden. Auch der Zustand des Objektes kann ermittelt werden, wenn die RFID-Transponder zusätzlich mit Sensoren ausgestattet werden. Wie das folgende Praxisbeispiel verdeutlicht, ist es hierzu notwendig, Daten am Objekt zu speichern.

⁶ www.metrogroup.de

⁷ www.future-store.org

⁸ "Successful RFID applications will potentially create terabytes of data. Quantitative changes of this magnitude invariably produce qualitative changes as well. In the case of RFID, such data volumes will impose severe strains on existing data management and storage structures and strategies. [...] Envisioning new ways to manage, use, and control RFID generated data could provide a new role for IS researchers" (Asif/Mandviwalla 2005, S. 34).

Motivierendes Beispiel 2: RFID-Einsatz bei Hewlett-Packard

Der Elektronik-Hersteller Hewlett-Packard⁹ stattet Drucker und Tintenstrahlpatronen in seinem Werk in Sao Paolo (Brasilien) in der Produktion mit RFID-Transpondern aus (vgl. Lohringer 2008). Die Drucker werden von dem Vertragshersteller Flextronics montiert und vom Logistik-Dienstleister DHL distribuiert (im vergangenen Jahr belief sich das Volumen auf 3 Millionen Drucker). Neben den Automatisierungspotenzialen – Identifikationsvorgänge konnten von 90 Sek. (mit Barcodes) auf 10 Sek. verkürzt werden (vgl. Hewlett-Packard 2007) – wurde der Lagerbestand um 17 Prozent und die Auslieferungszeit um 12 Prozent verringert, was insbesondere auf die genaueren Informationen über den Aufenthaltsort und Zustand der Produkte zurückzuführen ist. Auf dem Transponder werden neben der eindeutigen Seriennummer auch individuelle Produktinformationen, wie etwa Testergebnisse und Installationsdaten, während der Herstellung der Drucker gespeichert. Die jederzeitige Verfügbarkeit dieser Daten führt zu einer effizienteren Abwicklung von Retouren und damit zur Steigerung der Kundenzufriedenheit.

Dieses Praxisbeispiel stellt das wesentliche Differenzierungsmerkmal von RFID zu anderen Technologien der automatischen Identifikation dar: Das Innovative an RFID äußert sich vor allem in der Möglichkeit, **Informationen direkt am Objekt zu speichern**, wobei mit der objektbegleitenden Datenspeicherung neue Anwendungsgebiete erschlossen werden können (bspw. in Verbindung mit dem Einsatz von Sensorik kann die Einhaltung vorgegebener Temperaturen während des Transports überwacht werden).

Der verstärkte Einsatz von RFID in Logistiknetzwerken und die daraus entstehenden Auswirkungen auf das Datenmanagement bilden die zentrale Motivation dieser Arbeit. Die konkrete Zielsetzung sowie die Forschungskonzeption werden in dem nachfolgenden Abschnitt behandelt.

1.2 Zielsetzung und Forschungskonzeption

Die Wirtschaftsinformatik (WI) als „eine sehr junge Disziplin“ (Braun 2007, S. 61) weist mehreren Studien zufolge noch relativ wenig Struktur auf (vgl. bspw. Becker et al. 2003; Palvia et al. 2003; Braun/Esswein 2006). Deshalb muss der Beschreibung des Forschungsdesigns auf dem Gebiet der WI besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden (vgl. Heinrich 2005c). Nachfolgend werden die Zielsetzung der Arbeit und erwartete Ergebnisse, die wissenschaftstheoretische Positionierung sowie das methodische Vorgehen der Arbeit dargestellt.

Zielsetzung der Arbeit und erwartete Ergebnisse

Die Arbeit setzt sich zum Ziel, das Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken zu untersuchen und Handlungsempfehlungen zu generieren. Zur Erreichung des formulierten Ziels werden die folgenden vier Forschungsfragen adressiert:

⁹ <http://welcome.hp.com/gms/de/de/companyinfo/index.html>

Forschungsfrage 1: Wie wirkt sich der Einsatz von RFID auf das Datenmanagement aus?

Zunächst sind die allgemeinen Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf das Datenmanagement zu analysieren. Daraus sind Ziele und Fragestellungen an das RFID-Datenmanagement abzuleiten. Entsprechend den identifizierten Forschungslücken gilt es anschließend relevante Fragestellungen anhand der nachfolgenden drei Forschungsfragen zu vertiefen.

Forschungsfrage 2: Wann ist eine objektbegleitende Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken sinnvoll?

Im Rahmen dieser Forschungsfrage ist zu klären, wann eine Speicherung zusätzlicher Daten am Objekt sinnvoll erscheint. Hierzu ist zunächst die Abgrenzung dieser Datenorganisationsform zu anderen Formen der Datenspeicherung in Logistiknetzwerken vorzunehmen. Anschließend gilt es, Einflussfaktoren für die Entscheidung, Daten objektbegleitend zu speichern, zu analysieren. Daneben sind auch Fragen der Ausgestaltung dieser Datenorganisationsform (etwa die Frage, welche Daten am Objekt vorgehalten werden sollten) sowie der daraus entstehenden Nutzenpotenziale zu klären.

Forschungsfrage 3: Wie können RFID-Daten in Logistiknetzwerken effizient aufbereitet und verwertet werden?

Zur Beantwortung dieser Frage sollen Konzepte aus der Forschung und Praxis zu einem integrierten Vorgehensmodell der RFID-Datenaufbereitung zusammengefasst werden. Ferner soll gezeigt werden, wie die Daten in den angeschlossenen Systemen verwendet werden können.

Forschungsfrage 4: Welchen Beitrag können RFID-Daten zur Erhöhung der Visibilität in Logistiknetzwerken leisten?

Die Beantwortung dieser Frage zielt darauf ab, die Nutzenpotenziale einer erhöhten Visibilität, die auf feingranularen RFID-Daten beruht, zu bewerten. Es sollen also der wirtschaftliche Nutzen einer umfassenden Datenerfassung analysiert und Handlungsempfehlungen bezüglich der optimalen RFID-induzierten Visibilitätsstufe abgeleitet werden.

Die vorliegende Arbeit richtet sich zum einen an Wissenschaftler, die sich in ihrer Forschung generell mit der RFID-Technologie und speziell mit dem RFID-Datenmanagement auseinandersetzen. Zum anderen gehören auch Personen aus der Praxis, die an RFID-Projekten beteiligt sind oder mehr über diese Technologie aus der Perspektive des Datenmanagements erfahren wollen, zum Adressatenkreis dieses Werkes. Die Ergebnisse leisten folgenden **Beitrag für die Wissenschaft**:

- Obwohl mittlerweile eine Vielzahl von Publikationen zu unterschiedlichen Facetten des RFID-Datenmanagements existiert, fehlt bisher eine einheitliche Systematik, die der Erforschung dieses RFID-Teilgebiets mehr Struktur verleihen würde. Der aktuelle Forschungsstand wird daher zusammengefasst und systematisiert.
- Die Möglichkeit, zusätzliche Daten am Objekt zu speichern, unterscheidet die RFID-Technologie von den übrigen Auto-ID-Systemen. Unklar ist jedoch, wann eine solche objektbegleitende Datenspeicherung aufgrund der höheren Kosten zu der Alternative, lediglich eine ID am Objekt zu hinterlegen,

sinnvoll erscheint. In der vorliegenden Arbeit wird daher ein Bezugsrahmen konzipiert, der die relevanten Faktoren bezüglich der Wahl der Datenorganisationsform beinhaltet.

- Es wird ein analytisches Modell entwickelt, um den Beitrag von RFID-Daten zur Visibilitätserhöhung in Logistiknetzwerken im Hinblick auf Kosten-Nutzen-Aspekte zu untersuchen.
- Die Erforschung des RFID-Datenmanagements befindet sich noch in einer relativ frühen Phase. Die Arbeit besitzt deshalb auch einen explorativen Charakter, der die Ableitung neuer Forschungsfragen ermöglicht.

Der **Beitrag für die Praxis** stellt sich folgendermaßen dar:

- Anhand der identifizierten Herausforderungen können Anforderungen an das Management von RFID-Daten abgeleitet werden. Diese gilt es im Rahmen der Planung eines RFID-Projektes zu berücksichtigen.
- Es werden Handlungsempfehlungen für den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung formuliert. Insbesondere wird geklärt, unter welchen Umständen diese Form der Datenorganisation der netzwerkbasierter Datenspeicherung vorzuziehen ist und welche Nutzenpotenziale damit realisiert werden können.
- Im Rahmen der Untersuchung der Datenaufbereitung wird ein Vorgehensmodell zur sinnvollen Filterung, Aggregation und Verdichtung sowie Auswertung von RFID-Daten in Logistiknetzwerken präsentiert.
- Es werden Potenziale der RFID-Technologie zur Visibilitätserhöhung auf Grundlagen einer erhöhten Datengranularität identifiziert. Anhand einer Kosten-Nutzen-Betrachtung werden für unterschiedliche Stufen des Logistiknetzwerks konkrete Handlungsempfehlungen, welche Visibilitätsstufe anzustreben ist, abgegeben.

Die erwarteten Ergebnisse für die Wissenschaft und Praxis sind abschließend in der nachfolgenden Tabelle 1-1 dargestellt.

Wissenschaft	Praxis
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusammenfassung des Forschungsstands zum RFID-Datenmanagement und Systematisierung der bisherigen Forschungsarbeiten ▪ Entwicklung eines Bezugsrahmens zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken ▪ Erklärung des Beitrags von RFID-Daten zur Visibilität in Logistiknetzwerken anhand eines analytischen Modells ▪ Ableitung neuer Forschungsfragen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anforderungen an das Datenmanagement, die bei der Planung des RFID-Einsatzes Berücksichtigung finden sollten ▪ Handlungsempfehlungen für den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung ▪ Vorgehensmodell zur Aufbereitung von RFID-Daten und Auswertungsmöglichkeiten in Logistiknetzwerken ▪ Darstellung des Potenzials von RFID zur Visibilitätserhöhung in Logistiknetzwerken auf Basis der erhöhten Datengranularität

Tabelle 1-1: Beitrag der Arbeit für die Wissenschaft und Praxis

Wissenschaftstheoretische Positionierung

Das Thema der vorliegenden Arbeit ist den Wissensgebieten Wirtschaftsinformatik und Logistik zuzuordnen. Entsprechend dem Verständnis der Betriebswirtschaftslehre als angewandte Wissenschaft, deren primäres Ziel die Vermittlung von Wissen für praktisches Handeln darstellt (vgl. Ulrich 1981), sollen mit dieser Arbeit Unternehmen bei Fragen des RFID-Datenmanagements unterstützt werden. Die Forschungsziele verfolgen dabei in Anlehnung an die Systematisierung von BECKER ET AL. (2003) einen **inhaltlich-funktionalen Auftrag** auf **Theorie-** (Forschungsfragen 1, 2 und 4) und **Technologieebene** (Forschungsfrage 3) (vgl. Abbildung 1-2).

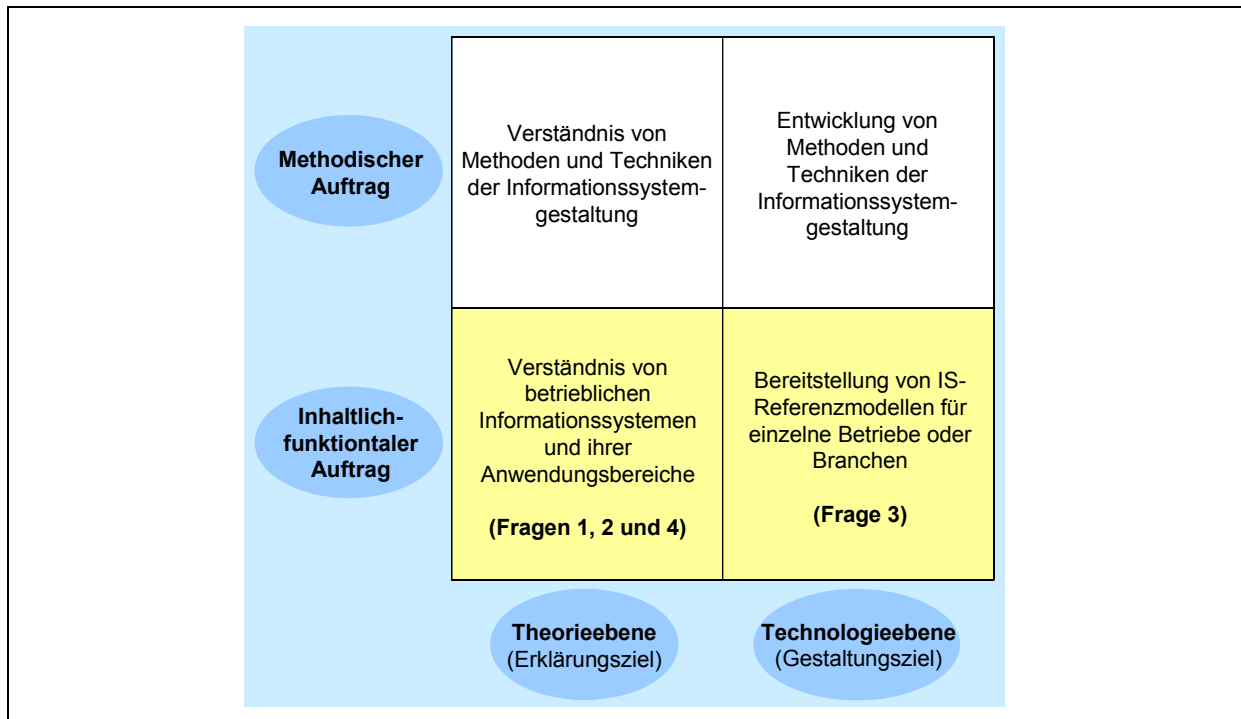


Abbildung 1-2: Einordnung der Forschungsziele anhand der Theorie- und Technologieebene

Die Positionierung der Arbeit erfolgt anhand des epistemologischen Ordnungsrahmens nach BECKER und NIEHAVES (2007, S. 202 ff.). Der Ordnungsrahmen beinhaltet fünf Dimensionen, denen epistemologische Fragen unterliegen (siehe Tabelle 1-2). Diese besitzen eine hohe Relevanz für die Forschung auf dem Gebiet der WI, werden in der Literatur jedoch häufig separat adressiert (vgl. Becker/Niehaves 2007, S. 201).


Epistemologische Fragen	Ausprägungen		
Was bildet den Gegenstand des Erkenntnisses? (<i>Ontologischer Aspekt</i>)	Ontologischer Realismus	Ontologischer Idealismus	Kantianismus
Welches Verhältnis besteht zwischen der Erkenntnis und dem Erkenntnisgegenstand?	Epistemologischer Realismus		Konstruktivismus
Was ist das Wesen der wahren Erkenntnis? (<i>Wahrheitsbegriff</i>)	Korrespondenztheorie der Wahrheit	Konsenstheorie der Wahrheit	Semantische Theorie der Wahrheit
Was ist die Quelle der Erkenntnis?	Empirismus	Rationalismus	Kantianismus
Auf welche Art und Weise entsteht die Erkenntnis? (<i>Methodologischer Aspekt</i>)	Induktivismus	Deduktivismus	Hermeneutik
 - wissenschaftstheoretische Position der Arbeit			

Tabelle 1-2: Wissenschaftstheoretische Positionierung anhand des epistemologischen Ordnungsrahmens

Bezüglich des Erkenntnisgegenstands (ontologischer Aspekt) wird in der vorliegenden Arbeit der *ontologische Realismus* vertreten, d. h. es wird von einer Realwelt ausgegangen, die unabhängig vom menschlichen Bewusstsein existiert.¹⁰ Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen der Erkenntnis und dem Erkenntnisgegenstand entspricht die Positionierung dem *Konstruktivismus*, bei dem die Beziehung Erkenntnis-Erkenntnisgegenstand von der Interpretation des Autors entscheidend beeinflusst wird.¹¹ In Bezug auf den Wahrheitsbegriff wird die *Konsenstheorie der Wahrheit* vertreten, nach welcher Aussagen dann wahr sind, wenn sie innerhalb einer Gruppe akzeptiert werden. Die Quelle der Erkenntnis bilden in der vorliegenden Arbeit entsprechend dem *Kantianismus* sowohl praktische Erfahrungen als auch der menschliche Intellekt („*experience and intellect as sources of cognition*“, Becker/Niehaves 2007, S. 205).¹² Schließlich bedient sich die Arbeit hinsichtlich des methodologischen Aspekts des *Induktivismus* und des *Deduktivismus*. Das methodische Vorgehen wird nachfolgend detailliert erläutert.

¹⁰ “A world exists independently of human cognition, for instance, independent of thought and speech processes” (Becker/Niehaves 2007, S. 202). Dagegen stellt im ontologischen Idealismus die Welt ein Konstrukt dar, welches vom menschlichen Bewusstsein abhängig ist.

¹¹ Der epistemologische Realismus geht dagegen von der Annahme aus, dass die objektive Erkenntnis einer vom Subjekt unabhängigen Realität möglich ist.

¹² Der Empirismus baut ausschließlich auf praktischen Erfahrungen (empirischem Wissen bzw. *a posteriori knowledge*) auf. Dagegen vertritt der Rationalismus die Position, dass Erkenntnisse nur auf Basis des Intellekts (*a priori knowledge*) möglich sind.

Methodisches Vorgehen

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird im Sinne des für die betriebswirtschaftliche Forschung charakteristischen Methodenpluralismus (vgl. Schweitzer/Bea 2000, S. 66; WKWI 1994, S. 81)¹³ auf unterschiedliche Forschungsmethoden zurückgegriffen. Dabei können grundsätzlich theoretisch-deduktive Methoden, bei denen etablierte Theorien den Ausgangspunkt für die Erkenntnisgewinnung darstellen, und empirisch-induktive Vorgehen, die von empirischen Einzelbeobachtungen auf allgemeine Zusammenhänge schließen, unterschieden werden (vgl. Bortz/Döring 2003, S. 299 f.).

In der Arbeit wird weitestgehend ein *theoretisch-deduktives* Vorgehen angewendet. Erkenntnisse werden dabei sowohl mittels rein sprachlicher Deduktion (argumentativ-deduktive Analyse) als auch basierend auf mathematisch-formalen Modellen (formal-deduktive Analyse) gewonnen. Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage werden die verhaltenswissenschaftlichen Methoden der *Fallstudienanalyse*¹⁴ und *quantitativen Querschnittsanalyse* (empirische Befragung mittels Fragebögen) angewendet. Im Rahmen der dritten Forschungsfrage wird mittels der Methode der *Referenzmodellierung* ein „Idealkonzept“¹⁵ zur Aufbereitung von RFID-Daten erstellt. Bei der Untersuchung der vierten Forschungsfrage wird neben der schon erwähnten formal-deduktiven Analyse auf die Methode der *Simulation*¹⁶ zurückgegriffen.

Abbildung 1-3 ordnet die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Forschungsmethoden (im Bild schwarz hinterlegt) dem Methodenprofil der Wirtschaftsinformatik zu (vgl. Wilde/Hess 2007, S. 284). Die Dimension „Formalisierungsgrad“ ordnet die Methoden der quantitativen (vorwiegend numerisch repräsentierbar) und qualitativen (vorwiegend sprachlich repräsentierbar) Forschung zu. Die Dimension „Paradigma“ nimmt eine Zuordnung der Methoden zur jeweiligen erkenntnistheoretischen Position (verhaltenswissenschaftlich vs. konstruktiv) vor (vgl. Wilde/Hess 2007, S. 282 f.).

¹³ „Die Wirtschaftsinformatik (WI) versteht sich als Wissenschaft mit einer methodenpluralistischen Erkenntnisstrategie, die sich Instrumenten aus Real-, Formal- und Ingenieurwissenschaften bedient“ (Wilde/Hess 2007, S. 280). BECKER und NIEHAVES (2007, S. 198) konstatieren: „Thus, IS research can be seen as a rich tapestry of diverse research methods, paradigms and approaches.“

¹⁴ „Case study research figures among those methods that have been recognized as having gained increasing acceptance over the past decades in IS“ (Dubé/Paré 2001, S. 4). „Case study research is becoming one of the most popular methodologies in IS research“ (Shakir 2002, S. 191).

¹⁵ Referenzmodellen liegen grundsätzlich drei Anforderungen zugrunde: Allgemeingültigkeit, Anpassbarkeit und Anwendbarkeit (vgl. Hars 1994, S. 15 ff.). In diesem Sinne repräsentieren Referenzmodelle Idealkonzepte, die als eine Empfehlung bei der Gestaltung von Informationssystemen fungieren (vgl. Schütte 1998, S. 37 ff.).

¹⁶ „Die Simulation bildet das Verhalten des zu untersuchenden Systems formal in einem Modell ab und stellt Umweltzustände durch bestimmte Bedingungen der Modellparameter nach“ (Wilde/Hess 2007, S. 282).

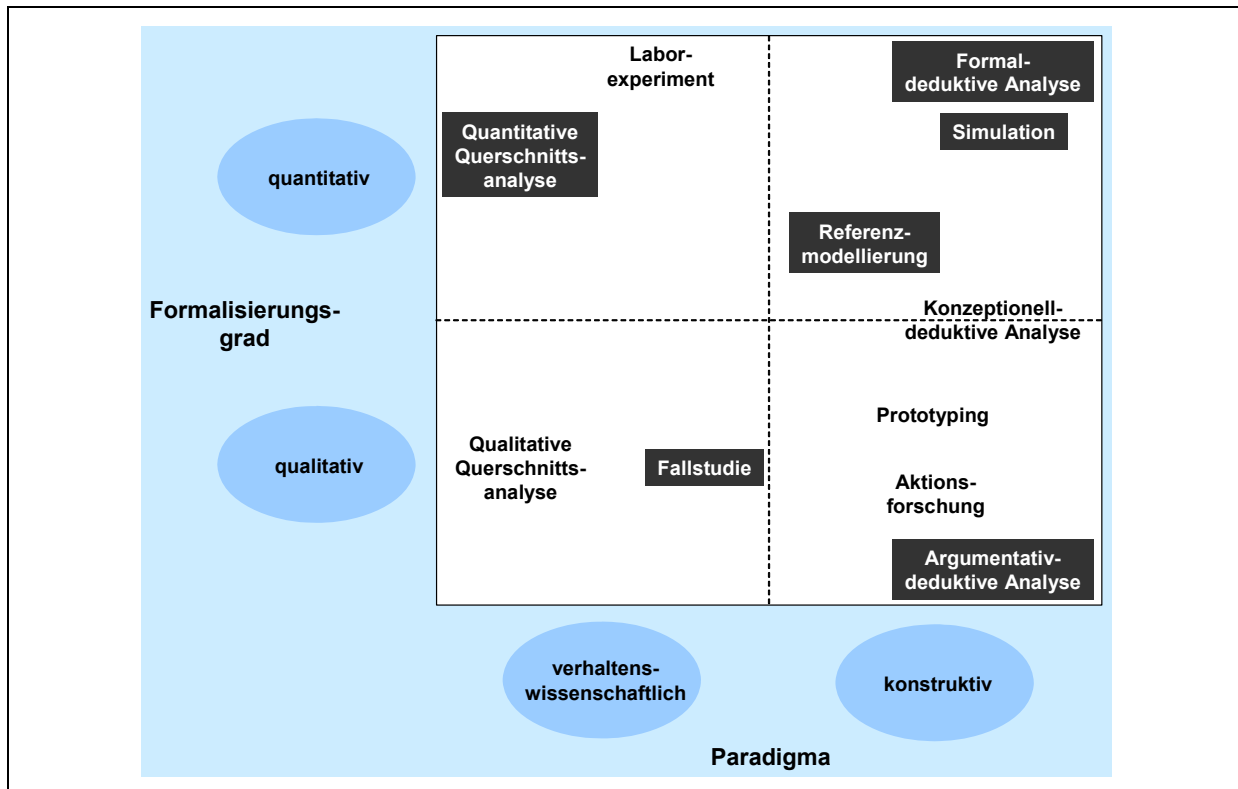


Abbildung 1-3: Einordnung der verwendeten Methoden anhand des Methodenprofils der Wirtschaftsinformatik

1.3 Gang der Untersuchung

Aus der eingangs geschilderten Problemstellung, den daraus abgeleiteten Forschungsfragen und der zur Beantwortung dieser Fragen konzipierten Forschungsmethodik ergibt sich der nachfolgende Aufbau der Arbeit, die in sechs Hauptabschnitte gegliedert ist.

Im Anschluss an das einführende erste Kapitel werden in **Kapitel 2** wesentliche Begriffe und Konzepte erläutert, die für das grundsätzliche Verständnis der Arbeit notwendig sind. Zunächst wird dabei auf die RFID-Technologie eingegangen, bevor die Begriffe Logistiknetzwerk und Datenmanagement definiert und abgegrenzt sowie wesentliche Konzepte in den beiden Bereichen dargestellt werden.

Kapitel 3 beschreibt Herausforderungen und Chancen, die sich aus dem RFID-Einsatz für das Datenmanagement ergeben. Daraus werden anschließend Ziele und Fragestellungen abgeleitet sowie ein Überblick zum Forschungsstand gegeben. Damit sollen zum einen Forschungslücken aufgezeigt werden, um die Relevanz der vorliegenden Arbeit zu verdeutlichen. Zum anderen sollen erste Hinweise für die nachfolgenden Untersuchungen gewonnen werden.

In **Kapitel 4** wird die objektbegleitende Datenspeicherung untersucht. Hierzu wird zunächst ein konzeptuelles Modell auf Basis theoretischer (Literaturrecherche) und praktischer (Fallstudienanalyse) Bezugspunkte entwickelt. Das Modell stellt den Ausgangspunkt für eine empirische Erhebung dar, die die Einflussfaktoren, die konkrete Ausgestaltung sowie die Nutzenpotenziale der objektbegleitenden Da-

tenspeicherung untersucht. Das Kapitel schließt mit der Analyse der Beziehungen zwischen den Variablen des konzeptuellen Modells. Zu diesem Zweck wird auf die Methode des Interpretative Structural Modeling zurückgegriffen.

Untersuchungen zur Datenaufbereitung und -verwendung sind Gegenstand des **Kapitels 5**. Dabei wird zunächst ein Modell einer dreistufigen Logistikkette erstellt, um die Analysen an einem konkreten Beispielszenario durchführen zu können. Das weitere Kapitel teilt sich anschließend in zwei Bereiche auf: Im ersten Teil wird die Aufbereitung von RFID-Daten thematisiert. Die Ergebnisse münden in die Konzeption eines Vorgehensmodells, das in drei Phasen aus Rohdaten entscheidungsrelevante Informationen generiert. Im zweiten Teil erfolgt die Analyse der Datenverwendung. Es wird konkret der Beitrag von RFID-basierten Informationen zur Visibilitätserhöhung in Logistiknetzwerken anhand eines Kosten-Nutzen-Modells untersucht.

Das abschließende **Kapitel 6** fasst die gewonnenen Ergebnisse zusammen und leitet Implikationen für die betriebswirtschaftliche Forschung und die Unternehmenspraxis ab. Abbildung 1-4 stellt den Aufbau der Arbeit grafisch dar.

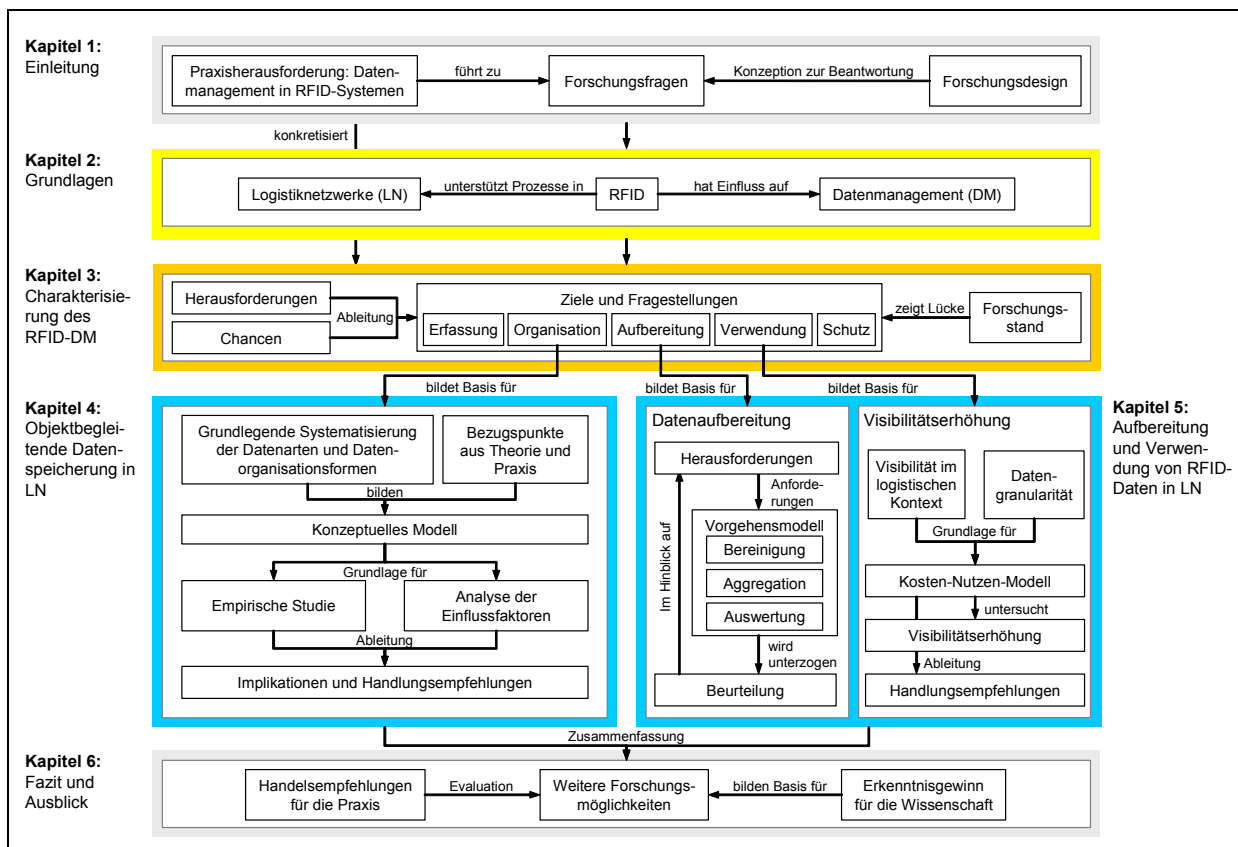


Abbildung 1-4: Aufbau der Arbeit

2 Grundlagen

In den nachfolgenden Abschnitten werden grundlegende Begriffe der vorliegenden Arbeit, RFID (Kapitel 2.1), Logistiknetzwerke (2.2) und Datenmanagement (2.3), erläutert.

2.1 RFID

Im Rahmen der Erläuterung des RFID-Begriffs wird zunächst ein kurzer Überblick zu den Entwicklungsstufen der automatischen Identifikation gegeben (Abschnitt 2.1.1). Als nächstes werden Meilensteine der RFID-Entwicklung beleuchtet (2.1.2). Abschnitt 2.1.3 widmet sich dem Aufbau und der Funktionsweise eines RFID-Systems. Abschließend wird die Rolle von RFID in IT-Konzepten dargelegt (2.1.4).

2.1.1 Evolution der automatischen Identifikation

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 zeit- und kostenintensiv (siehe Abbildung 2-1).

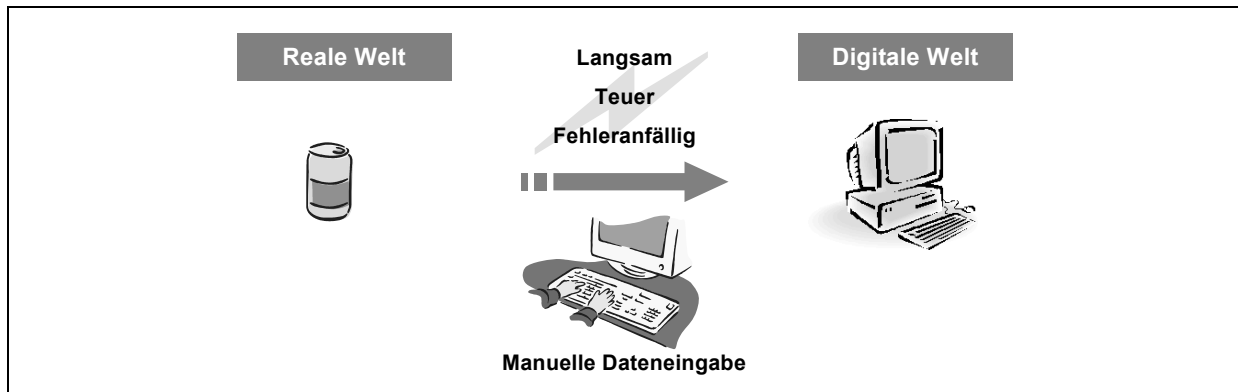


Abbildung 2-1: Medienbruch Dateneingabe

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 et al. 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, die 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 Scannvorgang jedoch immer manuell erfolgt, konnte der Nachteil der Zeit- und Kostenintensität nicht entscheidend kompensiert werden (siehe Abbildung 2-2).

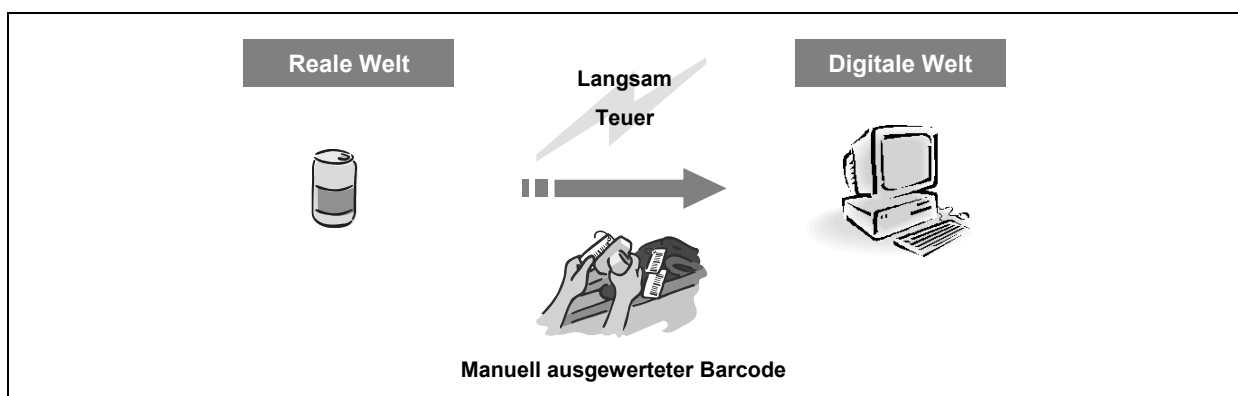


Abbildung 2-2: Barcode-Technologie adressiert nur die Fehleranfälligkeit

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).

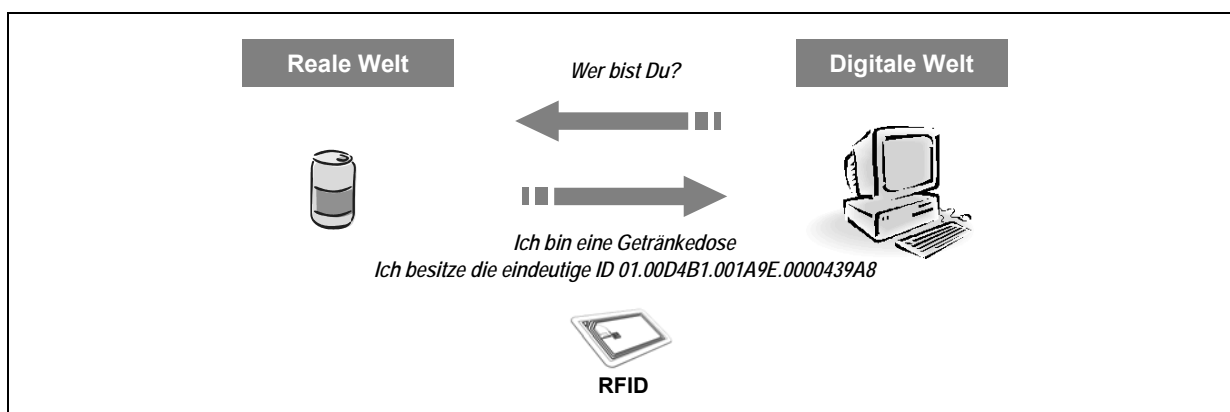


Abbildung 2-3: RFID schließt die Lücke zwischen der realen Welt und ihrem digitalen Abbild

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 Objekt delegiert werden (vgl. Fleisch/Dierkes 2003, S. 614; Gehrke et al. 2006, S. 15).¹⁷

Werden RFID-Transponder zusätzlich mit einem Sensor ausgestattet, können sie Veränderungen in ihrer unmittelbaren Umwelt wahrnehmen, speichern und eventuell Korrekturmaßnahmen einleiten (vgl. Zampolli et al. 2008, S. 582). Diese Entwicklung betrachtend können RFID-Systeme zu Recht als die

¹⁷ Diese Entwicklung hin zu autonomen Objekten, die Entscheidungen selbst fallen, zieht jedoch auch kritische Töne nach sich: „It confronts us with a new type of inductive knowledge, inferred by means of automated algorithms. To the extent that decisions that impact our lives are based on such knowledge, we need to develop the means to make this knowledge accessible for individual citizens and provide them with the legal and technological tools to anticipate and contest such knowledge or challenge its application“ (Hildebrandt 2006, S. 548).

„*Augen und Ohren eines Informationssystems*“ (Thiesse 2005, S. 103) aufgefasst werden. Sie schließen damit die Lücke zwischen der realen Welt und ihrem digitalen Abbild.

2.1.2 Historische Entwicklung auf dem Gebiet der RFID-Technologie

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 1948.¹⁸ Der Autor beschreibt in ihr die Möglichkeit, RFID-Transponder mit Hilfe der von dem Radiosignal ausgestrahlten Energie zu betreiben und führt somit das Konzept der passiven RFID-Systeme ein (vgl. Garfinkel/Holtzman 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, 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).¹⁹ 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 ein 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 RFID ein gesteigertes Interesse hervor. Immer mehr Unternehmen, Institutionen und Individuen beschäftigen sich mit der neuen Technologie. In Norwegen wird beispielsweise 1987 das erste auf der RFID-Technologie basierende Mautgebührensysteem 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

¹⁸ Somit stellt paradoxerweise der Barcode die neuere der beiden Auto-ID-Technologien dar, da das erste Barcode-Patent aus dem Jahre 1949 stammt (vgl. Mullen/Moore 2006, S. 4).

¹⁹ Das Department of Defense (DoD) 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).

damit verbundenen Reduktion der Preise erweitert sich das Spektrum der möglichen Anwendungen. Auch findet RFID mit der von Texas Instruments entwickelten Wegfahrsperrung TIRIS Eingang ins Alltagsleben. Weitere Anwendungsfelder bietet die Zutrittskontrolle zu Gebäuden und Zeiterfassung bei Sportveranstaltungen²⁰. 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 zahlreichen Objekten angebracht werden können.

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. Sarma 2006, S. 38). Das 1998 gegründete Auto-ID-Center²¹ 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. Sarma 2006, S. 39). Ab 2003 führt der Nachfolger des Auto-ID Centers, EPCglobal Inc.²², 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)²³, verknüpft. MATTERN konstatiert, dass „die Mikroelektronik, die in den letzten Jahrzehnten bezüglich ihres

²⁰ 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.).

²¹ 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: www.epcglobalinc.org/about/AutoID_archive.html.

²² 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.

²³ Anders formuliert besagt das Gesetz von MOORE, dass sich die Leistungsfähigkeit von Prozessoren etwa alle anderthalb Jahre verdoppelt.

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

Polymere RFID-Transponder

Herkömmliche Verfahren der Transponderfertigung sind zu aufwändig, um Tagpreise von unter einem Cent zu erreichen. Seit Jahren werden deshalb alternative Verfahren und Materialien erforscht. Dabei sind insbesondere Fortschritte auf dem Gebiet der druckbaren Polymerelektronik vielversprechend (vgl. Hübner 2008, S. 147). Tags, die überwiegend aus organischen Halbleitern bestehen, können in kostengünstigen Druckverfahren hergestellt werden, bieten aber nicht die Leistungseigenschaften herkömmlicher Transponder. Die frühen Prototypen polymerelektronischer Tags hatten noch eine viel zu geringe Speicherkapazität und Lesereichweite, um in der Praxis verbreitet Anwendung zu finden. Die Leistung aktueller Polymertags nähert sich aber den Anforderungen eines Masseneinsatzes an (vgl. Leung/Lam 2007). Unlängst wurde ein Tag mit einem 64-bit-Polymerchip und einer Leserate von 780 bit/s auf der Arbeitsfrequenz 13.56 MHz vorgestellt (vgl. Canatatore et al. 2007). Somit könnten in Zukunft einfache Polymertransponder mit geringer Reichweite dem Barcode auch hinsichtlich des Preises Konkurrenz machen und dadurch neue Anwendungsfelder der RFID-Technologie erschlossen 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 (1980) 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).

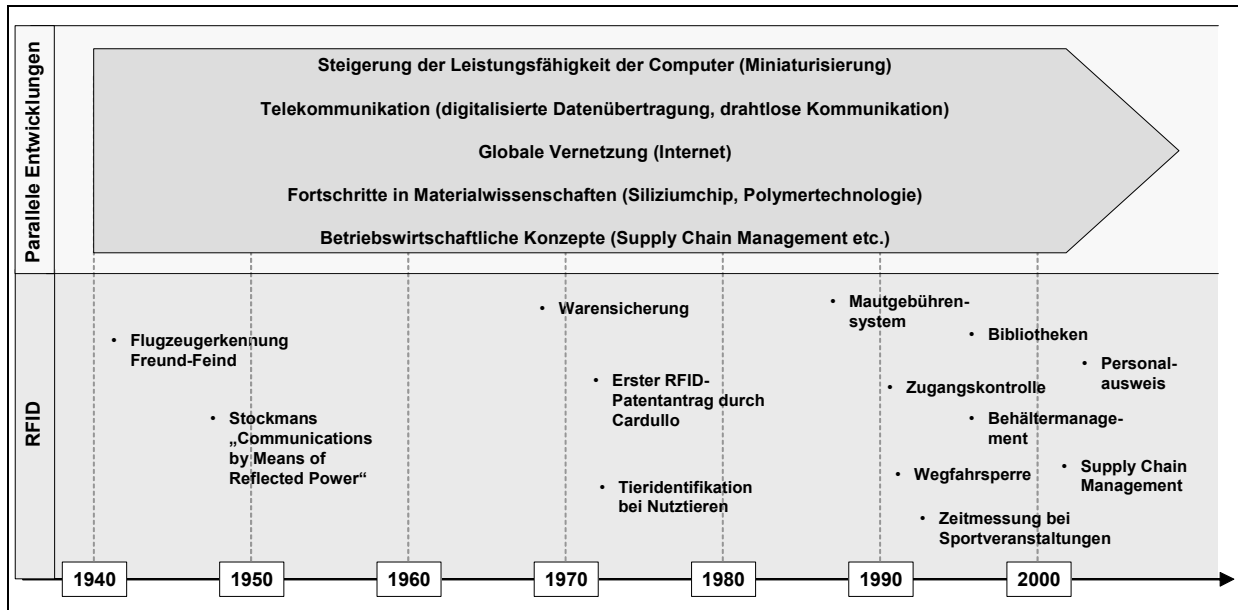


Abbildung 2-4: Meilensteine der RFID-Entwicklung

2.1.3 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.²⁴ Dennoch ist die Vorstellung einiger Grundlagen notwendig, um betriebswirtschaftliche Potenziale und Herausforderungen dieser Technologie richtig einschätzen zu können.

Jede RFID-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 et al. 2005, S. 71).

²⁴ Der technisch interessierte Leser sei in diesem Sinne auf die Publikation von FINKENZELLER (2002) verwiesen.

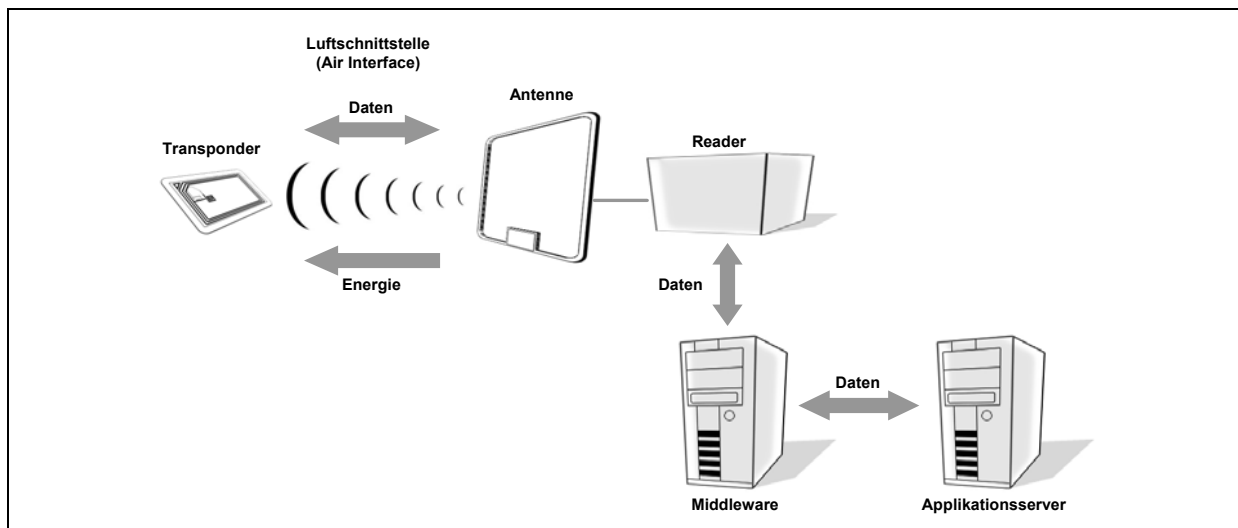


Abbildung 2-5: Aufbau und Funktionsweise eines RFID-Systems²⁵

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

Die Bezeichnung Transponder setzt sich aus den englischen Begriffen „Transmitter“ und „Responder“ zusammen (vgl. Bald 2004, S. 91; Meyer 2005, S. 22)²⁶ und wurde aus der Nachrichtentechnik übernommen, wo sie eine aus Funkempfänger und nachgeschaltetem Sender bestehende nachrichtentechnische Anlage bezeichnet (vgl. Pflaum 2001, S. 39).²⁷ 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

²⁵ 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 et al. 2005, S. 70 f.). Mancherorts wird auch noch das Objekt, an dem der Transponder befestigt ist, dazugezählt (vgl. bspw. Agarwal 2001, S. 9).

²⁶ 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).

²⁷ 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“, „Etikett“ oder „Label“.

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.²⁸ Abbildung 2-6 illustriert den Aufbau eines passiven RFID-Transponders (in Anlehnung an Kern 2006, S. 75).

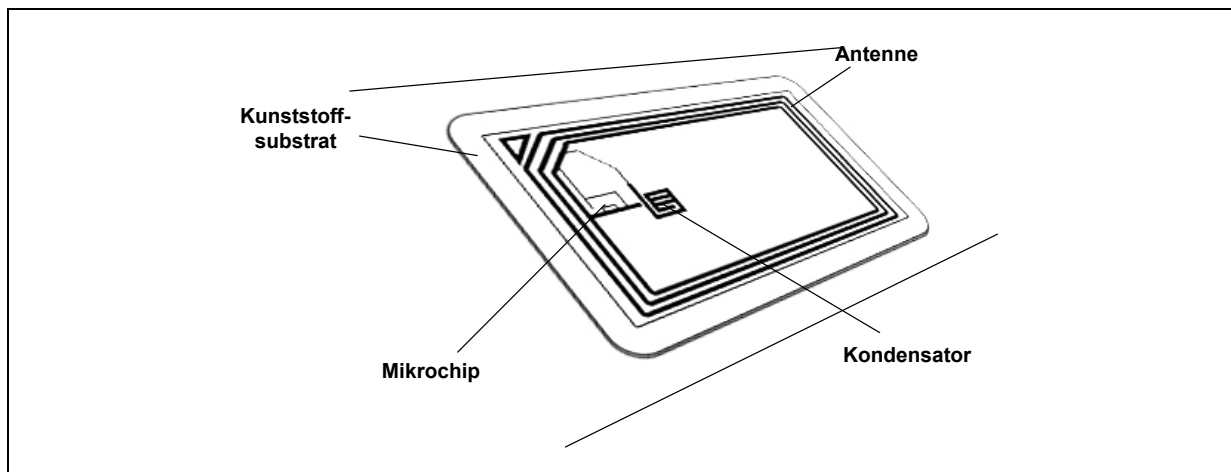


Abbildung 2-6: Aufbau eines passiven RFID-Transponders

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 Thorndike/Kasch 2004, S. 32 f.; Lampe et al. 2005, S. 73; Meyer 2005, S. 23). Passive Transponder besitzen keine eigene Energiequelle. Sie beziehen die zur Datenübertragung notwendige Energie aus dem elektromagnetischen Feld, welches vom Lesegerät erzeugt wird. Dadurch besitzen sie einerseits eine geringe Lesedistanz.²⁹ 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 Pen-

²⁸ Eine detaillierte Beschreibung der Herstellung eines Transponders findet sich bei KERN (2006, S. 185 ff.).

²⁹ 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).

dants.³⁰ 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. Tabelle 2-1 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>

Tabelle 2-1: 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 et al. 2005, S. 73). So ermöglicht die weltweit am häufigsten genutzte 13,56 MHz-Frequenz (High Frequency) eine Pulkerfassung³¹, 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

³⁰ Diesen Nachteil der aktiven Systeme adressieren JONES ET AL. (2006), indem sie einen sog. passiv-aktive Transponder („*Passive Active RFID Tag*“) konzipieren. Der Batterieverbrauch wird dadurch reduziert, dass während der Zeit, in der keine Auslesung des Transponders durch einen Reader erfolgt, dieser in einen (passiven) Schlafmodus versetzt wird.

³¹ Unter Pulkerfassung wird die gleichzeitige Identifikation mehrerer Objekte im Lesefeld bezeichnet.

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 et al. 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.).

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).

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.³²
- 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 dis-*

³² Zu derzeitigen Transponderpreisen vgl. Kapitel 5.3.3.5.1.

tributes 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.; Meyer 2005, S. 23; Kern 2006, S. 68 ff.). 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/Holtzman 2006, S. 20).

*Middleware*³³

Die Daten eines RFID-Systems fallen ereignisorientiert an. Sobald ein Transponder sich in der Reichweite eines Lesegerätes befindet, sendet er seine Daten an dieses. Eine Weiterleitung der Daten an die angeschlossenen Anwendungssysteme ist in den meisten Fällen aufgrund des rohen Charakters (vgl. Kapitel 3.1.1) 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 et al. 2003, S. 8).³⁴

Luftschnittstelle

Die Luftschnittstelle (englisch: Air Interface) 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/Holtzman 2006, S. 20). 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.

³³ Allgemein bezeichnet der Begriff Middleware eine zwischen der Betriebssystem- und Anwendungsebene angesiedelte Funktionsschicht.

³⁴ „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).

171). Die folgende Abbildung 2-7 stellt die wichtigsten RFID-Frequenzbereiche mit den dazugehörigen Standards dar (in Anlehnung an Kern 2006, S. 41 ff. und BITKOM 2005, S. 13).

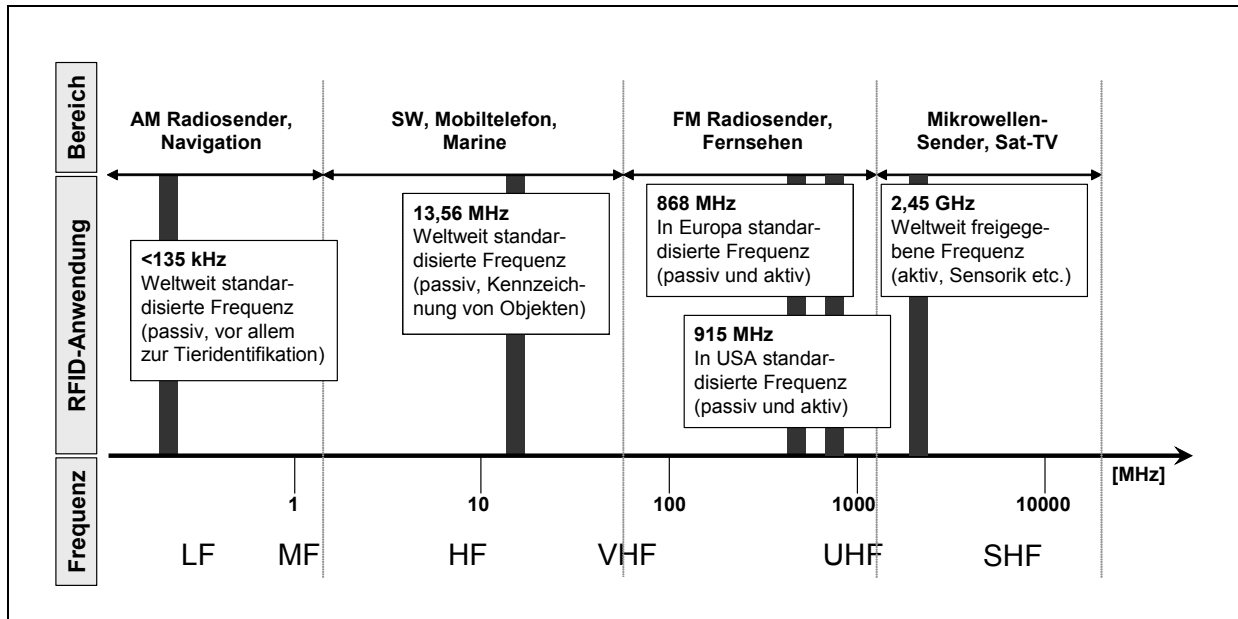


Abbildung 2-7: RFID-Frequenzbereiche und Standards

2.1.4 Rolle in IT-Konzepten

RFID gehört zu den Schlüsseltechnologien in den Konzepten *Automatische Identifikation*, *Ubiquitous Computing* und *Interorganisatorische Systeme*. Nachfolgend werden diese Bereiche erläutert und die Rolle von RFID in dem jeweiligen Konzept verdeutlicht.

Automatische Identifikation

RFID-Systeme gehören dem Bereich der automatischen Identifikation (Auto-ID) an, in welchem noch folgende Auto-ID-Systeme existieren: Barcodes, Optical Character Recognition, Chipkarten und biometrische Verfahren (vgl. Finkenzeller 2002, S. 2 ff.).

Auto-ID-Systeme

Der **Barcode** ist ein Binärcode aus parallel angeordneten Strichen und Trennlücken, dessen Ablesung über die optische Laserabtastung 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.³⁵ Bei **Optical Character Recognition** (OCR, 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, finden sie aufgrund der relativ hohen Kosten und komplizierten Lesegeräte nur in speziellen Bereichen Anwendung (bspw. Erfassung von Überweisungsaufträgen in Banken). Bei der **Chipkarte** handelt es sich um einen elektronischen Datenspeicher, bei dem der Datenaustausch durch galvanisches Kontaktieren erzeugt wird. Die kontaktbehafte Identifikation stellt zugleich den größten Nachteil dieser Technologie dar. Anwendung finden Chipkarten vor allem als Handy- und EC-Karten. Unter **biometrischen Verfahren** 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 (vgl. 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).³⁶ Da die Barcode-Technologie in der Einführungszeit gegen kein alternatives Identifikationssystem ankämpfen musste, konstatieren McFARLANE und SHEFFI, dass „*the hurdle now is much higher – the new system must be demonstratively better than the bar code*“ (McFarlane/Sheffi 2003, S. 15). 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 2-8). Wie die Praxis zeigt, stellen die Wechselkosten (Switching Costs) jedoch immer noch eine Barriere für eine stärkere Diffusion der RFID-Technologie dar.

³⁵ 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).

³⁶ Aufgrund des innovativen Charakters von RFID („*RFID as a disruptive innovation*“, Krotov/Junglas 2008, S. 50) 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). Anders sehen es WHITE ET AL. (2008, S. 102): „*[...] RFID only being an evolutionary progression from barcode technology, rather than a radical or discontinuous technology*“.

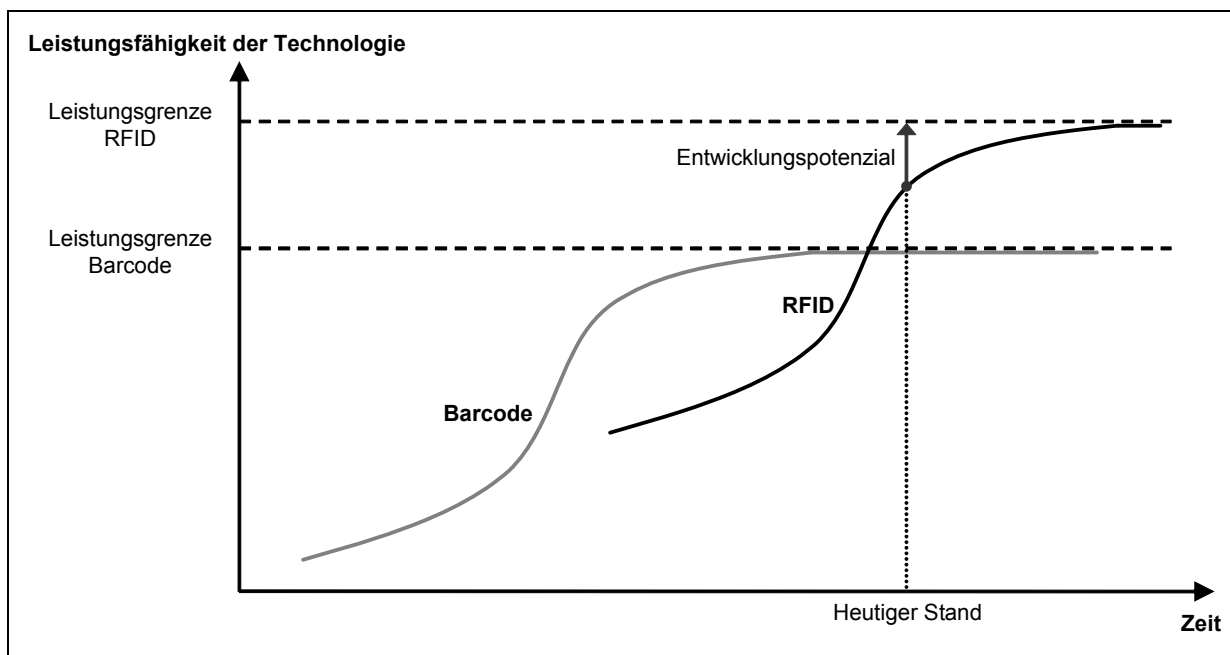


Abbildung 2-8: S-Kurven der Barcode- und RFID-Technologie

Tabelle 2-2 vergleicht beide Systeme miteinander (Darstellung in Anlehnung an Witzki 2002; Penttilä et al. 2004; Strassner 2005; 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).

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.³⁷ 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 aufgrund 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.³⁸

³⁷ 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. Sarma 2006, S. 41). Der Autor spricht in diesem Zusammenhang von versteckten Kosten, die bei Barcodes anfallen.

³⁸ Analysten von Forrester Research gehen davon aus, dass 2009 weltweit 45 Milliarden RFID-Chips produziert werden sollen (vgl. Kehrwald 2004, S. 18).

Merkmale/System	Barcode		RFID	
	1D-Codes	2D-Codes	Passiv	Aktiv
Übertragung	<i>optisch</i>		<i>elektromagnetisch</i>	
Lesedistanz	<i>wenige cm</i>	<i>bis 0,5 Meter</i>	<i>0,4 - 1 Meter</i>	<i>bis 10 Meter</i>
Leserate	<i>langsam (manuelles Scannen)</i>		<i>schnell</i>	
Leserichtung	<i>genaue Ausrichtung notwendig</i>	<i>alle Richtungen möglich</i>	<i>alle Richtungen möglich</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>100 - 8.000 €</i>		<i>1.000 - 12.000 €</i>	
Globaler Standard	<i>z.B. EAN</i>	<i>z.B. Data Matrix</i>	<i>EPC</i>	

Tabelle 2-2: Barcode- und RFID-Systeme im Vergleich

Ubiquitous Computing

Aus der Perspektive des Ubiquitous Computing (UbiComp) stellt RFID neben anderen drahtlosen Technologien wie WLAN, GSM und GPS³⁹ eine wichtige Basistechnologie dar, die Objekte zu „smarten

³⁹ Das GPS (Global Positioning System) bezeichnet ein satellitengestütztes Navigationssystem. Ursprünglich im militärischen Bereich eingesetzt, wird es heute zur Positionsbestimmung von Transporteinheiten in der Logistik eingesetzt.

Dingen“ werden lässt (vgl. Kubach et al. 2003, S. 56 ff.; Sander et al. 2006, S. 287 ff.).⁴⁰ 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 et al. 2003, S. 7). Eine weitere Definition präsentieren MAASS und VARSHNEY (2008, S. 212): „*Smart products can be defined as products with digital representations that enable adaptation to situations and consumers*“.

Ubiquitous Computing

Die Vision des Ubiquitous Computing besagt, dass Computer allgegenwärtig und für den Anwender nicht wahrnehmbar werden (vgl. Weiser 1991). Sie erscheinen dem Anwender nicht mehr als identifizierbare Gegenstände, sondern verschmelzen mit der physischen Realität (vgl. Diekmann 2007, S. 10). Das führt dazu, dass die Technologie völlig in den Hintergrund tritt, und damit keine besondere Aufmerksamkeit mehr seitens des Anwenders erfordert (vgl. Pfaff/Skiera 2002, S. 24 ff.). Dem UbiComp liegen vier Paradigmen zugrunde (vgl. Hansmann 2001, S. 18 ff.):

- *Dezentralisierung*: Im UbiComp werden Entscheidungen nicht mehr zentral, sondern dezentral von den Smarten Dingen getroffen. Auch die zur Entscheidung notwendigen Informationen liegen dezentral bei den Objekten vor.
- *Diversifikation*: Die Hard- und Software wird im UbiComp auf eine spezifische Funktionalität abgestimmt. „*Dies steht in einem starken Gegensatz zu dem Einsatz heutiger PCs, die typischerweise eine sehr breite Funktionalität bieten*“ (Diekmann 2007, S. 11).
- *Konnektivität*: Im UbiComp-Szenario wird eine Vernetzung zwischen den smarten Dingen vorausgesetzt, um eine Interaktion dieser untereinander zu ermöglichen.
- *Simplizität*: Die Bedienbarkeit der Computer im UbiComp ist intuitiv und bedarf keiner komplexen Bedienungsanleitung. Dieses Paradigma ist deshalb so wichtig, weil im UbiComp die Anzahl der Computer sehr hoch ist und folglich die Aufmerksamkeit, die einem smarten Ding vom Anwender entgegengebracht wird, sinkt.

Interorganisatorische Systeme

Schließlich spielen RFID-Systeme eine bedeutende Rolle auf dem Gebiet der interorganisatorischen Systeme (IOS)⁴¹ (vgl. Yang/Jarvenpaa 2005). Nach CASH und KONSZYNSKI (1985, S. 134) handelt es sich dabei um „[...] *an automated information system shared by two or more companies*“. Zu interorganisatorischen Systemen werden bspw. EDI-basierte⁴² oder SCM-Systeme⁴³ gezählt. Vor allem die

⁴⁰ Die Basistechnologien werden zunehmend komplementär eingesetzt. Z. B. wird von GUILLEMETTE ET AL. (2008) ein auf dem hybriden Einsatz von RFID- und GPS-Technologien basierendes Lokalisierungssystem vorgestellt; SALMINEN ET AL. (2006) schlagen ein RFID-System zur Verbesserung der Bluetooth-Konnektivität vor.

⁴¹ Auch „*Interfirm Information Systems*“ (vgl. z. B. Kärkkäinen et al. 2007).

⁴² „*Electronic Data Interchange, or EDI, is the business-to-business electronic exchange of business documents in a standard format*“ (Jilovec 2004, S. 9).

Entwicklung des standardisierten Electronic Product Codes (EPC), mit Hilfe dessen jedem Objekt eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen wird, sowie die Anbindung der Unternehmen an das EPCglobal-Netzwerk soll zur Vermeidung von Medienbrüchen an den zwischenbetrieblichen Schnittstellen und letztendlich zu einem effizienteren Datenaustausch führen (siehe Informationskasten auf der nachfolgenden Seite). WHITAKER ET AL. weisen dabei auf einen substanziellen Unterschied zwischen traditionellen IOS-Systemen und RFID hin: RFID-Systeme zeichnen sich aufgrund der eingesetzten (und häufig einmalig verwendbaren) Transponder durch hohe variable Kosten aus. Deshalb gilt es zu evaluieren, ob bestehende IOS-Modelle den Herausforderungen und veränderten Kostenstrukturen der RFID-Systeme gerecht werden (vgl. Whitaker et al. 2007, S. 2 f.).

EPCglobal-Netzwerk

EPCglobal entwickelt seit einigen Jahren eine standardisierte Infrastruktur, die den Einsatz von RFID über Unternehmensgrenzen hinweg ermöglichen soll. Im Mittelpunkt des EPCglobal-Konzeptes steht die EPC-Nummer (Electronic Product Code), mit Hilfe derer jedem Objekt eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen wird (vgl. Machemer 2004, S. 29; Beier et al. 2006; Kern 2006, S. 178). Die ID besteht aus vier Bestandteilen. 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. Bei der Konzeption des EPC wurde die Kompatibilität zum Barcode-System gewahrt, um den parallelen Einsatz beider Technologien zu ermöglichen.⁴⁴

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* (EPCIS) angeboten. Um die Daten zwischen den Komponenten des EPCglobal-Netzwerks und externen Anwendungen austauschen zu können, wurde die XML-basierte Auszeichnungssprache *Physical Markup Language* (PML)⁴⁵ ins Leben gerufen (vgl. Flörkemeier 2005, S. 88 f.). Als Middleware zur Filterung und Aufbereitung von Daten fungierte zunächst eine Software namens *Savant* (vgl. dazu Auto-ID Center 2003, S. 12 ff.). Dieser Plan wurde jedoch im Zuge der Transformation des Auto-ID Centers zu EPCglobal aufgegeben und die konkrete Ausgestaltung dieser Funktionsschicht den Softwareherstellern überlassen (vgl. Thiesse/Michahelles 2006, S. 101 ff.).

Tabelle 2-3 fasst abschließend die Rolle von RFID in den drei dargestellten IT-Konzepten zusammen.

⁴³ Supply Chain Management (SCM) (deutsch: Lieferkettenmanagement) wird in Kapitel 2.2.1 näher erläutert.

⁴⁴ Weitere Informationen zum EPC finden sich bei BROCK (2001a).

⁴⁵ Eine ausführliche Dokumentation der PML ist nachzulesen bei BROCK (2001b).

	Automatische Identifikation	Ubiquitous Computing	Interorganisatorische Systeme
Zweck	Erfassung von Daten zu Objekten	Integration physischer Objekte mit IT-Systemen	Unternehmensübergreifende Datenintegration
Nutzen	Weniger Fehler, keine manuellen Tätigkeiten notwendig, schnellerer Erfassungsvorgang	Möglichkeit der objektbegleitenden Datenspeicherung, Entlastung zentraler Systeme durch Dezentralisierung von Steuerungsaufgaben	Bessere zwischenbetriebliche Kommunikation aufgrund des standardisierten Datenaustauschs
Zentraler Gegenstand der Betrachtung	Transponder, Lesegerät	Objekt, Sensoren, Aktuatoren	Informationsnetzwerk

Tabelle 2-3: Rolle von RFID in IT-Konzepten

2.2 Logistiknetzwerke

Im Folgenden werden zunächst definitorische Grundlagen behandelt (Kapitel 2.2.1). In Kapitel 2.2.2 wird das SCOR-Modell, welches die wesentlichen Prozesse in Logistiknetzwerken beschreibt und in den Hauptabschnitten der vorliegenden Arbeit verwendet wird, erläutert. Danach werden Herausforderungen im Hinblick auf das Management von Logistiknetzwerken dargestellt (2.2.3). Schließlich widmet sich der Abschnitt 2.2.4 den Einsatzmöglichkeiten der RFID-Technologie in Logistiknetzwerken.

2.2.1 Definitorische Grundlagen

Die Begriffe „Logistiknetzwerk“ und „Supply Chain“ werden in der Literatur häufig synonym verwendet (vgl. Busch 2002, S. 4). Dabei findet sich eine Vielzahl von Definitionen dieser Termini (vgl. Tabelle 2-4, chronologisch geordnet).

Jahr	Autor	Definition
1997	Lummus/Alber	<i>"[...] the network of entities through which material flows. Those entities may include suppliers, carriers, manufacturing sites, distribution centers, retailers, and customers."</i>
1998	Cox et al.	<i>"The processes from the initial raw materials to the ultimate consumption of the finished product linking across supplier-user companies" sowie "[...] the functions within and outside a company that enable the value chain to make products and provide services to the customer."</i>
2001	Mentzer et al., S. 4	<i>"A set of three or more entities (organization or individuals) directly involved in the upstream and downstream flows of products, services, finances, and/or information from source to a customer"</i>
2006	De Man, S. 4	<i>"Networks are defined as selected sets of multiple autonomous organizations, which interact directly or indirectly, based on one or more alliance agreements between them. The aim of networks is to gain a competitive advantage for the individual organizations involved and occasionally for the network as a whole as well."</i>
2007	Chopra/Meindl, S. 3	<i>„A supply chain consists of all parties involved, directly or indirectly, in fulfilling a customer request.“</i>
2007	Schönsleben, S. 12	<i>„Ein Logistiknetzwerk bzw. eine Supply Chain ist die Zusammenfassung der Logistik mehrerer Mithersteller oder Ko-Hersteller („co-maker“) zu einer umfassenden Logistik.“</i>

Tabelle 2-4: Definitionen des Begriffs Logistiknetzwerk

Die Mehrzahl der Autoren ist sich dabei einig, dass Logistiknetzwerke – der Graphentheorie⁴⁶ folgend – aus Knoten (Akteuren) und Kanten ((Leistungs-)Beziehungen zwischen den Akteuren) bestehen (vgl. Gronau 2004, S. 208). Aus der Flussperspektive kann die Komplexität der Beziehungen im Wesentlichen auf Material-, Informations- und Geldflüsse reduziert werden (vgl. Göpfert 2002, S. 30). Das Logistiknetzwerk wird häufig als ein Graph aus der Sicht eines fokalen Akteurs (in der Regel des Herstellers oder des Händlers mit der höchsten Marktmacht) dargestellt (siehe Abbildung 2-9, in Anlehnung an Lambert et al. 1998). Das Management von Logistiknetzwerken (bzw. SCM – Supply Chain Management)⁴⁷ hat die Aufgabe, die genannten Flüsse zu optimieren (vgl. Arndt 2004, S. 46).

⁴⁶ Eine detaillierte Übersicht zum Thema Graphentheorie findet sich z. B. bei DIESTEL (2005).

⁴⁷ Eine pragmatische Definition des Begriffs Supply Chain Management (SCM) liefern KUHN und 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.“* 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).

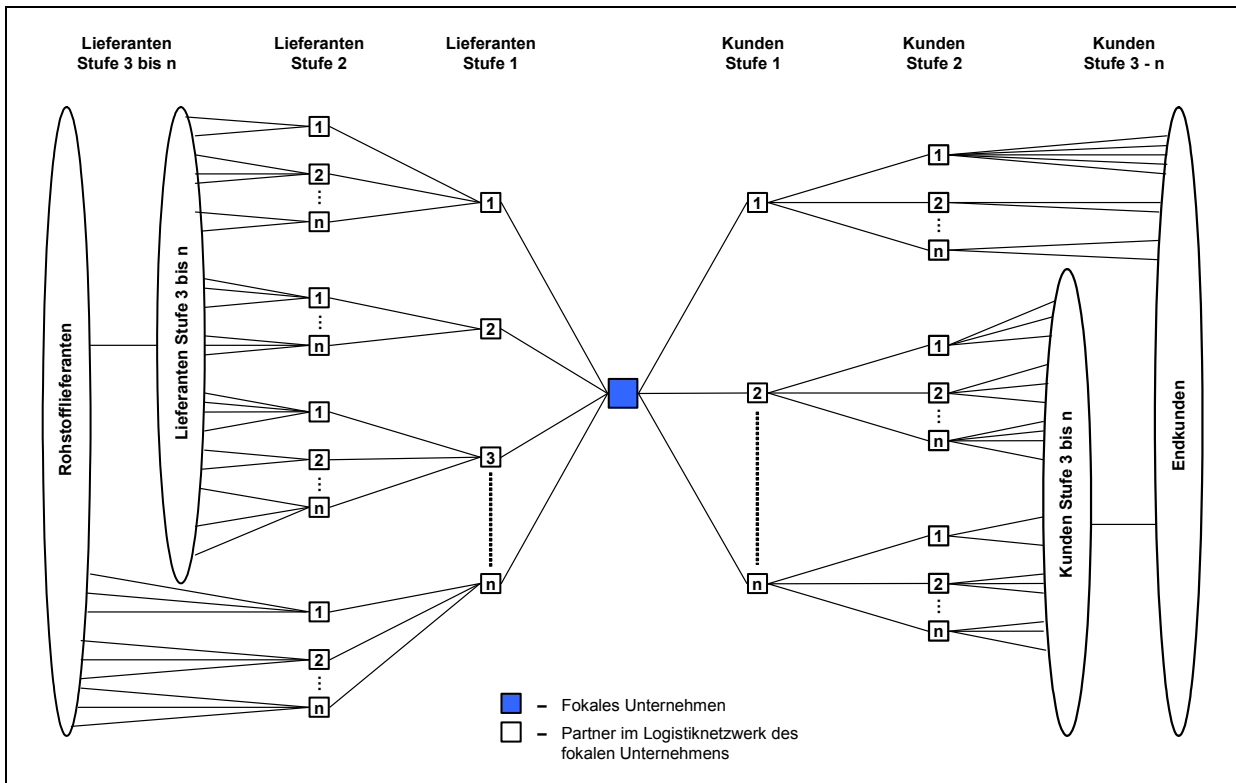


Abbildung 2-9: Struktur eines Logistiknetzwerks

Logistiknetzwerke zeichnen sich generell durch zwei Funktionen aus (vgl. Fisher 1997, S. 108). Die **physische** Funktion bezieht sich auf den Transport, die Lagerung und (Weiter-)Verarbeitung von Produkten. Das Ziel ist dabei der möglichst optimale Einsatz der vorhandenen Ressourcen (Transportmittel, Lagerplätze, Produktionsressourcen). Die relevanten Kosten umfassen dementsprechend Transport-, Lager- und Produktionskosten. Daneben zeichnen sich Logistiknetzwerke durch eine **Marktmediations**-Funktion aus, also eine möglichst schnelle Reaktion auf eine veränderte Marktnachfrage (z. B. durch die Umkonfigurierbarkeit der Herstellungsprozesse). Die relevanten Kosten bilden hier die jeweiligen Opportunitätskosten, die vor allem auf Prognosefehler, eine verminderte Kundenzufriedenheit (dadurch entgangene Umsätze) und Konventionalstrafen zurückzuführen sind.

ALICKE betont, „dass es bei der Konzeption von Supply Chains immer nötig ist, die Supply Chain zusammen mit den betroffenen Produkten zu betrachten“ (Alicke 2005, S. 150 ff.). Nach FISHER (1997, S. 107) können dabei grundlegend zwei Arten von Produkten unterschieden werden: **Funktionale** Produkte zeichnen sich insbesondere durch eine niedrige Variantenanzahl sowie eine sehr hohe Preissensibilität⁴⁸ aus (z. B. industrielle Standardprodukte). **Innovative** Produkte besitzen dagegen eine hohe Anzahl an Varianten (z. B. individuelle Konfiguration durch den Kunden) und eine niedrige Preissensibilität. Dies trifft beispielsweise auf technische Produkte (wie etwa Laptops) und Luxusgüter zu.

Die beiden Produktarten verlangen nach unterschiedlicher Gestaltung des Logistiknetzwerks. Die funktionalen Produkte sollten durch **effiziente** (stärker auf die physische Funktion ausgerichtete),

⁴⁸ Preissensibilität beschreibt den Grad der Abhängigkeit des Produktabsatzes von dem Produktpreis. Ist die Preissensibilität bspw. gering, ändert sich der Absatz bei einer Preisänderung nur geringfügig.

während innovative Produkte durch **flexible**⁴⁹ (stärker auf die Marktmediations-Funktion fokussierte) Logistiknetzwerke fließen. Abbildung 2-10 stellt den Zusammenhang zwischen Produktart und Ausrichtung des Logistiknetzwerks grafisch dar.

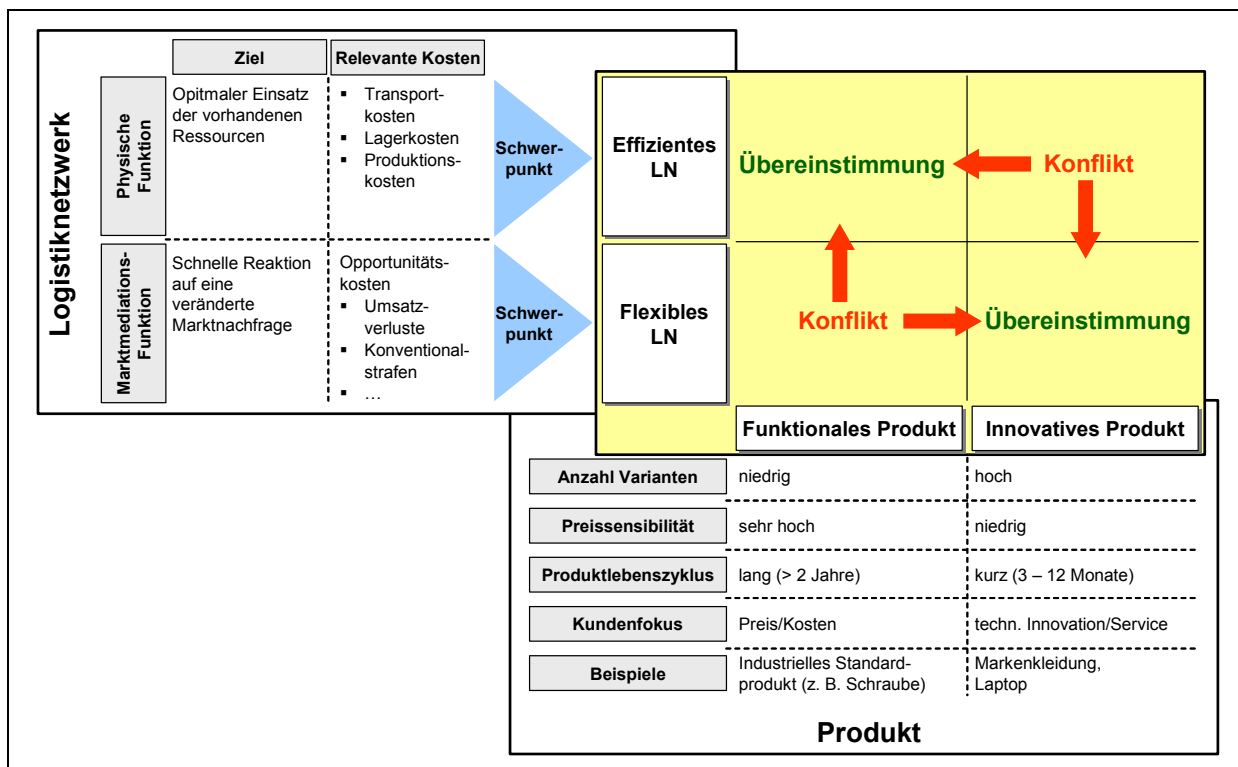


Abbildung 2-10: Zuordnung der Produktart zum Logistiknetzwerk

2.2.2 SCOR-Modell

Das **SCOR-Modell (Supply-Chain-Operations-Reference-Modell)** wurde 1997 vom Supply-Chain Council⁵⁰ entwickelt, um die Kommunikation zwischen den Geschäftspartnern durch ein branchenunabhängiges und standardisiertes Referenzmodell zu erleichtern und damit eine Grundlage für die Analyse der Effizienz der SC-Prozesse zu schaffen (vgl. im Folgenden Supply-Chain Council 2005). Das Modell basiert auf den fünf Prozessen Planung (Plan), Beschaffung (Source), Herstellung (Make), Distribution (Deliver) und Entsorgung (Return). Auf der Konfigurationsebene gliedern sich die fünf Kernprozesse in Prozesskategorien auf. Diese beschreiben, wie „die Prozesse der Supply Chain geplant, das Material beschafft, die Produkte hergestellt und geliefert und Rückgaben entsorgt werden“ (Schmidt 2006, S. 56). Auf der dritten Ebene, der Gestaltungsebene, werden Prozesselemente definiert (z. B. besteht der Herstellungsprozess aus den Elementen Produktionsplanung, Materialausgabe, Produktion, Verpackung, Einlagerung und Produktfreigabe). Auf der vierten Ebene, die keine Modellierungselemente

⁴⁹ ALICKE benutzt den Begriff „responsives“ Logistiknetzwerk (vgl. Aliche 2005, S. 146).

⁵⁰ Das Supply-Chain Council (www.supply-chain.org) ist eine Non-Profit-Organisation, die 1996 von den zwei Unternehmensberatungen PRTM und AMR Research gegründet wurde. Aktuell beläuft sich die Mitgliederzahl auf mehr als 1.000 Unternehmen.

mehr im Rahmen des SCOR-Modells enthält, werden unternehmensspezifische Prozessschritte definiert. Das Ebenenkonzept sieht vor, dass die Prozessschritte der Implementierungsebene bei Bedarf in weiteren Ebenen (Ebene 5, Ebene 6 etc.) detailliert werden können. Abbildung 2-11 veranschaulicht das SCOR-Modell grafisch (in Anlehnung an Schmidt 2006, S. 55).

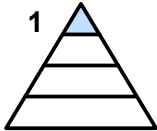
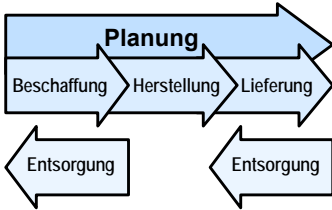
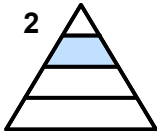
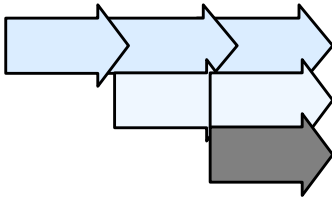
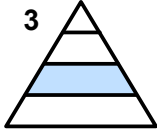
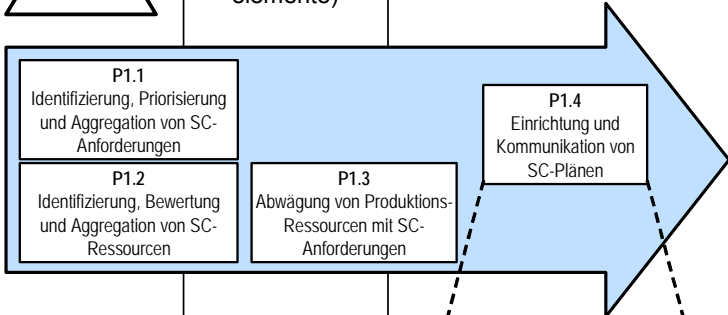
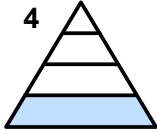
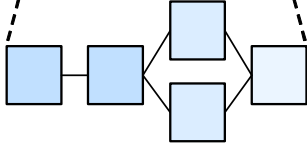
	Ebene		Schema	Anmerkung
	Nr.	Beschreibung		
Supply-Chain Operations Reference-Model	<p>1</p> 	Höchste Ebene (Prozesse)		Definition des Umfangs und Inhalts der Supply Chain eines Unternehmens
	<p>2</p> 	Konfigurationsebene (Prozesskategorien)		Konfiguration der SC anhand von ca. 30 Prozesskategorien
	<p>3</p> 	Gestaltungsebene (Prozesselemente)		Ebene 3 beinhaltet: - Definition der Prozesselemente - Input und Output jedes Elements (Information) - Benchmarks, falls anwendbar - Softwareanwendungen
Nicht Teil des Modells	<p>4</p> 	Implementierungsebene (Dekomposition der Prozesselemente)		Implementierung spezifischer SCM-Praktiken (ist nicht mehr im Referenzmodell enthalten)

Abbildung 2-11: SCOR-Modell

2.2.3 Herausforderungen für das Management von Logistiknetzwerken

Eine der Kernaufgaben des Managements von Logistiknetzwerken bildet die unternehmensübergreifende Informationsversorgung, wobei die IT *„makes it possible to enable more information to travel more accurately and more frequently along the chains and to synchronize the activities of the chains“* (Zeng/Pathak 2003, S. 658). Die generelle Bedeutung der Information wächst dabei mit steigender Anzahl der Akteure, Produkte und Materialien (sowie steigenden Kundenanforderungen). Einen bedeutenden Komplexitätstreiber bildet hier die zunehmende Verringerung der Wertschöpfungstiefe, die zu einer größeren Verzweigung von Logistiknetzwerken führt (vgl. Corsten et al. 2004, S. 276 ff.).

Vor diesem Hintergrund wird es immer wichtiger aus den großen Datenmengen *„diejenigen Daten zu selektieren und zu Informationen zu verarbeiten, die die Bedürfnisse der jeweiligen Verwender am besten erfüllen“* (Steven/Krüger 2002, S. 171 f.). Bei einer Umfrage der ABERDEEN GROUP, an der über 150 Unternehmen teilnahmen, konnte derweil festgestellt werden, dass nur 10 Prozent der befragten Unternehmen der Meinung waren, dass sie die notwendigen SCM-Technologien einsetzen (vgl. Aberdeen Group 2006).⁵¹

Neben der häufig unzureichenden Verfügbarkeit und Qualität von Daten werden mit der Zurückhaltung bei der Datenbereitstellung an Lieferanten und Kunden sowie einer fehlenden netzwerkweiten Informationspolitik zwei weitere Herausforderungen in der gängigen Management-Praxis identifiziert (vgl. Göpfert 2002, S. 37). Die von den Akteuren einer Wertschöpfungskette isoliert vorgenommene Bedarfsplanung erzeugt dabei den sog. Bullwhip-Effekt (deutsch: Peitscheneffekt). Eine auf RFID-Daten basierte integrierte Planung kann zur verbesserten Entscheidungsfindung beitragen und letztendlich zu einer Abschwächung des Bullwhip-Effekts führen.

⁵¹ Bei der Studie war die Verteilung der Antworten auf die Frage, ob die eingesetzte SCM-Technologie den Bedürfnissen der Unternehmen entspricht (*„Extent to which supply chain technology meets needs“*) folgendermaßen: *„Technology meets our needs“* (10%), *„Our technology needs improvement“* (44%), *„We lack the technology we need“* (46%) (vgl. Aberdeen Group 2006).

Bullwhip Effekt

Der Bullwhip-Effekt äußert sich in immer größeren Schwankungen der Bestellmenge, je weiter ein Unternehmen in der Wertschöpfungskette vom Endkunden entfernt ist (vgl. Lee et al. 1997; Keller 2004). Der Effekt tritt vor allem aufgrund von Verzögerungen der Material- und Informationsflüsse auf. 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.). 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. Die folgende Abbildung 2-12 illustriert die Auswirkungen des Bullwhip-Effekts auf die Bestellmengen in der Supply Chain (in Anlehnung an Corsten/Gabriel 2002, S. 9; Alicke 2005, S. 8).

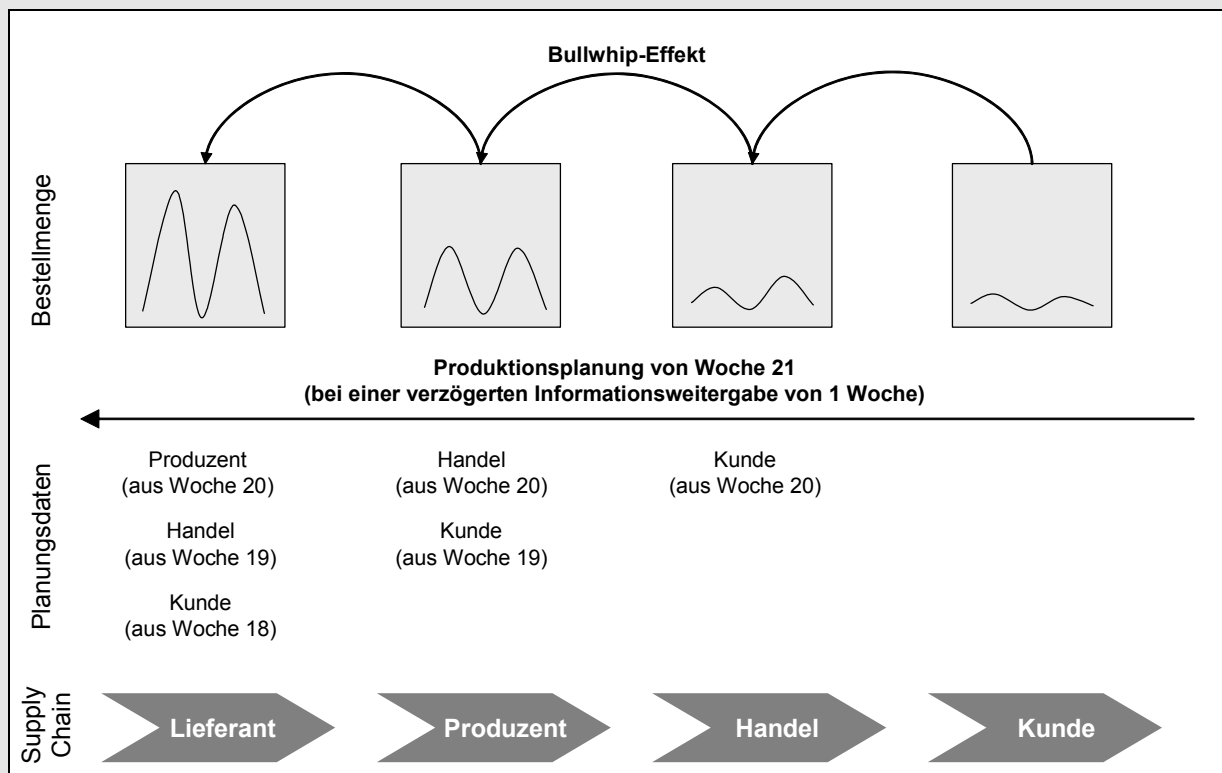


Abbildung 2-12: Nachfrageschwankungen durch den Bullwhip-Effekt

2.2.4 Einsatz von RFID in Logistiknetzwerken

Der Einsatz von RFID-Systemen in Logistiknetzwerken soll die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Herausforderungen adressieren. Der Technologie wird ein positiver Beitrag im Bezug auf die physische und die Marktmediations-Funktion (vgl. Kapitel 2.2.1) attestiert (vgl. Vance 2005; O'Leary 2008, S. 246 f.).

RFID kann im Hinblick auf die *physische Funktion* die Effizienz der Transport-, Lager- (vgl. Mills-Harris et al. 2006; Bagchi et al. 2007) und Produktionsprozesse (vgl. Higuera/Montalvo 2007) erhöhen. Insbesondere können Identifikationsprozesse im Warenein- und -ausgang durch die vollautomatische Datenerfassung beschleunigt werden. Zudem kann der Einsatz RFID-basierter Regale (sog. Smart Shelves) im Lagerbereich zu einer effizienten Lagernutzung und zur Lagerbestandsreduktion bei gleichbleibender Lieferzuverlässigkeit führen (vgl. Decker et al. 2003). Auch die Produktionsprozesse können durch den Einsatz von RFID effizienter gestaltet werden (vgl. Barlow et al. 2006; Lu et al. 2006; Ivantysynova/Ziekow 2008). Der Einsatz von RFID zur Produktionssteuerung ist vor allem in der Automobilbranche weit verbreitet (vgl. Christ et al. 2003, S. 15).⁵²

Einsatz von RFID zur Produktionssteuerung

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. Um eine hohe Produktqualität zu gewährleisten, sind aufwendige Qualitätssicherungsmaßnahmen nötig, wobei automatisierte Erfassungsvorgänge dazu beitragen könnten, die Prozessqualität effizienter zu sichern. Eine weitere Motivation für den Einsatz von RFID bildet die Umsetzung der dezentralen Produktionssteuerung. Beispielsweise nutzt Ford seit längerer Zeit RFID in der Motorenfertigung (vgl. Escort Memory Systems 1998) und die Porsche AG setzt diese Technologie bei der Produktion des Geländewagens „Cayenne“ im Werk Leipzig ein (vgl. Strassner 2005, S. 102). In der Montagehalle wird jedes Fahrzeug anhand des RFID-Transponders am Montageträger erkannt. Die Seriennummer wird an das Produktionsplanungs- und Steuerungssystem 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. Auf diese Weise stehen jederzeit detaillierte und echtzeitnahe Informationen zum Produktionsfortschritt zur Verfügung, die zur schnellen Behebung von Störungen sowie zur Dokumentation der Produktkonfiguration verwendet werden.

Aus der Perspektive der *Marktmediations-Funktion* kann mittels RFID die *Visibilität*⁵³ in Logistiknetzwerken erhöht werden. Den Entscheidern stehen durch die umfassendere Datenerfassung zeitnahe und feingranulare Informationen über Bestände und Materialflüsse zur Verfügung (vgl. Cannon et al. 2008, S. 434). Aufgrund der erhöhten *Visibilität* können beispielsweise Fehlerfolgekosten vermieden werden, die durch eine zu späte Reaktion auf einen Fehler im Logistiknetzwerk – etwa den Einbau fehlerhafter Komponenten in einem Endprodukt – entstehen würden (vgl. Lee/Wolfe 2003).⁵⁴

⁵² Derzeit wird *Wireless Manufacturing (WM)* als ein neues Paradigma im Bereich der Produktionssteuerung diskutiert. Das WM basiert auf drahtlosen Technologien zur Betriebsdatenerfassung wie RFID, Bluetooth etc. (vgl. Huang et al. 2008, S. 701).

⁵³ Der *Visibilitätsbegriff* wird in Kapitel 5.3.2 detailliert betrachtet.

⁵⁴ Eine detaillierte Diskussion der Nutzenpotenziale des RFID-Einsatzes im Hinblick auf die Vermeidung von Fehlerfolgekosten findet sich bei STRASSNER (2005, S. 116 ff.).

Zu den grundlegenden Aufgabengebieten des RFID-Einsatzes in Logistiknetzwerken zählen die Automatisierung (1), Rückverfolgbarkeit (2), das Tracking (3) und die Produktsicherheit (4):⁵⁵

(1) Die **Automatisierungspotenziale** sind derzeit die treibende Kraft der RFID-Einführung in Logistiknetzwerken (vgl. Koh/Staake 2005, S. 161 ff.; Lee et al. 2005, S. 21; Ramachandra 2005, S. 3 ff.). Durch Automatisierungseffekte wird die Prozesseffizienz erhöht, indem wiederkehrende Funktionsabläufe vom Menschen auf Automaten übertragen werden. Hierbei erhöht die RFID-Technologie den Automatisierungsgrad traditioneller Auto-ID-Systeme. In Logistiknetzwerken kommen Automatisierungseffekte vor allem bei der Erfassung im Wareneingang und -ausgang, bei der Ein- und Auslagerung sowie bei Inventurvorgängen zum tragen (vgl. Michael/McCathie 2005, S. 623).

RFID-basierte Automatisierung in der Praxis

Beim deutschen Handelskonzern Metro wurde durch den Einsatz von RFID bspw. die Abwicklung von Paletten im Wareneingang durchschnittlich von 90 auf 70 Sekunden verringert (vgl. Wolfram 2007, S. 307). Der Elektronik-Hersteller Hewlett-Packard konnte die Dauer der Identifikationsvorgänge im Rahmen der Herstellung von Druckern mittels RFID gar von 90 auf 10 Sekunden reduzieren (vgl. Hewlett-Packard 2007, S. 1). In beiden Fällen wurden zeitintensive Barcode-Scan-Vorgänge durch automatische RFID-Erfassungsvorgänge ersetzt.⁵⁶

(2) RFID ermöglicht die effiziente **Rückverfolgbarkeit (Tracing)** von einzelnen Produkten (bisher meistens Chargen) durch die Identifizierung von Produktinstanzen (anstatt wie bisher Produktklassen). Die Einführung von Rückverfolgbarkeitssystemen ist in den meisten Fällen durch gesetzliche Rahmenbedingungen motiviert (bspw. Verordnung zur Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln (EG 178/2002)) (vgl. Hollmann-Hespos 2008, S. 19 f.).⁵⁷ Daneben existieren auch Gründe für die freiwillige Einrichtung von solchen Systemen, wie bspw. die Steigerung der Kundenzufriedenheit durch Bereitstellung von Informationen zur Herkunft von Produkten.

⁵⁵ Eine umfassende Übersicht der existierenden Literatur auf dem Gebiet des RFID-Einsatzes in Supply Chains findet sich bei VISICH ET AL. (2008, S. 8).

⁵⁶ Allerdings sinkt die Einsparung des manuellen Arbeitsaufwandes mit zunehmenden 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 (vgl. Strassner/Fleisch 2005, S. 53). RFID sollte demzufolge nicht nur als Ersatz für Barcode-Systeme, sondern vielmehr als eine weitere Möglichkeiten bietende Technologie verstanden werden (vgl. Beckenbauer et al. 2004, S. 49).

⁵⁷ Seit Oktober 2006 müssen auch alle mit der Nahrung in Berührung kommenden Gegenstände (z.B. Verpackung, Besteck, Transportbehälter) in die Rückverfolgbarkeitskette aufgenommen werden (vgl. Wöhrle 2005, S. 32).

RFID-Sensoren zur Einhaltung der Kühlkette

Ein japanischer Hersteller von hochwertigem Sake setzt die objektbegleitende Datenspeicherung bspw. ein, um die Einhaltung der Kühlkette von der Produktion zum Endkunden sicherzustellen. Am Ende der Produktion wird an jeder Sake-Flasche ein RFID-Transponder befestigt. Während des Transports werden die von Sensoren gemessenen Umgebungstemperaturen auf dem RFID-Tag gespeichert. Besteht die Gefahr, dass bestimmte Temperaturgrenzen überschritten werden, kann bspw. die Leistung des Kühlaggregats des LKW angepasst werden. In den Supermärkten können die Kunden anhand von dort installierten Lesegeräten die Einhaltung der Kühlkette überprüfen (vgl. O. V. 2006).

(3) **Tracking-Systeme** verfolgen – im Gegensatz zu Rückverfolgbarkeitssystemen – die Produkte vom Vorlieferanten zum Endkonsumenten. Damit liefern sie Informationen zum *aktuellen* Aufenthaltsort und Status der Produkte (Rückverfolgbarkeitssysteme liefern *Ex-Post*-Informationen zur Herkunft der Produkte). Tracking-Systeme sind somit ein wesentlicher Bestandteil des sog. Supply Chain Event Managements (SCEM). Darunter wird ein „*kurzfristiges Planungs- und Steuerungskonzept*“ (vgl. Steven/Krüger 2004, S. 179) zur Erfassung, Überwachung und Bewertung von Ereignissen in Logistiknetzwerken verstanden.⁵⁸ Es lässt sich in die drei Bestandteile Informationserhebung, Informationsanalyse und -bewertung sowie Aufbereitung und Auswertung untergliedern (vgl. Schmidt 2006, S. 23). RFID fungiert dabei als Datenlieferant im Bereich der Informationserhebung.

(4) Eine weitere von RFID-Systemen unterstützte Funktion ist die **Produktsicherheit**. Insbesondere in Logistiknetzwerken der Pharma-Branche wird der Einsatz von RFID zur Eindämmung von Produktfälschungen (*anticounterfeit*) diskutiert (vgl. Tuyls/Batina 2006, S. 115 ff.; Lehtonen et al. 2007, S. 211 ff.; Staake et al. 2007, S. 33 ff.; King/Zhang 2008, S. 27 ff.).

Praxisbeispiele des RFID-Einsatzes zur Erhöhung der Produktsicherheit

Das U. S. Amerikanische Unternehmen Pharma Purdue stattet das in kleinen Flaschen distribuierte Schmerzmittel OxyContin mit RFID-Transpondern aus, um der Produktpiraterie in der Lieferkette des Medikaments entgegenzuwirken (vgl. Wassermann 2005). Ein weiteres Beispiel stellt der RFID-Einsatz bei dem Schuhhersteller Reno dar (vgl. Sabbaghi/Vaidyanathan 2008, S. 73). Das 700 Geschäfte in 15 Ländern umfassende Unternehmen stattet Schuhe mit Transpondern aus, um Ladendiebstähle zu vermeiden. Die Transponder werden bereits bei der Herstellung in asiatischen Produktionsstätten in die Produkte integriert.

2.3 Datenmanagement

Für das weitere Verständnis der Arbeit ist eine Definition des Begriffs „Daten“ sowie die Abgrenzung dieses Begriffes zu verwandten Termini notwendig. In der Wirtschaftsinformatik werden **Daten** „*als eine Folge maschinell verarbeitbarer Zeichen [...] verstanden, die Objekte und Objektbeziehungen der*

⁵⁸ Eine detaillierte Darstellung des SCEM im Kontext von RFID-Systemen erfolgt in Kapitel 5.2.3.4.

Realwelt durch ihre Merkmale beschreiben und damit repräsentieren“ (Mertens et al. 2005, S. 54). Sie sind das digitale Spiegelbild der realen Geschäftsobjekte und -prozesse (vgl. Liu/Chi 2002, S. 295).

Das **Datenmanagement** hat die optimale Nutzung der Daten im Unternehmen zum Ziel (Krcmar 2005, S. 111; Heinrich/Lehner 2005, S. 223). Zu den Kernaufgaben zählen dabei die Ermittlung des Datenbedarfs der Organisation („*understanding the data needs of an organization*“) und die Gewährleistung der Verfügbarkeit der Daten zur Unterstützung der Geschäftsprozesse der Organisation („*making the data available to support the operations of an organization*“) (vgl. Thuraisingham 1998). Im Einzelnen werden dabei folgende Datenmanagement-Bereiche unterschieden:

- Datenmodellierung: Hierbei handelt es sich um die formale Beschreibung von Daten und der Interdependenzen zwischen den betrachteten Daten zur strukturierten Erfassung und Dokumentation von Informationen in Datenbank-Systemen.
- Entwurf/Betrieb von Datenbanken: Hierzu gehören vor allem Aufgaben aus dem Bereich der Mehrbenutzersteuerung und Verwaltung großer Datenbestände in Datenbankmanagementsystemen.
- Bedarfsgerechte Aufbereitung und Präsentation der Daten: Die gesammelten Rohdaten müssen zu Präsentationszwecken von Fehlern bereinigt, aggregiert und zu entscheidungsrelevanten Informationen verdichtet werden.
- Datensicherheit und Datenschutz: Ziel ist hierbei die Gewährleistung der Funktionalität, Integrität, Verfügbarkeit, Authentizität und Verbindlichkeit (Datensicherheit) und Vertraulichkeit (Datenschutz) der Daten.
- Datenerfassung: Beschaffung der Daten aus externen Quellen.

Gemäß des **Data Evolution Life Cycle** durchlaufen Daten die Stufen Datensammlung, Datenorganisation, Datenpräsentation und Datenanwendung (siehe Abbildung 2-13) (vgl. Liu/Chi 2002, S. 295). Zunächst werden Daten durch Beobachtung von Geschäftsprozessen und Messung von Objekten der Realwelt gesammelt. Sie werden in einem zweiten Schritt in der digitalen Welt gespeichert und organisiert. Anschließend werden die Daten verarbeitet, (re-)interpretiert, verdichtet und präsentiert. Schließlich werden die Daten für einen bestimmten Zweck verwendet, was eine weitere Datensammlung nach sich ziehen kann.

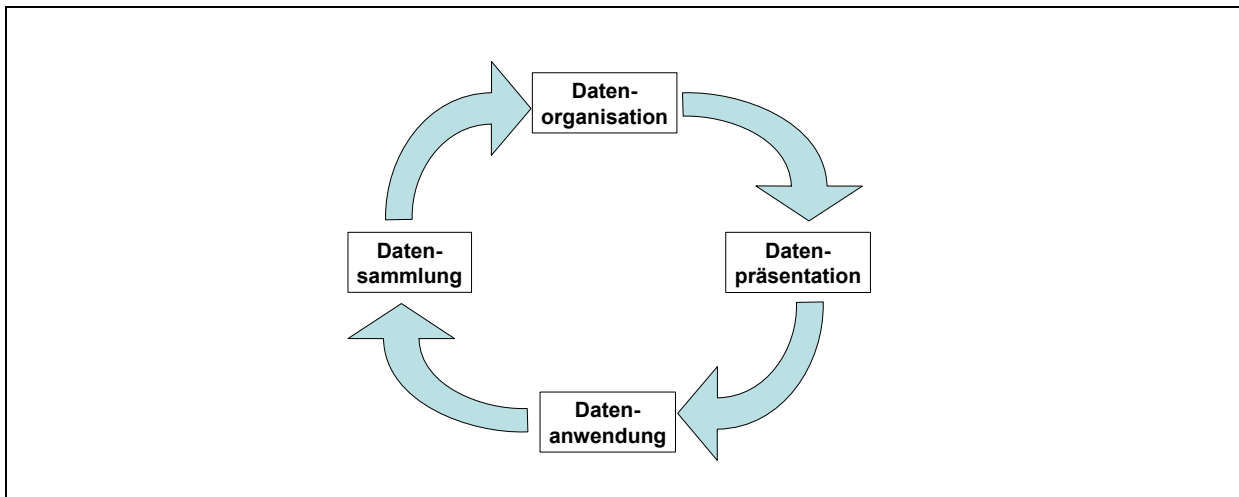


Abbildung 2-13: Data Evolution Life Cycle

Daten können als individuelle Fakten verstanden werden, die isoliert betrachtet in der Regel noch keine für den Menschen verwertbaren **Informationen** darstellen. Sie repräsentieren jedoch Bausteine, aus denen Informationen⁵⁹ generiert werden können. Daten werden dabei zu Informationen, wenn sie gezielt aus Informationssystemen abgerufen und in einem bestimmten Kontext wahrgenommen werden – somit *Bedeutung* erlangen (vgl. Kuhlen 2004, S. 12).⁶⁰ Durch die Vernetzung relevanter Informationen lässt sich wiederum Wissen gewinnen, welches als Grundlage für die Entscheidungsfindung dient (siehe Abbildung 2-14).

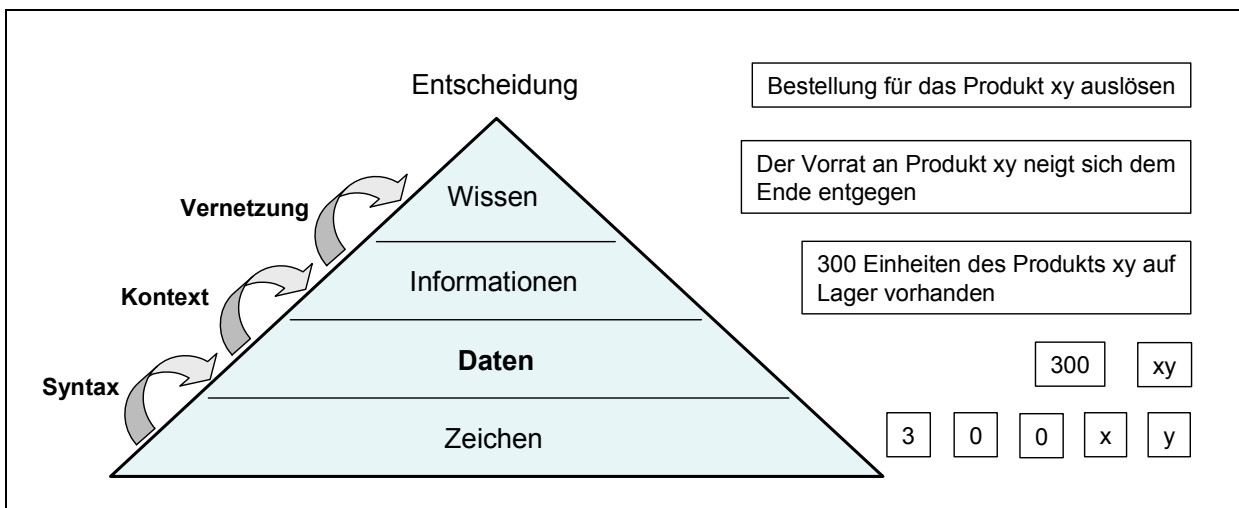


Abbildung 2-14: Rolle der Daten in der Generierung von Entscheidungen

Die Qualität des „Rohstoffs“ Daten hat somit einen bedeutenden Einfluss auf unternehmerische Entscheidungen (vgl. Smith/Offodile 2002, S. 110). Denn je besser die Daten sind, desto besser sind die

⁵⁹ Der Begriff Information stammt von dem lateinischen Wort „Informatio“ (Formung, Bildung durch Unterweisung) ab. Demnach werden rohe Daten durch eine Art „Formung“ (Aggregation, Verdichtung und Interpretation) zu Informationen.

⁶⁰ „Solange niemand eine Abfrage an das System startet und niemand mit den ermittelten Ergebnissen etwas anfängt, sind es eben nur Daten“ (Kuhlen 2004, S. 12).

auf ihrer Grundlage basierenden Informationen, die wiederum zu besseren Entscheidungen führen können. In der Literatur haben sich vorwiegend zwei Definitionen der **Datenqualität**⁶¹ herauskristallisiert: Aus der „subjektiven“ Sicht entsprechen qualitativ gute Daten den Anforderungen der Datenkonsumenten („fitness for use“), während aus der „operativen“ Perspektive Datenqualität als der Abstand zwischen der Datensicht des Informationssystems und den gleichen Daten in der Realwelt definiert wird (vgl. Bertolazzi/Scannapieco 2001). Da sowohl die unterschiedlichen Anforderungen der Datenkonsumenten nicht leicht zu benennen sind als auch Vergleiche mit der Realwelt sich als schwierig erweisen, wird die Datenqualität in der Regel als ein multidimensionales Konstrukt betrachtet (vgl. Liu/Chi 2002, S. 293). In der Literatur werden deshalb mehrere Qualitätsdimensionen, wie bspw. Vollständigkeit, Zugreifbarkeit oder Aktualität, unterschieden (vgl. Strong et al. 1997, S. 104 ff.). Aufgrund der Multidimensionalität gestaltet sich die Messung der Datenqualität – und somit die Abschätzung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von Datenmanagement-Maßnahmen – als schwierig (vgl. Naumann 2007, S. 28).

⁶¹ Datenqualität wird häufig synonym mit dem Begriff „Informationsqualität“ verwendet.

3 Charakterisierung des RFID-Datenmanagements

In diesem Abschnitt wird mit der Charakterisierung des RFID-Datenmanagements ein Fundament für die detaillierte Untersuchung der Forschungsfragen in den späteren Abschnitten gelegt. Zunächst werden in Kapitel 3.1 die Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf das Datenmanagement diskutiert. Anschließend erfolgt in Kapitel 3.2 die Ableitung von Zielen und die Formulierungen von relevanten Fragestellungen im Bereich des RFID-Datenmanagements.

3.1 Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf das Datenmanagement

Der Einsatz von RFID stellt das Datenmanagement zum einen vor Herausforderungen (Kapitel 3.1.1), zum anderen hat die Technologie auch positive Auswirkungen, die als Chancen begriffen werden können (3.1.2).

3.1.1 Herausforderungen

Die wesentlichen Herausforderungen leiten sich zum einen aus den technologischen Eigenschaften der RFID-Technologie und zum anderen aus der Charakteristik der RFID-Daten ab und werden im Folgenden dargestellt.

Herausforderung 1: RFID-Datenerfassung unterliegt äußeren Einwirkungen

RFID-Systeme nutzen Radiowellen zur Kommunikation zwischen Transponder und Lesegerät. Dies führt zwar einerseits dazu, dass Objekte aus gewisser Entfernung ohne Sichtkontakt identifiziert werden können. Andererseits unterliegt der Identifikationsvorgang jedoch den üblichen physikalischen Einflüssen (Interferenzen, Reflexionen). So kann die Empfindlichkeit der elektromagnetischen Wellen gegenüber Metall zur Folge haben, dass Transponder in metallischen Umgebungen nicht erkannt werden (vgl. Strassner et al. 2005, S. 190).⁶² Aufgrund von Reflexionen können wiederum Daten eines entfernten Transponders unbeabsichtigt gelesen werden. Es werden somit alle möglichen Transponder – auch die unerwünschten – ausgelesen, deren Signale vom Lesegerät empfangen werden. Weiterhin ermöglicht die RFID-Technologie, Daten mehrerer Objekte gleichzeitig auszulesen (Mehrfach- bzw. Pulkerfassung). Dabei entsteht jedoch ein weiteres Problem in Form von Kollisionen, die im Falle, dass mehrere Transponder gleichzeitig ein Signal versenden, entstehen. Dies kann dazu führen, dass einzelne Transponder nicht erkannt werden und eine lückenhafte Abbildung des Materialflusses erfolgt.

⁶² Vgl. Studien zum Einsatz von RFID in metallischen Umgebungen von LANIEL ET AL. (2009) und SYDÄNHEIMO ET AL. (2006).

Herausforderung 2: RFID-Systeme generieren hohe Datenmengen

RFID-Systeme generieren aufgrund der Erhöhung von Datenerfassungspunkten und -vorgängen sowie der Speicherung zusätzlicher Daten am Transponder ein hohes Datenvolumen, wobei GERHÄUSER und PFLAUM befürchten: „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).

RFID-Datenvolumen in der Praxis

THIESSE und GROSS berichten von einem Beispiel aus der Praxis in dem Bereich der Lokalisierung von Produktionslosen in der Halbleiterfertigung: „Die für die Datenfilterung verantwortliche Middleware verarbeitet pro Tag drei Milliarden Transponderlesungen, aus denen ID-Nummer und aktuelle Position der Lose errechnet werden. Aus dieser Datenmenge werden letztlich 500.000 Identifikations- und Ortsinformationen generiert, die [...] an die Fertigungssteuerung übertragen werden“ (Thiesse/Gross 2006, S. 183).

Hinzu kommt noch die Eigenschaft, dass die Erfassung vollautomatisch geschieht und daher in der Regel nicht bestimmt werden kann, wann die Daten ausgelesen werden – diese fallen kontinuierlich an („continuous data streams“). Hier liegt der entscheidende Unterschied zu herkömmlichen Daten – etwa einer Barcode-Lesung – darin, dass diese bei Bedarf anfallen (synchron), während RFID-Daten fortwährend gelesen werden (also asynchron anfallen) (vgl. Sarma 2004, S. 54).

Kontinuierliche Datenströme vs. diskrete Daten

Im Einzelnen unterscheiden sich kontinuierliche von diskreten Daten in folgenderweise (vgl. Babcock et al. 2002, S. 2):

- Kontinuierliche Daten fallen „online“ am Entstehungsort an.
- Das System hat keine Kontrolle darüber, in welcher Reihenfolge die einzelnen Datenelemente ankommen und bearbeitet werden müssen. Es fallen häufig neue Daten an, obwohl alte Daten immer noch nicht verarbeitet wurden.
- Das Datenvolumen ist im Vorhinein nicht bekannt und kann stark variieren.
- Wenn ein Element des Datenstroms bearbeitet worden ist, kann es nicht mehr in der Originalform abgerufen werden, es sei denn, alle Elemente werden explizit gespeichert. Dies ist jedoch aufgrund des großen Datenanfalls und der im Verhältnis dazu relativ kleinen Speicherkapazität in der Regel nicht möglich.

Herausforderung 3: Erfasste Rohdaten haben wenig Aussagekraft

RFID-Systeme können in erster Linie als Datengeneratoren aufgefasst werden, die hohe Mengen von Rohdaten generieren. Den rohen Charakter verdanken die Daten insbesondere zwei Umständen:

Erstens werden durch das mehrmalige Auslesen von Transpondern im Lesefeld redundante Datensätze gebildet. Zweitens handelt es sich in der Regel um Datentupel, bestehend aus der Transponder-ID, Reader-ID und dem Zeitpunkt der Lesung, die erst durch die Verknüpfung mit anderen Lesungen sowie relevanten Kontextdaten zu sinnvollen Aussagen führen: *„The data produced by physical receptors [...] are notoriously raw: they are dirty, unreliable, and tend to have little meaning to an application. Before the data can be used, they must be cleaned, processed, and transformed to a form that the application can use directly”* (Rizvi et al. 2005, S. 886). Problematisch ist zudem die Datensicherheit, wobei vor allem geklärt werden muss, welcher Akteur welchen Teil der Daten einsehen kann. Andererseits sollten auch nur die für den jeweiligen Akteur relevanten Daten an diesen weitergeleitet werden. Dies stellt hohe Anforderungen an die Datenaufbereitung und -weiterleitung in der RFID-Middleware: *„How will such data be leveraged? What new applications will be necessary to unlock their strategic and tactical value?”* (Curtin et al. 2007, S. 107).

Herausforderung 4: Datenerfassung erfolgt unsichtbar

Die Tatsache, dass der auf Radiowellen basierende Lesevorgang vollautomatisch erfolgt und unsichtbar für das menschliche Auge ist, birgt eine Gefahr für die Datensicherheit bzw. den Datenschutz, da die Transponderdaten in der Regel unauffällig ausgelesen werden können. Die Gefahr wird durch die Möglichkeit verstärkt, dem Objekt umfassende Daten mit auf den Weg durch das Logistiknetzwerk zu geben. Diese Supply Chain-Daten können theoretisch von Konkurrenten ausspioniert werden, indem Transponder an dedizierten Stellen ausgelesen werden. Alternativ dazu kann auch die Kommunikation über die Luftschnittstelle abgehört werden. In beiden Fällen kann es zur Auswertung der Informationen aus Verkehrsmustern zwischen Transponder und Lesegeräten kommen (etwa hinsichtlich der übertragenen Datenmenge oder der Anzahl der Lesevorgänge). Dadurch kann beispielsweise aus Informationen über Lagerabgänge sowie -zugänge auf Nachbevorratungs-Strategien geschlossen werden: *„Individually tagged objects could also make it easier for competitors to learn about stock turnover rates; corporate spies could walk through shops surreptitiously scanning items“* (Juels 2005a). Eine weitere Bedrohung bildet das sog. „Spoofing“, bei dem Transponder vom Angreifer imitiert werden, um auf diese Weise an die Transponderdaten zu kommen (Weis et al. 2003, S. 457 f.), sowie das sog. „Cloning“ – die Auslesung der Daten und Nachbildung von Transpondern, um beispielsweise hochwertige Produkte zu fälschen („counterfeiting“) (vgl. Juels 2005b, S. 151 f.).⁶³

⁶³ Auch die RFID-Infrastruktur kann mit z. B. Denial-of-Service-Attacken (DoS) gezielt angegriffen werden, wodurch der Datenfluss empfindlich gestört wird. Physikalische Angriffe können beispielsweise die Unterbrechung der Stromzufuhr des Lesegerätes oder die übermäßige mechanische Beanspruchung der Komponenten beinhalten. Eine weitere Bedrohung bildet die sog. Abschirmung, bei der die Funkschnittstelle durch z. B. Metallobjekte abgeschirmt bzw. mittels gezielter Störsignale beeinträchtigt werden kann (vgl. Weis et al. 2003, S. 457 f.). Fallen einzelne Transponder oder Lesegeräte aus bzw. werden deren Daten böswillig manipuliert, stimmt das digitale Abbild mit der Realwelt nicht überein. Dies kann einen direkten Einfluss auf den Materialfluss haben, der aufgrund fehlender Informationen aufgehalten wird oder im Extremfall zusammenbricht. Diese Gefahr ist zwar nicht spezifisch für RFID-Systeme, wird jedoch durch den Einsatz der gegenüber Umgebungsstörungen sensiblen Radiofrequenz-Technologie verstärkt.

Im Bezug auf das Datenmanagement in Logistiknetzwerken können zudem die folgenden organisatorischen Herausforderungen identifiziert werden.

Herausforderung 5: Die Bereitstellung der RFID-Daten an die Akteure des Logistiknetzwerks erfordert den Aufbau eines komplexen Informationsnetzwerks

Werden RFID-Systeme unternehmensübergreifend eingesetzt, liegt eine entscheidende Herausforderung in der Weiterleitung der relevanten Daten an die Netzwerkpartner. Eine Möglichkeit, die notwendigen Informationen zu den Produkten an die SC-Akteure zu propagieren, bietet die Speicherung zusätzlicher Daten am Objekt (vgl. Kapitel 4). Allerdings müssen dann immer noch Informationen über RFID-basierte Ereignisse (etwa „Die Lieferung mit den Produkten X_1, X_2, \dots, X_n ist im Wareneingang der SC-Stufe S“ eingetroffen) den Netzwerkpartnern bereitgestellt werden. Hierzu ist der Aufbau eines Informationsnetzwerks notwendig. EPCglobal entwickelt in diesem Zusammenhang seit einigen Jahren eine standardisierte Infrastruktur, die den Einsatz von RFID über Unternehmensgrenzen hinweg ermöglichen soll.⁶⁴

Herausforderung 6: Fehlende unternehmensübergreifende Standards für RFID-Daten

Standards spielen eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz neuer Technologien. Beispielsweise hat die Standardisierung des EAN-Codes 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). Einen wichtigen Meilenstein der RFID-Standardisierung markierte die Einführung des auf dem UHF-Frequenzband operierenden „Gen 2“-Standards (EPC Class 1 Generation 2) im Dezember 2004. Der Standard führt zu Verbesserungen im Bereich des Datenschutzes ein, vor allem den Kill-Befehl zum Deaktivieren des Tags und die Möglichkeit der Verwendung von 32-Bit-Passwörtern zur Regelung des Speicherzugriffs. Zum anderen werden auch technische Aspekte adressiert, indem eine bessere Lesbarkeit, ein schnellerer Datentransfer (bis zu 640 kB/s) und eine bessere Validierung der Daten gewährleistet werden (vgl. Thiesse/Michahelles 2006, S. 101 ff.). Allerdings gibt es über die Speicherung einer eindeutigen ID hinaus noch keine Standards im Hinblick auf Datenstrukturen auf dem Transponder (vgl. Want 2004, S. 46; Harmon 2006, S. 42 ff.). Dies verhindert derzeit einen flächendeckenden unternehmensübergreifenden Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.

3.1.2 Chancen

Zu den Chancen, die sich durch den RFID-Einsatz für das Datenmanagement ergeben, gehören die effiziente Datenerfassung, erhöhte Datengranularität und Integration der Daten mit logistischen Objekten.

⁶⁴ Vgl. hierzu Kapitel 2.1.4.

Chance 1: Effiziente Datenerfassung

Da die Erfassung mittels RFID keine manuellen Tätigkeiten erfordert, sinken die Kosten für den Erfassungsvorgang. Durch diesen Umstand kommt es in RFID-gestützten Prozessen in der Regel zu einem Anstieg der Erfassungsvorgänge und -punkte, insbesondere an den Stellen im logistischen Prozess, an denen etwa eine Barcode-Lesung zu aufwendig erscheint. Beim Einsatz sog. „Smart Shelves“⁶⁵ werden bspw. fortwährend Daten zu den im Regal befindlichen Objekten ausgelesen. Dadurch steht den Entscheidern eine umfangreiche Datenbasis zur Verfügung, die vielfältige – und vor allem neuartige – Analysen erlaubt. So können in dem genannten Beispiel am Point of Sale (POS)⁶⁶ Entnahmevorgänge von Konsumenten dokumentiert und aufbauend auf den Erkenntnissen z. B. das Regallayout optimiert werden.

Chance 2: Erhöhte Datengranularität

Neben der effizienten Datenerfassung stellt auch die erhöhte Datengranularität eine Chance im Rahmen des Datenmanagements dar. Insbesondere die örtliche und zeitliche Granularität sowie die Datenreichhaltigkeit sind vom RFID-Einsatz betroffen: Durch den Einsatz von RFID steigt – wie bereits im vorhergehenden Punkt behandelt – in der Regel die örtliche (Anzahl der Lesepunkte) und zeitliche (Anzahl der Lesevorgänge) Granularität. Daneben erhöht sich die Datenreichhaltigkeit (z. B. nicht mehr nur Informationen zur Produktklasse, sondern zur einzelnen Produktinstanz). Die feingranularen Informationen können zur Visibilitätserhöhung in Logistiknetzwerken beitragen.⁶⁷ Die echtzeitnahe Datenerfassung verhindert Fehlerfolgekosten, die aufgrund von verzögerten Handlungen entstehen. Der Kurvenverlauf in Abbildung 3-1 zeigt den idealtypischen Wertverlust einer Information über eine Abfolge von Verarbeitungsschritten (vgl. Hackathorn 2002, S. 24; Kemper et al. 2006, S. 85). RFID kann dabei die Datenlatenz zwischen dem Ereignis und der Verfügbarkeit der Daten verkürzen und damit den Wertverlust reduzieren.

⁶⁵ Mit „Smart Shelves“ werden Regale bezeichnet, die mit RFID-Lesegeräten ausgestattet sind. Sie ermöglichen ein permanentes Monitoring des Regalinhalts und könnten in Zukunft verstärkt eingesetzt werden, um Out-of-Stock-Situationen, bei denen sich ein vom Kunden angefragtes Produkt nicht im Regal befindet, zu vermeiden.

⁶⁶ Der aus dem Marketing-Bereich stammende Begriff Point of Sale (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.

⁶⁷ Die Potenziale der Visibilitätserhöhung werden in Kapitel 5.3 detailliert untersucht.

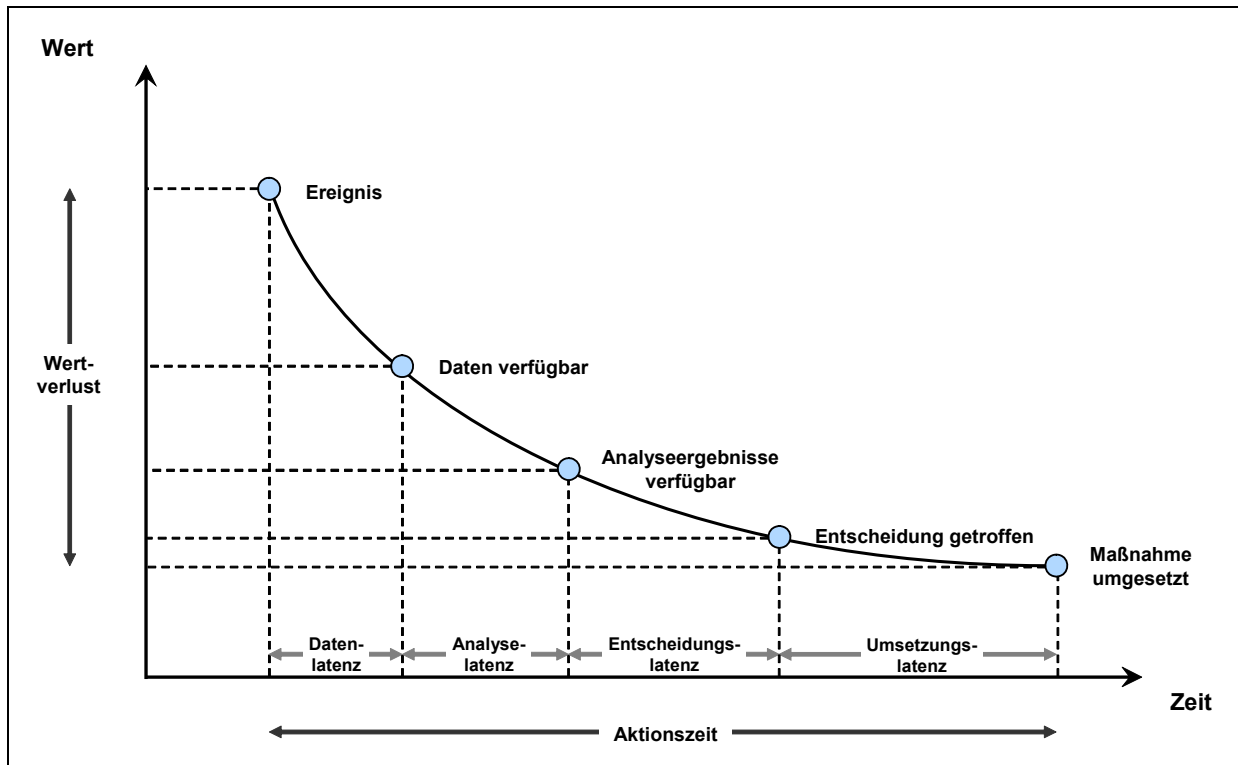


Abbildung 3-1: Wertverlust bei verzögerten Handlungen aufgrund von Latenzzeiten⁶⁸

Chance 3: Integration der Daten mit logistischen Objekten

Ein weiteres RFID-Merkmal, welches Auswirkungen auf das Datenmanagement hat, ist der gegenüber Barcodes wesentlich höhere Speicher, welcher es erlaubt, objektbezogene Daten direkt am Objekt zu speichern. Die Tatsache, dass die Daten an das Objekt gebunden sind, führt dazu, dass sie jederzeit von dem temporären Objekthinhaber ausgelesen werden können. Hierzu ist keine Anbindung an zentrale Systeme notwendig, was aufgrund der Resistenz gegenüber Netzwerkausfällen und zentralen Störungen zur Erhöhung der Prozesssicherheit führen kann.

3.2 Ableitung von Zielen und Fragestellungen im Bereich des RFID-Datenmanagements

Aus den dargestellten Auswirkungen werden in diesem Abschnitt Ziele und Fragestellungen für das RFID-Datenmanagement abgeleitet. Angelehnt an die allgemeine Zieldefinition des Datenmanagements (vgl. Kapitel 2.3) kann für das Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken die folgende Zieldefinition zugrunde gelegt werden:

Das Ziel des Datenmanagements ist die optimale Nutzung der RFID-Daten im Logistiknetzwerk.

⁶⁸ Bei dieser Darstellung wird angenommen, dass Verzögerungen in den ersten Phasen zu dem größten Wertverlust führen und dieser mit der Zeit abnimmt.

Aufgrund des hohen Abstraktionsgrads wird das Ziel nachfolgend anhand der an den Data Evolution Life Cycle (vgl. Kapitel 2.3) angelehnten Bereiche des Datenmanagements – Datenerfassung (Kapitel 3.2.1), Datenorganisation (Kapitel 3.2.2) sowie Datenaufbereitung und -verwendung (Kapitel 3.2.3) – in Unterziele aufgegliedert. Daneben wird auch die im RFID-Umfeld wichtige Thematik der Datensicherheit und des Datenschutzes (Kapitel 3.2.4) in die Betrachtungen einbezogen. Neben den Zielen werden relevante Fragestellungen in den jeweiligen Bereichen identifiziert. Zudem wird der Forschungsstand analysiert, um einen strukturierten Überblick zu wissenschaftlichen Arbeiten zu liefern, die von Bedeutung für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit formulierten Fragestellungen sind. Hierzu wurden relevante Zeitschriftenartikel, Konferenzbeiträge und Monografien seit 2002 ausgewertet.⁶⁹ In Kapitel 3.2.5 erfolgt abschließend die Zusammenfassung des Forschungsstands sowie eine Diskussion der aus den Ergebnissen der Literaturrecherche resultierenden Implikationen. Mit diesem Vorgehen sollen zum einen Forschungslücken identifiziert werden, die die Relevanz der vorliegenden Arbeit bestätigen, und zum anderen erste Hinweise für die nachfolgenden Untersuchungen und Analysen gewonnen werden.

3.2.1 Datenerfassung

Die Datenerfassung umfasst den Vorgang der Auslesung der Transponderdaten durch RFID-Lesegeräte. Aus den in Abschnitt 3.1.1 identifizierten Herausforderungen resultiert, dass aufgrund der Eigenschaft der Radiofrequenztechnologie insbesondere die *Vollständigkeit* und *Fehlerfreiheit* der Daten gewährleistet werden muss. Diesbezüglich werden in der Praxis 100%-ige Leseraten erwartet.⁷⁰ Die erfassten Daten müssen ferner den *Informationsbedarf für die logistischen Aufgaben* decken – es muss also sichergestellt werden, dass die erforderlichen Daten zu den relevanten logistischen Entitäten an den dafür geeigneten Stellen im Logistiknetzwerk erfasst werden. Wie später in Kapitel 5.3 gezeigt wird, bestimmt dabei der *angestrebte Grad der Visibilität* den konkreten Informationsbedarf. Zusammenfassend kann das folgende Unterziel des RFID-Datenmanagements für den Bereich der Datenerfassung formuliert werden:

Das Ziel der Datenerfassung ist die vollständige und fehlerfreie Erfassung der für die logistischen Aufgaben erforderlichen Daten über relevante Entitäten gemäß dem angestrebten Grad an Visibilität im Logistiknetzwerk.

Im Bereich der Datenerfassung sind im Kontext des RFID-Einsatzes in Logistiknetzwerken die in Tabelle 3-1 dargestellten Fragen zu klären.

⁶⁹ Es findet sich nur eine Handvoll Beiträge zum Thema RFID, die eines älteren Datums sind. Dies liegt an den in Kapitel 2.1.2 dargestellten Entwicklungen, die erst vor einigen Jahren zum erhöhten Interesse an der RFID-Technologie führten.

⁷⁰ HINGLEY et al. (2007, S. 814) zitieren in diesem Zusammenhang Entscheider aus der Praxis: „*In order for RFID to be implemented successfully, the readers and writers have got to be 100 per cent accurate, we can't afford for it to be 99 per cent accurate. Currently readers are 97 per cent and writers 94 per cent, this is critical, and we cannot afford this now*“. Details zur Performance von UHF-Lesegeräten können in der Studie von UKKONEN ET AL. (2007) nachgelesen werden.

Nr.	Fragestellung	Beschreibung
1	Welche Daten sollen erfasst werden?	Diese Frage zielt auf die Kennzeichnungsebene und die Datenreichhaltigkeit ab. Insbesondere muss geklärt werden, welche Objekte gekennzeichnet und welche Daten auf dem Transponder gespeichert bzw. aus den zentralen Datenbanken ermittelt werden sollen.
2	An welchen Stellen im Logistiknetzwerk sollen die Daten erfasst werden?	Hier muss geklärt werden, an welchen strategischen Punkten im Logistiknetzwerk eine Erfassung stattfinden sollte, also wie engmaschig das „Sensornetzwerk“ gestaltet werden sollte.
3	Wie kann eine vollständige und fehlerfreie Datenerfassung ermöglicht werden?	Bezüglich dieser Frage sind insbesondere geeignete Antikollisionsalgorithmen notwendig. Zudem sind hier Fragen des Lesegeräteinfrastruktur-Designs (wo sollten Lesegeräte platziert werden, um eine möglichst fehlerfreie Erfassung zu gewährleisten?) zu klären.

Tabelle 3-1: Fragestellungen im Bereich der Datenerfassung

Im Bereich der Datenerfassung muss vor allem zwei wichtigen Aspekten Aufmerksamkeit geschenkt werden: Die Identifikation per Funk kann einerseits zu Lesefehlern aufgrund von Abschirmung (etwa in metallischen Umgebungen) oder Falschrichtung führen. Durch diese Einflüsse kommt es vor allem zur signifikanten Reduzierung der Lesedistanz. Andererseits können Kollisionen im Bereich der Luft-schnittstelle die Datenkommunikation erheblich stören und fehlerhafte Lesungen nach sich ziehen. Die Erforschung effizienter Antikollisionsalgorithmen (siehe Erläuterung auf der folgenden Seite) ist aktuell ein vieldiskutiertes Thema (vgl. bspw. Choi/Kim 2005; Kodialam/Nandagopal 2006; Myung/Lee 2006; Choi/Lee 2007; Shin et al. 2007; Vaidya/Das 2008). Neben der Verhinderung von Kollisionen werden von den Autoren insbesondere Fragen der Performance der Datenerfassung aufgegriffen.

Der Einsatz mehrerer Lesegeräte, die dicht beieinander stehen („RFID dense reader environment“), kann auch zur Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit des RFID-Systems führen. WANG ET AL. (2007, S. 262) konstatieren: „*The use of multiple reader antennas to increase the chances of successful RFID interrogation is not new. However, typically the locations of these antennas are determined by trial and error and ad hoc techniques that are in the design engineer's 'back pocket'*“. Der Fragestellung des optimalen Lesegeräteinfrastruktur-Designs nehmen sich bspw. AN ET AL. (2007) an. Sie schlagen eine simulationsbasierte Methode vor, um die Frequenzinterferenzen zwischen den Readern zu schätzen und in einer Kennzahl (Probability Of Interference, POI) zusammenzufassen. Darauf basierend kann eine Empfehlung für die optimalen Reader-Standorte abgeleitet werden. Eine detaillierte Betrachtung der Synchronisierung von multiplen Lesegeräten findet sich bspw. bei LEONG ET AL. (2006) und MOON ET AL. (2007). Einen Lösungsansatz auf Software-Ebene präsentieren RIZVI ET AL. (2008). Der Anbieter von elektronischen Brandmelde- und Sicherheitslösungen ADT⁷¹ hat zudem 2007 ein erstes permanentes Testzentrum für RFID-Dense-Reader-Umgebungen eingeführt (vgl. ADT 2007).

⁷¹ www.adt-deutschland.de

Antikollisionsverfahren

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 (vgl. Jain/Das 2006). 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 lesegerätgesteuerte (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 3-2, in Anlehnung an Kern 2006, S. 64).

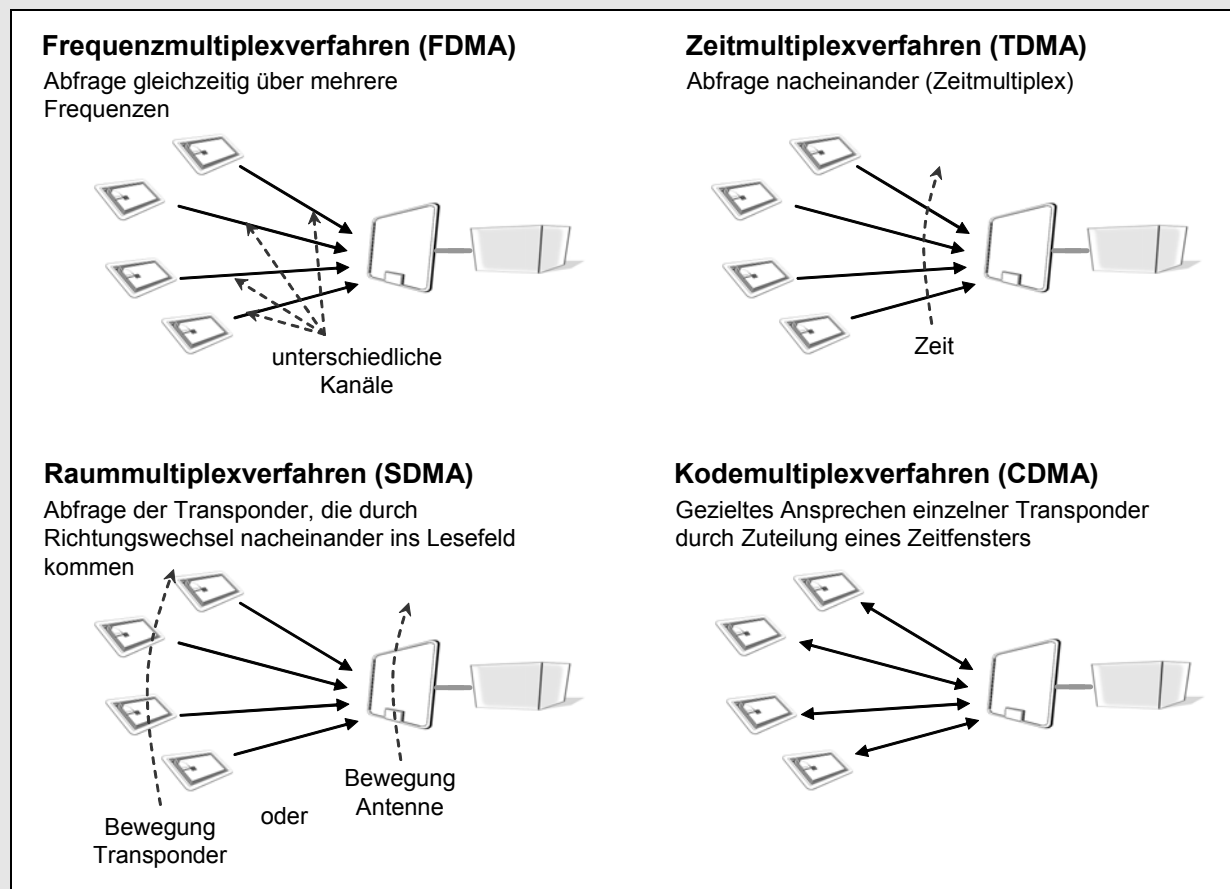


Abbildung 3-2: Antikollisionsverfahren

3.2.2 Datenorganisation

Die Datenorganisation beschäftigt sich mit der Speicherung der RFID-Daten sowie der Versorgung der Akteure im Logistiknetzwerk mit den relevanten Informationen. Die Speicherung sollte dabei *effizient* erfolgen, wobei eine zentrale oder dezentrale Variante der Datenorganisation gewählt werden kann. Hierbei bietet RFID durch die signifikant höhere Speicherkapazität gegenüber alternativen Auto-ID-

Verfahren die Möglichkeit, Daten objektbegleitend zu speichern.⁷² Die Bereitstellung der RFID-Daten über Informationsnetzwerke sollte den *spezifischen Informationsbedürfnissen* der einzelnen Akteure entsprechen. Insgesamt kann damit das folgende Ziel für die Datenorganisation formuliert werden:

Das Ziel der Datenorganisation ist die effiziente Speicherung und auf die spezifischen Informationsbedürfnisse ausgerichtete Bereitstellung der RFID-Daten für die Akteure im Logistiknetzwerk.

Die folgenden Fragen können in diesem Bereich des RFID-Datenmanagements identifiziert werden (siehe Tabelle 3-2).

Nr.	Fragestellung	Beschreibung
4	Welche Akteure des Logistiknetzwerks sollen mit welchen Daten versorgt werden?	Spezifische Informationsbedürfnisse müssen berücksichtigt werden. Nicht jeder Akteur will (bzw. darf) auf alle Daten zugreifen. Daher müssen auch adäquate Zugriffsrechte formuliert werden.
5	Welcher Datenorganisationstyp soll gewählt werden?	Diese Frage betrifft die Entscheidung für eine zentrale oder dezentrale Datenhaltung (höchster Grad der Dezentralität: Speicherung am Transponder).
6	Wie können die Daten speichereffizient abgelegt werden?	Da die Speicherkapazität der RFID-Transponder begrenzt ist, sind Fragen der effizienten Datenspeicherung zu adressieren.

Tabelle 3-2: Fragestellungen im Bereich der Datenorganisation

Die Frage der adäquaten Versorgung der SC-Partner mit RFID-Daten im Rahmen des EPCglobal-Netzwerks adressieren KÜRSCHNER ET AL. (2008a). Sie beschäftigen sich mit dem Problem der Identifikation von Akteuren, die relevante RFID-Daten zu logistischen Objekten vorhalten, und präsentieren ein Konzept für einen adäquaten Suchdienst („*Discovery Service*“).

Zur Beurteilung möglicher Datenorganisationsformen existieren derzeit wenige Literaturquellen. Die Vor- und Nachteile der objektbegleitenden Datenspeicherung werden in der Publikation von DIEKMANN et al. (2007) diskutiert. Die Autoren argumentieren, dass die netzwerkbasierte (Data-on-Network) mit der objektbegleitenden Datenspeicherung (Data-on-Tag)⁷³ komplementär genutzt werden sollten, um die bestmögliche Verfügbarkeit der Daten zu gewährleisten. KÜRSCHNER ET AL. (2008b) untersuchen den Einsatz des Data-on-Tag-Konzepts in der Produktion. Basierend auf Fallstudienresultaten präsentieren die Autoren Handlungsempfehlungen, wann sich die objektbegleitende Datenspeicherung lohnt. WERNER ET AL. (2007) beleuchten den Aspekt der Datensicherheit in beiden Datenorganisationsformen und argumentieren, dass Datenschutzbedenken durch die exklusive Speicherung der Daten auf dem Transponder vorgebeugt werden kann.

3.2.3 Datenaufbereitung und Datenverwendung

Bei der Datenverwendung geht es um den Prozess der Aufbereitung und Verdichtung der RFID-Rohdaten und Verwertung in angeschlossenen Systemen. Die Datenaufbereitung muss eine *effiziente*

⁷² Die Wahl der Datenorganisationsform ist Gegenstand des Kapitels 4.

⁷³ Die Konzepte Data-on-Network und Data-on-Tag werden in Kapitel 4.1 ausführlich behandelt.

Transformation und Verdichtung der Rohdaten zu entscheidungsrelevanten Informationen gewährleisten. Anschließend sind die RFID-basierten Informationen in angeschlossenen Systemen *angemessen zu präsentieren*. Zusammenfassend ist das folgende Ziel in dem Bereich der Aufbereitung und Verdichtung der Daten zu verfolgen:

Das Ziel der Datenaufbereitung und -verwendung ist die effiziente Aufbereitung und Verdichtung der RFID-Rohdaten zum Zwecke der Generierung und angemessenen Präsentation entscheidungsrelevanter Informationen in nachgelagerten Systemen.

Hierbei stellen sich die nachfolgend in Tabelle 3-3 dargestellten Fragen.

Nr.	Fragestellung	Beschreibung
7	Welche Informationen sollen aus den Daten generiert werden?	Im Vorfeld der RFID-Implementierung ist zu erörtern, welche Informationen aus den RFID-Daten generiert werden sollen.
8	Welche nachgelagerten Systeme sollen auf die Informationen zugreifen?	Anschließend ist zu klären, welche Backend-Systeme auf die RFID-Daten zugreifen werden. Hierbei kann auch die Implementierung eines neuen Anwendungssystems (z. B. zum Monitoring von logistischen Objekten) vonnöten sein.
9	Wie können Rohdaten zu Informationen aufbereitet werden?	Die RFID-Rohdaten müssen adäquat zu entscheidungsrelevanten Informationen aggregiert und verdichtet werden.
10	Wie sollen die RFID-basierten Informationen für den Informationskonsumenten visualisiert werden?	Es sind Fragen einer angemessenen Darstellung der Informationen zu adressieren. Dies können bspw. grafische Darstellungen der Materialflüsse im Logistiknetzwerk oder der Bestandsänderungen im Lager sein.

Tabelle 3-3: Fragestellungen im Bereich der Datenaufbereitung und -verwendung

Aufgrund des rohen Charakters der Daten sowie der hohen Datenvolumen wird in der Literatur kollektiv die Anforderung einer erhöhten Datenfilterung in RFID-Systemen postuliert (vgl. Cheong/Kim 2005, S. 564; Janz et al. 2005, S. 23; Meyer 2005, S. 23; Zhang et al. 2006, S. 194). In der Literatur existieren zahlreiche Arbeiten zum Thema Datenaufbereitung. WANG und LIU schlagen das auf dem Entity Relationship Model (ERM)⁷⁴ basierende *Dynamic Relationship ER Model (DRERM)* vor, um Daten adäquat in RFID-Systemen abzubilden (vgl. Wang/Liu 2005, S. 1131 ff.). Die Semantik des ERM bleibt erhalten, es wird lediglich eine neue, dynamische Relation („dynamic relation“) hinzugefügt (vgl. Abbildung 3-3, in Anlehnung an Wang/Liu 2005, S. 1132). Die Relation kommt dabei in zwei Ausprägungen vor: Entweder generiert eine Relation Ereignisse (besitzt das Attribut „timestamp“) oder sie beschreibt Zustände (besitzt die Attribute „tstart“ und „tend“). Somit wird eine Zustandsrelation als Tabelle mit den Schlüsselattributen der entsprechenden Entitäten sowie dem Intervall [tstart, tend] repräsentiert, während bei einer Ereignisrelation die Tabelle anstatt des Intervalls einen bestimmten Zeitpunkt (*timestamp*) beinhaltet. Durch diese Erweiterung unterstützt das Modell komplexe Abfragen, die in die Kategorien Objektverfolgung (Zustandshistorie der Objekte) und Objektüberwachung (Monitoring der aktuellen Objektzustände) fallen.

⁷⁴ Das ERM wurde in den 70er Jahren von CHEN (1976) entwickelt. Seitdem wurden zahlreiche Erweiterungen des ursprünglichen Modells veröffentlicht (bspw. das EERM (Extended Entity Relationship Model)).

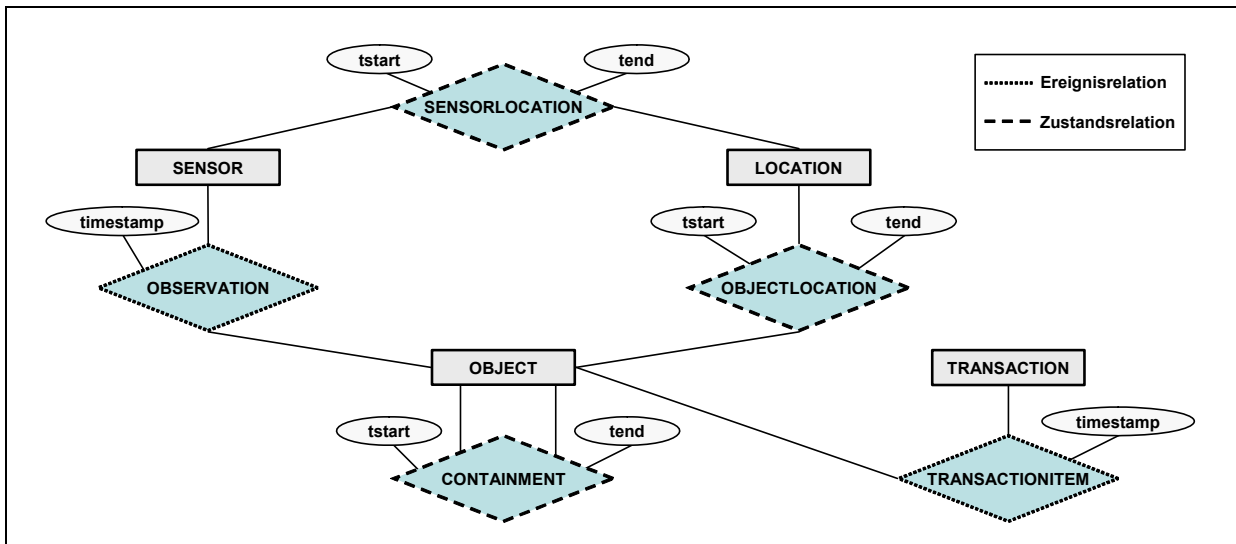


Abbildung 3-3: Dynamic Relationship ER Model

GONZALES ET AL. führen zur Modellierung von RFID-Daten sog. *RFID-Cuboids* ein (vgl. Gonzales et al. 2006a, S. 4 ff.). Die Autoren konzentrieren sich dabei vor allem auf die Komprimierung der Daten. Hierbei spielen insbesondere die Pulkbewegungen der logistischen Objekte eine wichtige Rolle: Kollektive Transportprozesse werden dabei in einem Datensatz gespeichert. Das vorgeschlagene Modell besteht aus einer Hierarchie von RFID-Cuboids, die Daten auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen abbilden. Dadurch wird der Tatsache Rechnung getragen, dass Daten in der Regel auf einem höheren Abstraktionsniveau benötigt werden und deshalb in vielen Fällen sinnvoll zu Gruppen zusammengefasst werden können (vgl. Gonzales et al. 2006a, S. 2). Die Eigenschaft, dass logistische Objekte vor allem in den ersten Stufen der Wertschöpfung im Pulk transportiert werden, nutzen auch HU ET AL. Als Grundlage für eine auf dem *Bitmap-Datenformat*⁷⁵ basierende Modellierung von RFID-Daten (vgl. Hu et al. 2005). Die Vorteile des Bitmap-Modells liegen darin, dass es eine kompakte und verlustfreie Darstellung von zusammenhängenden Transponder-IDs gewährleistet.

Die Literaturrecherche hat offenbart, dass zum Thema der RFID-Datenverwendung bisher nur wenige Arbeiten existieren. ILIC ET AL. (2009) identifizieren Visualisierungsmöglichkeiten für RFID-basierte Informationen und stellen die prototypische Version eines Visualisierungstools (*Supply Chain Visualizer*) dar. CHOW ET AL. (2007) untersuchen die Integration unterschiedlicher IT-Applikationen, die auf RFID-Daten zugreifen. In diesem Zuge entwickeln die Autoren eine Anwendung zur Visualisierung von RFID-gestützten logistischen Prozessen.

3.2.4 Datensicherheit und Datenschutz

Im Bereich der Datensicherheit und des Datenschutzes gilt es die *Sicherheit der Daten* und die *Einhaltung der Datenschutzrichtlinien* zu gewährleisten. Dies ist sowohl für die Speicherung der Daten als auch bei der Weiterleitung vertraulicher bzw. personenbezogener Informationen im Rahmen des RFID-

⁷⁵ Beim Bitmap-Datenformat handelt es sich um ein zweidimensionales Rastergrafikformat, das aus drei Teilen (Dateikopf, Informationsblock und Bilddaten) bestehen. Für eine detaillierte Betrachtung siehe MIANO (2000).

basierten Informationsnetzwerks zu gewährleisten. Vor allem in mehrstufigen Logistiknetzwerken ist die Gewährleistung der Datensicherheit von größter Bedeutung, da in diesen komplexen Systemen ein intensiver Datenaustausch über (zumeist unsichere) Unternehmensgrenzen erfolgt. Für den Datenschutz und die Datensicherheit kann das folgende Unterziel formuliert werden:

Das Ziel im Bereich der Datensicherheit und des Datenschutzes ist die adäquate Gewährleistung der Datensicherheit und die Einhaltung der Datenschutzrichtlinien bei Speicherung und Weiterleitung vertraulicher bzw. personenbezogener Daten.

Im Bereich der Datensicherheit und des Datenschutzes sind die folgenden Fragen zu klären (siehe Tabelle 3-4).

Nr.	Fragestellung	Beschreibung
11	Werden vertrauliche bzw. personenbezogene Daten auf dem Transponder gespeichert?	Falls vertrauliche Daten vorhanden sind, gilt es diese adäquat zu schützen. Falls personenbezogene Daten gespeichert werden, muss zudem die Einhaltung der Datenschutzrichtlinien gewährleistet werden.
12	Welcher Grad der Datensicherheit ist notwendig?	Hier müssen die Anforderungen an den Grad der Datensicherheit bestimmt werden. Bspw. ergeben sich für die reine Rückverfolgbarkeit andere Anforderungen als für den Plagiat-Schutz (anticounterfeit).
13	Welche Datenschutzrichtlinien müssen beachtet werden?	Es muss geprüft werden, ob Datenschutzrichtlinien bei der Speicherung von Daten (insbesondere auf dem Transponder) greifen.
14	Wie können die Daten auf dem Transponder effizient geschützt werden?	Es gilt geeignete Konzepte insbesondere im Hinblick auf den Transponder-Preis zu evaluieren (kryptografische Verfahren erfordern leistungsfähigere Transponder). Zudem muss das Informationsnetzwerk so aufgebaut sein, dass die einzelnen Akteure über die Verwendung und Weitergabe ihrer Daten selbst bestimmen können.

Tabelle 3-4: Fragestellungen im Bereich der Datensicherheit und des Datenschutzes

Die Datenschutz- und Datensicherheitsproblematik nimmt dabei in der Erforschung von RFID eine zentrale Rolle ein, wobei die Literatur jedoch vorwiegend auf den Datenschutz des Verbrauchers („personal privacy“)⁷⁶ fokussiert und die Datensicherheit für Unternehmen („corporate data security“) eher vernachlässigt (vgl. Juels 2005a, S. 8). Beiden Forschungsbereichen liegen zwar unterschiedliche Fragestellungen zugrunde: Während die Verbraucher Angst vor einer allgegenwärtigen Überwachung (Verlust der Privatsphäre, Zuordnung von Objekten zu Personen) haben, sind Unternehmen primär daran interessiert, unternehmensinterne Daten vor dem Ausspähen und evtl. Manipulation zu schützen (vgl. Garfinkel et al. 2005, S. 37 ff.). Dennoch sind die Probleme nicht völlig unabhängig voneinander, da die Datensicherheit eine zwingende Voraussetzung darstellt, um Datenschutz zu gewährleisten.

Die Tatsache, dass der Nutzer keine direkte Kontrolle über den Erfassungsvorgang hat, erfordert die Implementierung von Konzepten zum Schutz der Daten vor unerlaubter Auslesung (vgl. Henning et al. 2004, S. 4). Um Datensicherheit auf dem Transponder zu gewährleisten, werden vorrangig kryptografische Schutzmaßnahmen propagiert (vgl. BITKOM 2005, S. 40). Aufgrund der Nachteile dieser Verfah-

⁷⁶ Datenschutzbedenken im Zusammenhang mit RFID resultieren vor allem 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.

ren insbesondere für kostengünstige Transponder (hohe Kosten, hoher Speicherplatzbedarf⁷⁷) werden jedoch auch alternative Schutzmaßnahmen vorgeschlagen. Zur Gewährleistung der Fälschungssicherheit von kostengünstigen Transpondern wurde z. B. ein sog. „relational check code“-Verfahren konzipiert, mit dessen Hilfe ermittelt werden kann, ob Daten auf dem Transponder evtl. manipuliert worden sind (vgl. AVANTE International Technology 2005). Die Problematik der Fälschungssicherheit wird auch von POTDAR ET AL. (Potdar et al. 2005) thematisiert. Die Autoren schlagen vor, den Datenblock der eindeutigen Objekt-ID zu verwenden, um in diesem Speicherbereich geheime Informationen abzulegen, welche über drei Hash-Funktionen aus den Datenblöcken Header, Objektklasse und Objekt-ID gebildet werden.⁷⁸ Mit dieser Vorgehensweise ist es möglich festzustellen, welche Daten manipuliert worden sind. Die vorgeschlagene Methodik hat den Vorteil, dass kein zusätzlicher Speicher erforderlich ist und zudem auch keine Berechnungen auf dem Transponder stattfinden.

FLÖRKEMEIER ET AL. (2005) beschreiben die prototypische Implementierung eines „Watchdog Tag“, welches jegliche Leseaktivitäten in seiner Umgebung überwacht und protokolliert. RIEBACK ET AL. (2005) schlagen den Einsatz eines Gerätes mit dem Namen „RFID Guardian“ vor, welches ähnlich einer Computer-Firewall Leseanfragen abfängt und sie vor der Weiterleitung an die Transponder auswertet. Einen interessanten Ansatz für einen einfachen Sicherheitsmechanismus liefern FISHKIN ET AL. (2005). Auf Basis der Signalstärke könnten RFID-Transponder mit minimalem zusätzlichem Speicheraufwand errechnen, wie weit sich das anfragende Lesegerät (ungefähr) befindet. In Abhängigkeit von der Entfernung könnte der Transponder unterschiedliche Informationen „preisgeben“: Bei einer größeren Entfernung bspw. lediglich die Objektklasse („Rasierklingen“) und bei einer kleineren Entfernung die eindeutige Objekt-ID. Diese Schutzmaßnahme basiert auf der (nicht immer zutreffenden) Annahme, dass sich „autorisierte“ Lesegeräte in der Regel in der Nähe des Transponders befinden, während „böswillige“ Lesegeräte, eher aus einer gewissen Entfernung agieren.

Mit Transpondern versehene Objekte erleichtern es den Konkurrenten, unbefugt an Informationen über Kundenpräferenzen zu gelangen und diese Daten für eigene Marketingmaßnahmen nutzen. Um dieser Problematik entgegen zu wirken, schlägt JUELS (2005b) ein sog. „pseudonym throttling“ vor. Auch dies ist ein einfacher Sicherheitsmechanismus, der in kostengünstigen Transpondern zur Anwendung kommen kann. Der Transponder beinhaltet hierbei eine kurze Liste zufälliger IDs bzw. Pseudonyme. Bei jeder konsekutiven Auslesung liefert der Transponder das jeweils nächste Pseudonym aus der Liste. Um zu unterbinden, dass die Liste der Pseudonyme durch mehrere in kurzer Zeit nacheinander ausgeführte Lesevorgänge abgefangen wird, sind die Transponder so programmiert, dass sie die Daten mit einer vorher festgelegten Verzögerung senden.

⁷⁷ Kostengünstige passive Transponder besitzen bislang nicht genug Speicherplatz für Kryptografie. Für die Mehrheit von Anwendungen kommt diese Schutzmaßnahme daher nicht in Frage. Und obwohl nach dem Gesetz von MOORE (1965) die Speicher- und Rechenkapazität der Transponder stetig wachsen wird, werden eher die Preise bei gleichen Kapazitäten fallen, als neue Funktionalität zum gleichen Preis angeboten: „*Users of low-end RFID tags are more concerned to see prices drop and RFID tags become more widespread than to see functionality increase*“ (Juels 2005b, S. 152).

⁷⁸ Der Header gibt an, dass es sich um einen EPC-Transponder handelt. Die Objektklasse beschreibt eine bestimmte Objektart, die Objekt-ID spezifiziert eine individuelle Instanz der Objektklasse.

3.2.5 Zusammenfassung des Forschungsstands und Implikationen

Tabelle 3-5 gibt einen Überblick über die relevante Literatur in den einzelnen Bereichen und spiegelt damit den aktuellen Forschungsstand wider (die Arbeiten sind chronologisch geordnet).⁷⁹

Datenerfassung	Datenorganisation	Datenaufbereitung und Datenverwendung	Datensicherheit und Datenschutz
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Waldrop et al. (2002) ▪ Hagiwara et al. (2003) ▪ Bolotnyy/Robins 2005 ▪ Choi/Kim (2005) ▪ Jeffery et al. (2005) ▪ Bai et al. (2006) ▪ Jain/Das (2006) ▪ Jeffery et al. (2006a) ▪ Jeffery et al. (2006b) ▪ Kodialam/Nandagopal (2006) ▪ Leong et al. (2006) ▪ Myung/Lee (2006) ▪ Quan et al. (2006) ▪ An et al. (2007) ▪ Choi/Lee (2007) ▪ Moon et al. (2007) ▪ Popovski et al. (2007) ▪ Sarma et al. (2007) ▪ Seol/Kim (2007) ▪ Shin et al. (2007) ▪ Buettner/Wetherall (2008) ▪ Rizvi et al. (2008) ▪ Hsu et al. (2009) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agrawal et al. (2006) ▪ Harmon (2006) ▪ Tsougas (2006) ▪ Cheung et al. (2007) ▪ Diekmann et al. (2007) ▪ Werner et al. (2007) ▪ Chalasami/Boppana (2008) ▪ Kürschner et al. (2008a) ▪ Kürschner et al. (2008b) ▪ Osaka et al. (2008) ▪ Ryu/Hong (2009) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bornhövd et al. (2004) ▪ Cheong/Kim (2005) ▪ Deolalikar et al. (2005) ▪ Flörkemeier/Lampe (2005) ▪ Hu et al. (2005) ▪ Janz et al. (2005) ▪ Rizvi et al. (2005) ▪ Wang et al. (2005) ▪ Wang/Liu (2005) ▪ Cheung et al. (2006) ▪ Gonzales et al. (2006a) ▪ Gonzales et al. (2006b) ▪ Park/Kim (2006) ▪ Rao et al. (2006) ▪ Wang et al. (2006) ▪ Zhang et al. (2006) ▪ Chow et al. (2007) ▪ Dutta et al. (2007a) ▪ Sellitto et al. (2007) ▪ Dada/Thiesse (2008) ▪ Flörkemeier (2008) ▪ Kim et al. (2008a) ▪ Zang et al. (2008) ▪ Darcy et al. (2009) ▪ Ilic et al. (2009) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Henning et al. (2004) ▪ Fishkin et al. (2005) ▪ Flörkemeier et al. (2005) ▪ Garfinkel et al. (2005) ▪ Juels (2005a) ▪ Juels (2005b) ▪ Müller/Handy (2005) ▪ Rieback et al. (2005) ▪ Shih et al. (2005a) ▪ Shih et al. (2005b) ▪ Yeo/Kim (2005) ▪ Bolan (2006) ▪ Garstka (2006) ▪ Peris-Lopez et al. (2006) ▪ Vaudenay (2006) ▪ Angeles (2007) ▪ Bird et al. (2007) ▪ Duc et al. (2007) ▪ Ranasinghe (2007) ▪ Sulaiman et al. (2008) ▪ Damgard/Pedersen (2008) ▪ Dimitriou (2008) ▪ Grummt/Müller (2008) ▪ Jamali et al. (2008) ▪ Shankarapani et al. (2008)

Tabelle 3-5: Relevanter Forschungsstand zum RFID-Datenmanagement⁸⁰

Nachfolgend stellt Abbildung 3-4 die identifizierten Fragestellungen im Bereich des RFID-Datenmanagements dar. Die Fragestellungen sind den Bereichen des Datenmanagements sowie den in Kapitel 2.3 definierten Kernaufgaben des Datenmanagements zugeordnet. Zudem werden die Abhängigkeiten zwischen den Fragestellungen mit Pfeilen verdeutlicht.

⁷⁹ Ausgewählte Positionen wurden in den vorangegangenen Kapiteln erläutert. Eine Diskussion aller Literaturquellen würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen.

⁸⁰ Nicht in der Übersicht enthalten sind Arbeiten, die einen allgemeinen Überblick zum RFID-Datenmanagement geben, wie z. B. CHAWATHE ET AL. (2004).

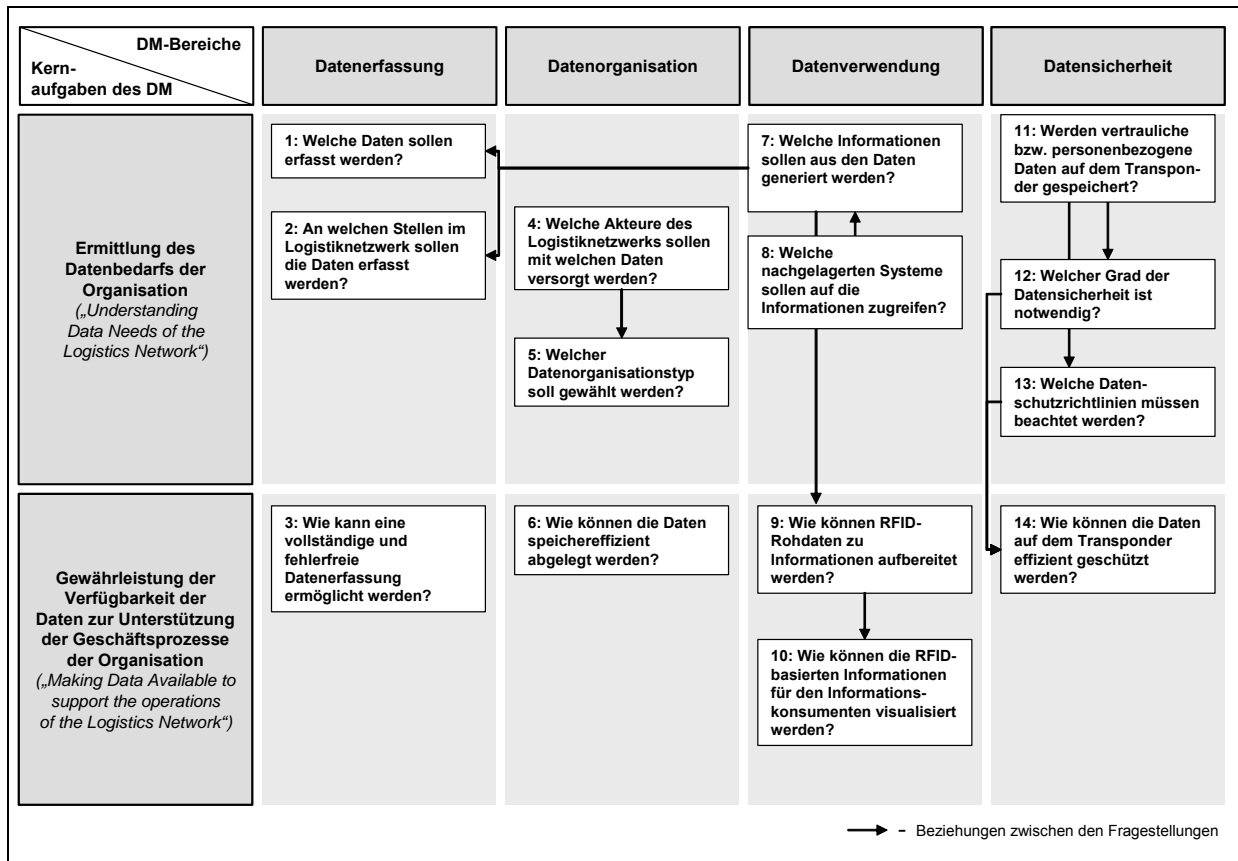


Abbildung 3-4: Zusammenfassung der Fragestellungen im Bereich des RFID-Datenmanagements

Die Ergebnisse der Literaturrecherche machen deutlich, dass zum einen Fragen der Datenorganisation bisher unzureichend erforscht wurden. Es besteht Forschungsbedarf insbesondere bezüglich der Wahl der Datenorganisationsform in RFID-gestützten Logistiknetzwerken. Zum anderen konnte beobachtet werden, dass zwar eine Vielzahl von Publikationen zu Themen der Datenaufbereitung existiert. Diese greifen jedoch zumeist einen kleinen Ausschnitt der Aufbereitungsproblematik heraus. Es fehlt daher an integrierten Vorgehensmodellen, die die komplette Transformation von RFID-Rohdaten zu entscheidungsrelevanten Informationen abdecken. Schließlich ist der Datenverwendung bisher relativ wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden: Hier ist speziell die Frage, welcher Grad an RFID-induzierten Visibilität in der Supply Chain wirtschaftlich sinnvoll ist, von Interesse. Mit jedem weiteren Datenerfassungspunkt erhöht sich die Transparenz im Logistiknetzwerk. Beispielsweise kann durch die Installation zusätzlicher Lesegeräte der Aufenthaltsort eines Objekts präziser benannt und dadurch die Lokalisierung effizienter gestaltet werden. Die Errichtung neuer Datenerfassungspunkte ist jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden. Bei einer Erhöhung der Visibilität sollte daher die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme analysiert werden.

Der Bereich der Datensicherheit und des Datenschutzes wird nachfolgend nur als Randaspekt betrachtet. Es existiert auf diesem Gebiet eine Vielzahl an Arbeiten, die nur geringe Forschungslücken erkennen lassen. Dabei handelt es sich zumeist um entweder sehr technische Problemstellungen (z. B. Entwicklung von kryptografischen Schutzmechanismen) oder Fragen des Verbraucherschutzes (z. B. Thema der informationellen Selbstbestimmung).

4 Objektbegleitende Datenspeicherung in Logistiknetzwerken

Das Data-on-Tag-Konzept wurde bisher in der Literatur nicht intensiv erforscht, Ausnahmen bilden hier die Arbeiten von DIEKMANN ET AL. (2007), WERNER ET AL. (2007) sowie KÜRSCHNER ET AL. (2008b). JEDERMANN und LANG (2008, S. 106) stellen im Anschluss an eine Literaturrecherche zu diesem Thema fest: „*This idea of shifting the intelligence into networked logistic objects has been a tempting vision in the past years, but the real benefits have not been figured out so far*“. In dem Bestreben die existierende Forschungslücke zu schließen, wird zunächst in Kapitel 4.1 eine Systematisierung der Datenorganisationsformen vorgenommen. Kapitel 4.2 ist der bezugsrahmenorientierten Herleitung des Modells zur objektbegleitenden Datenspeicherung gewidmet. Hierzu werden sowohl theoretische Bezugspunkte (Literaturrecherche) als auch praktische Hinweise (Fallstudienuntersuchung) herangezogen. Das konzeptuelle Modell dient als Grundlage für die empirische Untersuchung (Kapitel 4.3). In Kapitel 4.4 werden anschließend Beziehungen zwischen den ermittelten Variablen des konzeptuellen Modells mittels des Interpretative Structural Modeling (ISM) analysiert. Schließlich werden Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchung gezogen (Kapitel 4.5).

4.1 Datenorganisationsformen

Wie in Kapitel 3 bereits angedeutet, bestehen in RFID-Systemen grundsätzlich zwei Möglichkeiten der Datenspeicherung: Einerseits können objektbezogene Daten in Datenbanken abgelegt und über eine eindeutige ID referenziert werden (Data-on-Network, Kapitel 4.1.2), andererseits können diese Daten direkt auf dem Transponder – und somit am Objekt – gespeichert werden (Data-on-Tag, Kapitel 4.1.3). Bevor die Datenorganisationsformen diskutiert werden, erfolgt eine kurze Systematisierung der RFID-Daten (Kapitel 4.1.1). In Abschnitt 4.1.4 wird abschließend eine Evaluation beider Formen vorgenommen.

4.1.1 Systematisierung der Daten in RFID-Systemen

Zur besseren Systematisierung der Datenorganisationsformen werden RFID-Daten nachfolgend in Anlehnung an HARRISON (2003, S. 5) in zwei Gruppen eingeteilt: Objekt- und Ereignisdaten.⁸¹

Objektdaten liefern *deskriptive Informationen zu einem Objekt*. Es handelt sich dabei meistens um statische Daten, die ihre Gültigkeit über den kompletten Lebenszyklus des Objektes behalten. Dies können bspw. Daten zum Herstellungsort und -datum eines Produktes sein. Daneben können auch dynamische Objektdaten existieren, die sich im Laufe der Zeit ändern. Hier ist z. B. an den Inhalt eines

⁸¹ HARRISON benutzt in seinem Manuskript den Ausdruck „*timestamped historical data*“ für die Ereignisdaten und „*attribute data*“ für Objektdaten (vgl. Harrison 2003, S. 5).

bestimmten Ladungsträgers – etwa einer Palette – zu denken. Schließlich können Objektdaten im Laufe des Lebenszyklus ergänzt werden. So kann ein initialer Datensatz durch den Hersteller angelegt und durch weitere Akteure (z. B. Distributoren, Händler, Reparaturwerkstätten) der Logistikkette um neue Informationen (z. B. Ergebnisse einer Qualitätskontrolle, Datum der Inspektion) zum Objekt ergänzt werden. Im Laufe der Zeit entsteht somit eine Objekthistorie, die nützliche Erkenntnisse für das Handling des Objekts liefert. So können bspw. der Objektzustand besser beurteilt und notwendige Maßnahmen (Inspektion, Umtausch etc.) eingeleitet werden.

Traditionell werden Objektdaten aufgrund der beschränkten Speicherkapazität der Barcode-Etiketten in Backend-Systemen abgespeichert und über den Barcode referenziert. Die Objekthistorie ist somit in den meisten Fällen äußerst fragmentiert: Jeder Akteur des Logistiknetzwerks hält in der Regel einen Teil der Objektdaten in lokalen Datenbanken vor. Die RFID-Transponder ermöglichen dagegen aufgrund des größeren Speichers eine objektbegleitende Speicherung dieser Daten und damit eine konsistente Speicherung der Objekthistorie.

Neben den Objektdaten können in RFID-Systemen **Ereignisdaten** unterschieden werden. Im Gegensatz zu Objektdaten beschreiben diese Daten nicht das Objekt selbst, sondern *die durch das Objekt in der Logistikkette ausgelösten Ereignisse*. Diese können grundsätzlich in primitive und komplexe RFID-Ereignisse eingeteilt werden (vgl. Wang et al. 2006, S. 3). Primitive Ereignisse treten zu einem bestimmten Zeitpunkt auf und sind somit einem einzelnen RFID-Erfassungsvorgang zuzuordnen. Dies kann z. B. die Quittierung des Warenausgangs durch die Identifikation eines Objekts an der Verlade-rampe sein. Komplexe Ereignisse basieren auf mehreren primitiven Ereignissen, die über einen bestimmten Zeitraum gesammelt werden. Um bei dem zuvor genannten Beispiel zu bleiben, kann dies das Ereignis „Produkt hat den Warenausgang ohne Qualitätskontrolle verlassen“ sein, welches mehrere RFID-Erfassungsvorgänge umfasst.⁸²

Die Ereignisdaten sollten vorrangig aus zwei Gründen nicht am Objekt gespeichert werden. Zum einen handelt es sich in der Regel um hohe Datenmengen (je mehr Erfassungsvorgänge, desto höher die Datenmenge), die nicht einmal in dem größeren Speicher eines RFID-Transponders genug Platz finden würden. Zum anderen werden diese Daten vornehmlich den angeschlossenen operativen und strategischen Systemen für Analysezwecke zur Verfügung gestellt, die im Falle einer objektbegleitenden Speicherung der Ereignisdaten auf die Präsenz des Transponders angewiesen wären.

4.1.2 Data-on-Network

Beim Data-on-Network wird eine eindeutige ID auf dem Transponder gespeichert, während alle weiteren Objektdaten in zentralen Datenbanken verbleiben. Die Idee, nur eine Identifikationsnummer auf dem Transponder zu speichern und weitere Daten zum Objekt in zentralen Datenbanken abzulegen, hat ihren Ursprung in den folgenden Überlegungen:

⁸² Eine detaillierte Betrachtung der Ereignisse erfolgt in Kapitel 5.2.

- Diese Vorgehensweise wurde aufgrund der geringen Speicherkapazität bereits bei Barcode-Systemen verwendet. Der Ansatz, die Daten auf dem logistischen Objekt zu minimieren, wurde auch deshalb verfolgt, da sich objektbezogene Daten häufig verändern und die Barcode-Technologie keine dynamische Datenhaltung ermöglicht. Die Datenänderung wurde also vorwiegend zentral vorgenommen, da eine Aktualisierung des Barcodes zu aufwändig war (vgl. Gerhäuser/Pflaum 2004, S. 284). Diese Gründe führten dazu, dass sowohl Prozesse als auch Anwendungssysteme auf diese Art der Datenhaltung ausgerichtet sind. Durch die Verwendung des Data-on-Network Konzeptes kann daher der Technologiewechsel von Barcodes zu RFID unter Beibehaltung der bisherigen Prinzipien und Denkweisen vollzogen werden.
- Für einen breiten betriebswirtschaftlichen Einsatz war RFID Ende der 90er Jahre noch zu teuer. RFID fand sich in einem circulus vitiosus wieder, bei dem die hohen Kosten eine geringe Adaption der Technologie nach sich zogen, eine geringe Adaption jedoch wiederum hohe Kosten bedeutete. Daher sollten kostengünstige Transponder, einfache Datenaustauschprotokolle und elementare Datenstrukturen der RFID-Technologie zum Durchbruch verhelfen. Transponderkosten konnten vor allem durch die Beschränkung der Speicherkapazität auf ein notwendiges Minimum (Speicherung einer eindeutigen ID) gesenkt werden.
- In vielen Fällen (vor allem bei reinen Track&Trace-Verfahren) macht das Data-on-Network Konzept Sinn: Um Objekte auf ihrem Weg durch die Wertschöpfungskette zu verfolgen, müssen nicht an jedem Erfassungspunkt alle Daten zum Objekt ausgelesen werden. Hierzu ist lediglich eine eindeutige ID notwendig.
- Da sich die Implementierung von Datenschutzmechanismen auf dem Transponder als aufwändig und teuer erweist, werden für bestimmte Anwendungen aus Gründen der Datensicherheit keine weiteren Daten auf dem Transponder gespeichert. Sensible Daten werden stattdessen im Backend abgelegt, da die Zugriffskontrolle dort kostengünstiger und flexibler gestaltet werden kann (vgl. Henrici et al. 2004, S. 54).

Grundlegend sind zwei Varianten der konkreten Ausgestaltung dieses Konzepts denkbar. Einerseits können objektbezogene Daten zentral gespeichert und von einer Organisation (einem dominanten Unternehmen der Wertschöpfungskette oder einem externen Informationsintermediär⁸³) verwaltet werden (zentrales Data-on-Network), andererseits können diese Daten dezentral bei den Akteuren der Supply Chain vorgehalten werden (dezentrales Data-on-Network) (siehe Abbildung 4-1). Die beiden Varianten werden nachfolgend näher erläutert.

⁸³ Zum Beispiel gehört die Firma Log Agency mit der sog. SCM-Datenprozessplattform zu solchen Informationsintermediären (vgl. Rybak 2007).

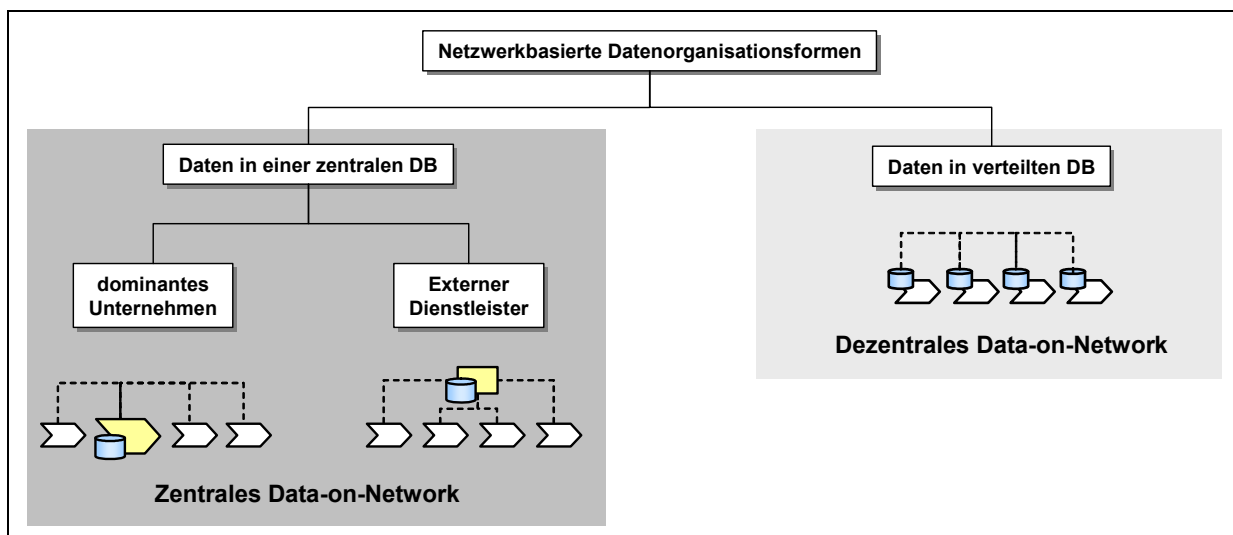


Abbildung 4-1: Datenorganisationsformen im Bereich Data-on-Network

4.1.2.1 Zentrales Data-on-Network

Bei dieser Form der Datenorganisation werden die RFID-Daten an einer zentralen Stelle gesammelt, verdichtet und ausgewertet. Die Akteure des Logistiknetzwerks können die Daten entweder nach Bedarf abrufen (bspw. über ein Web-Interface) oder die Daten werden automatisch an sie weitergeleitet. In der Praxis können zwei Ausprägungen dieser Datenorganisationsform identifiziert werden: Einerseits existieren Logistiknetzwerke mit dominanten Partnern, die die Aufgabe des Datenmanagements übernehmen. Andererseits gibt es Logistiknetzwerke mit gleichberechtigten Partnern, die einen externen Dienstleister als Koordinator besitzen.

Dominantes Unternehmen

In der Regel nimmt entweder der Hersteller (z. B. Automobilbranche) oder Händler (z. B. Lebensmittelbranche) eine dominante Machtposition in einem Logistiknetzwerk ein. In den meisten Fällen gehen von diesen Unternehmen Impulse aus, neue Technologien und Konzepte im Logistiknetzwerk ein- bzw. umzusetzen. Aufgrund der besonderen Stellung im Netzwerk haben diese Akteure die Möglichkeit, Mandate an die Lieferanten und/oder Abnehmer auszusprechen (vgl. Soon/Gutiérrez 2008, S. 82 ff.).

RFID-Mandate in der Praxis

In letzter Zeit können im RFID-Bereich mehrere Fälle für derartige Forderungen von dominanten Unternehmen bzw. Organisationen beobachtet werden:

- Wal-Mart⁸⁴ und Metro Group (vgl. Loebbecke 2005; Vowels 2006, S. 149 ff.; Banks 2007, S. 213.): Der US-Amerikanische Handelskonzern Wal-Mart und sein deutscher Pendant Metro Group starteten ihre RFID-Initiativen jeweils im Jahre 2003. Wal-Mart hat bspw. ein Mandat an die 100 größten Lieferanten ausgegeben, bis 2005 ihre Lieferungen mit RFID-Transpondern auszustatten. In 2006 wurde das Mandat auf 300 weitere Lieferanten erweitert.
- Department of Defense (DoD, US-amerikanische Behörde) (vgl. Engels et al. 2004; Urosevic/Bolan 2006; Banks 2007, S. 213 f.; Hunt et al. 2007): Die DoD-Lieferanten wurden ab 2004 verpflichtet, RFID auf Palettenebene einzusetzen. Seit 2007 nutzt das DoD die RFID-Daten nicht nur für Automatisierungszwecke, sondern zum umfassenden Monitoring der Lieferkette und zur Analyse der Distributionsprozesse.
- Automobilhersteller fordern eine Durchgängigkeit und Nachvollziehbarkeit der Prozesse bis hin zum Einzerteillieferanten. Bisher gibt es im Gegensatz zum Handels-Sektor im Konsumgüterbereich keine Mandate von großen Automobilherstellern, was sich jedoch bei fortschreitender Standardisierung und sinkenden Transponderpreisen zukünftig mit hoher Wahrscheinlichkeit ändern wird: Nach Aussagen von AMR Research wird für 2010 der Durchbruch von RFID in Supply Chains der Automobilindustrie prophezeit (vgl. Weier 2006).

Häufig werden die Mandate erfüllt, indem RFID-Transponder von den Lieferanten an den logistischen Objekten am Warenausgang angebracht werden (sog. „slap-and-ship“ bzw. „tag-and-ship“) (vgl. Hardgrave et al. 2007, S. 2). Damit sparen die Unternehmen Kosten für die notwendige RFID-Infrastruktur, können aus diesem Grund jedoch auch keine RFID-Nutzepotenziale ausschöpfen. Die Auswertung der RFID-Daten findet in diesen Fällen nahezu ausschließlich beim dominanten Unternehmen statt.

Abbildung 4-2 stellt die Variante des zentralen Data-on-Network mit einem dominanten Unternehmen grafisch dar. Jeder Teilnehmer des Logistiknetzwerks verfügt über ein RFID-System, welches insbesondere eine Erfassungs- und Abfrageschnittstelle sowie eine interne Datenbank beinhaltet. Die erfassten RFID-Daten werden von den Netzwerkpartnern an das dominante Unternehmen B weitergeleitet. In dem dargestellten Beispiel benötigt Unternehmen C Daten zu einem RFID-Objekt und greift aus einer Applikation heraus auf die Abfrageschnittstelle des Unternehmens B zu, welches die geforderten Daten übermittelt.

⁸⁴ www.walmart.com

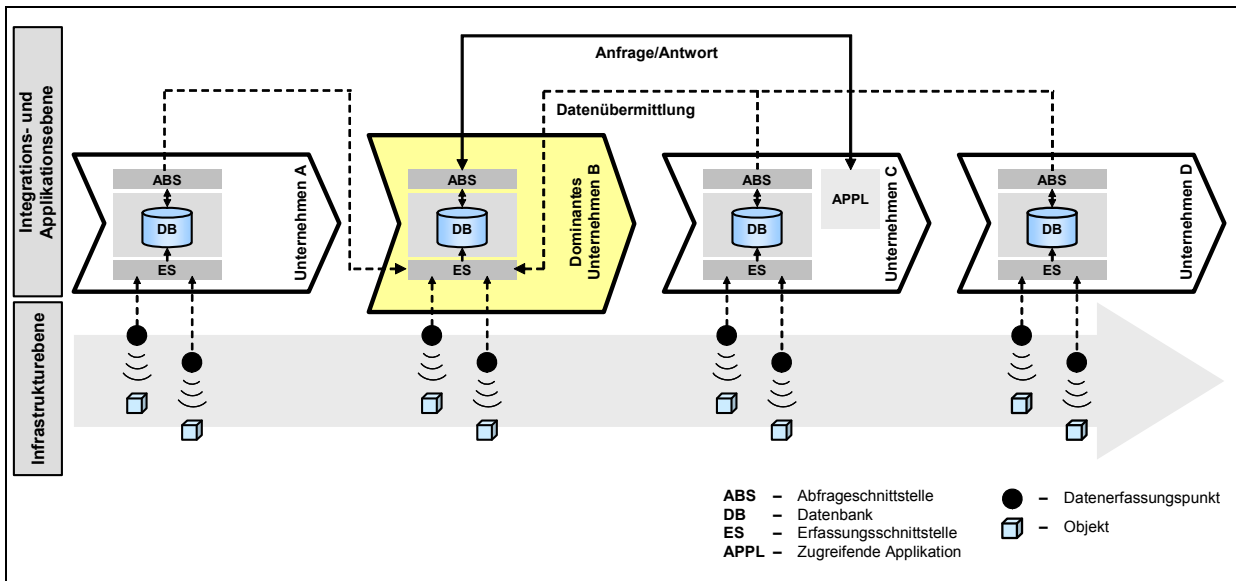


Abbildung 4-2: Zentrales Data-on-Network (dominantes Unternehmen): Schematische Darstellung

Externer Dienstleister

In Logistiknetzwerken mit gleichberechtigten Unternehmen übernimmt in der Regel ein externer Dienstleister die Rolle des Koordinators. Traditionell ist dies die Domäne der Logistikdienstleister (LSP – Logistics Service Provider). Seit einigen Jahren entstehen Logistikdienstleister, die umfassende Dienste im Bereich des Managements von Wertschöpfungsnetzwerken anbieten, welche über die herkömmlichen Logistik-Dienstleistungen hinausgehen. Sie koordinieren die logistischen Prozesse in Logistiknetzwerken und werden als *Fourth Party Logistics (4PL)-Provider* bezeichnet. Diese Bezeichnung verdeutlicht die historische Entwicklung im Bereich der Logistikdienstleistung (vgl. Engel et al. 2003): Noch in den 70er Jahren wurden logistische Dienstleistungen hauptsächlich unternehmensintern abgewickelt (1PL – First Party Logistics). In den 80er Jahren wurden Logistikaufgaben – gemäß dem Trend zur Fokussierung auf Kernkompetenzen – an Logistikdienstleister (2PL – Second Party Logistics) ausgelagert. Anfang der 90er Jahre entwickelten sich die Logistikdienstleister zu sog. Systemdienstleistern (3PL – Third Party Logistics), die neben den grundlegenden Logistikdienstleistungen auch Informations- und Finanzdienste anbieten (siehe Abbildung 4-3). Heute werden Logistikaufgaben von den Unternehmen häufig an mehrere 3PL-Dienstleister ausgelagert und ein 4PL-Dienstleister mit der Koordination der Abläufe in dem Logistiknetzwerk beauftragt. Diesem Trend folgend entwickeln sich auch traditionelle Logistikdienstleister zu sog. „Lead Logistics Providern“, die für den gesamten Logistik-Prozess verantwortlich sind und mit verschiedenen Dienstleistern zusammenarbeiten.

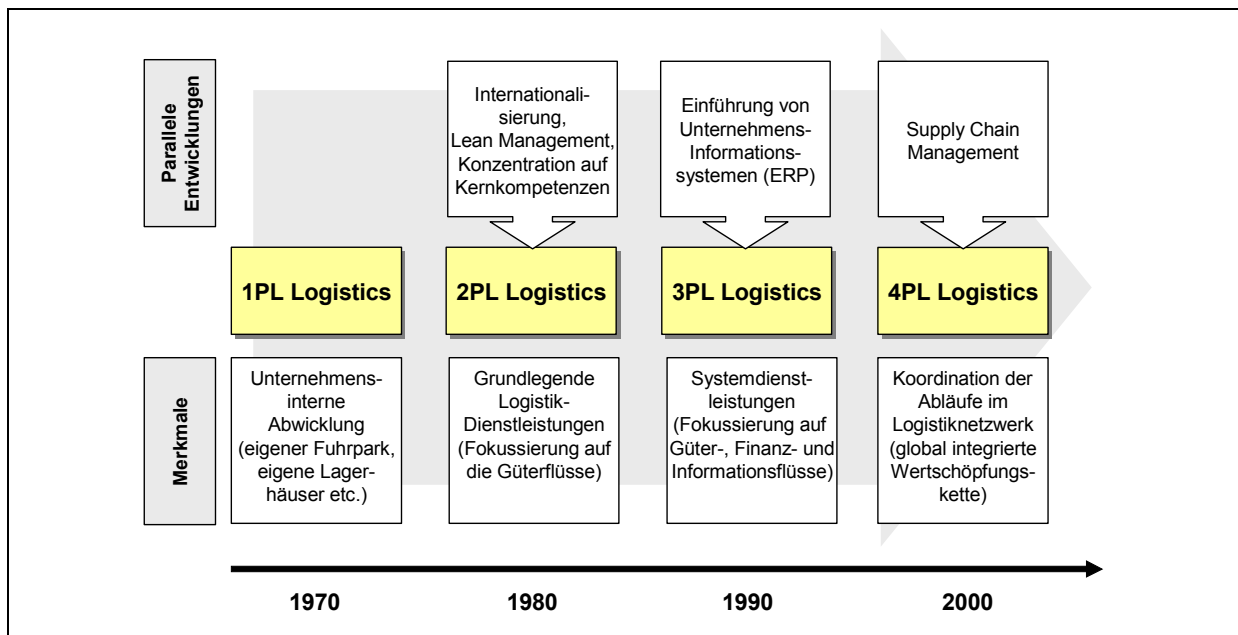


Abbildung 4-3: Historische Entwicklungen auf dem Gebiet der Logistik-Dienstleistung

Bei Logistikdienstleistern aus Deutschland finden sich bislang nur vereinzelte Hinweise auf die Bereitstellung von RFID-Diensten. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass RFID bislang noch keine hinreichende Adoption in unternehmensübergreifenden Logistiknetzwerken erreicht hat. Neben traditionellen Logistikdienstleistern sind im Zuge der Popularisierung der RFID-Technologie spezielle RFID-Dienstleister entstanden (siehe Tabelle 4-1). Diese Unternehmen nehmen Daten ihrer Kunden entgegen, bereiten diese den jeweiligen Anforderungen nach auf und leiten die gewonnenen Informationen an die Logistikpartner weiter.

In Abbildung 4-4 ist die Variante des zentralen Data-on-Network mit einem externen Dienstleister grafisch dargestellt. Die RFID-Daten werden von den Netzwerkpartnern an den Dienstleister übermittelt. Dieser aggregiert und verdichtet die Daten zu aussagekräftigen Informationen und leitet diese anschließend an die Netzwerkpartner (in dem Beispiel Unternehmen C) im Falle einer Anfrage (Pull-Prinzip) bzw. in regelmäßigen Abständen (Push-Prinzip) weiter.

Unternehmen	Umsatz (2007 in Mio \$)	Mitarbeiter (2007)	RFID-Dienstleistungen
Savi Technology Inc. ⁸⁵	41.900	140.000	<ul style="list-style-type: none"> SmartChain Enterprise Platform: Erfassung, Aufbereitung und Weiterleitung von RFID-Daten im Logistiknetzwerk
LogAgency GmbH	k. A.	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> „ASP-Dienstleister für das Datenhandling“ SCM-Datenprozessplattform (Entgegennahme, Aufbereitung, Weitergabe von RFID-Daten)
inet-Logistics GmbH	k. A.	50	<ul style="list-style-type: none"> „Logistics-server“: Monitoring-Lösung (vorwiegend für die Kühlkette) Sensorisch erfasste Daten werden an eine zentrale IT-Anwendung übermittelt, ausgewertet und allen Partnern des Logistiknetzwerks zur Verfügung gestellt
Euro-Log AG	k. A.	80	<ul style="list-style-type: none"> „Integration logistischer Prozesse durch die Bündelung und Verarbeitung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette“ Operationale Basis ist eine Kommunikationsplattform mit eigenen Rechenzentren
RSi Retail Solution Inc.	k. A.	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> SaaS-Lösungen zur Speicherung und Verarbeitung von RFID-Daten („RFID Analytics“) Vornehmlich für Konsumgüterhersteller und Handelsunternehmen

Tabelle 4-1: Dienstleister für das RFID-Datenmanagement

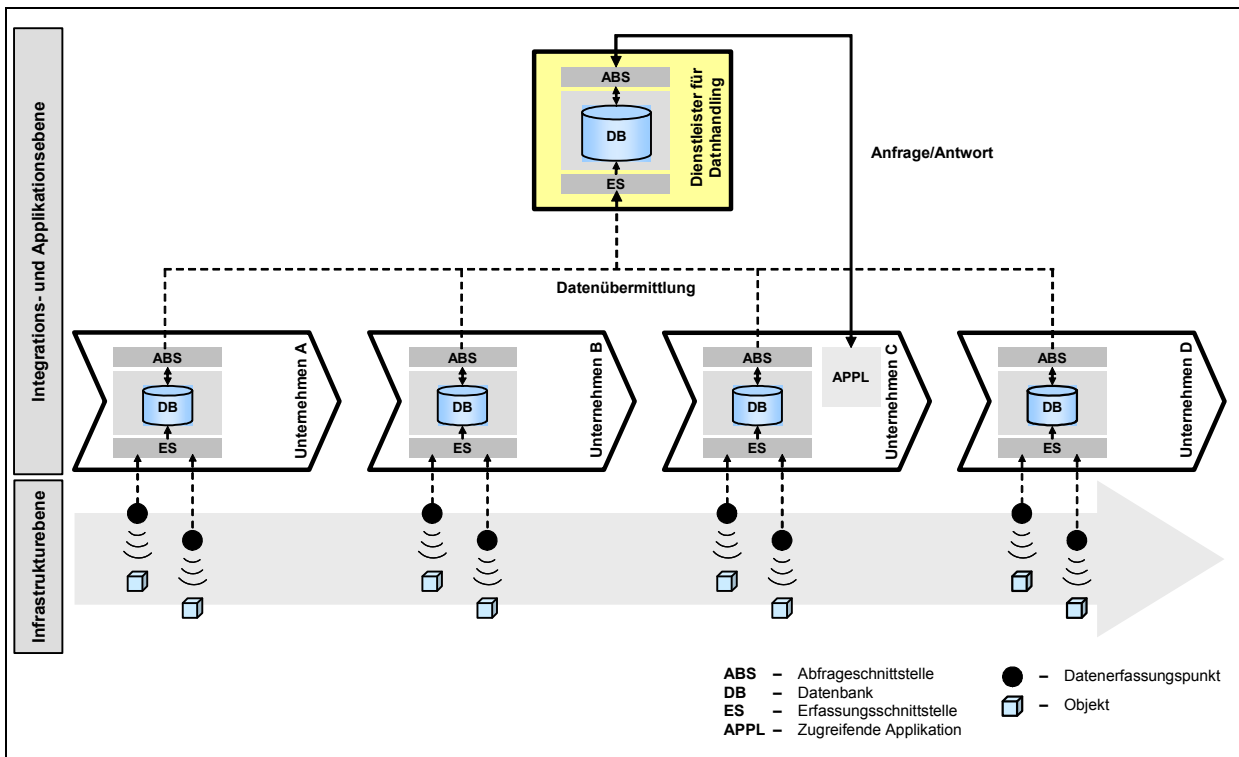


Abbildung 4-4: Zentrales Data-on-Network (Dienstleister): Schematische Darstellung

⁸⁵ Savi Technology (www.savi.com) ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft von Lockheed Martin (www.lockheedmartin.com). Die Umsatz- und Mitarbeiterzahlen beziehen sich auf das Mutterunternehmen.

4.1.2.2 Dezentrales Data-on-Network

Bei dem dezentralen Ansatz verbleiben die Daten bei den jeweiligen Akteuren des Logistiknetzwerks. Wie Abbildung 4-5 verdeutlicht, findet keine zentrale Datensammlung und -auswertung statt. Vielmehr stellen die Unternehmen (im Beispiel Unternehmen C) bei Bedarf Anfragen an den jeweiligen Netzwerkpartner, um die benötigten Informationen zu dem logistischen Objekt zu erhalten. Bei dieser Datenorganisationsform muss gewährleistet werden, dass die Akteure jederzeit wissen, wo sie die relevanten Daten zu einem logistischen Objekt finden. Es ist also ein sog. Lookup-Service notwendig, der die Anfragen an die richtige Datenbank weiterleitet. Weiterhin müssen die Datenformate und Abfragemechanismen allen Teilnehmern bekannt sein, damit eine reibungslose Datenkommunikation stattfinden kann.

Eine konkrete Ausgestaltung des dezentralen Data-on-Network Ansatzes bildet das EPCglobal-Netzwerk.⁸⁶ Ein generisches, nicht an die Architektur des ECPglobal-Netzwerks angelehntes, Modell des dezentralen Data-on-Network-Ansatzes findet sich bei CHALASANI/BOPANA (2007, S. 252 ff).

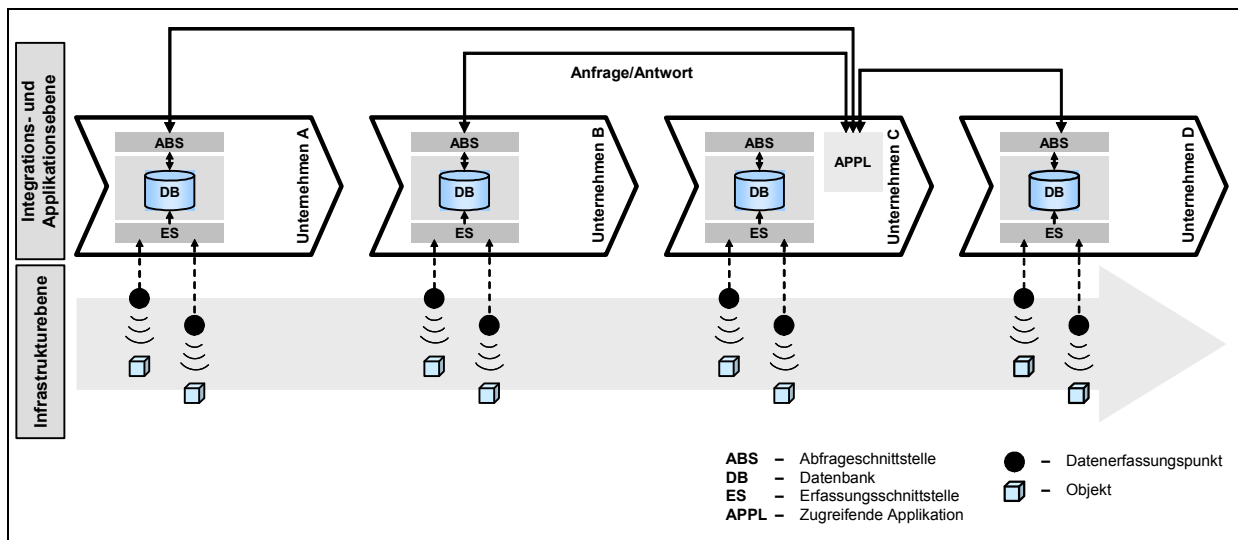


Abbildung 4-5: Dezentrales Data-on-Network: Schematische Darstellung

4.1.3 Data-on-Tag

Die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Data-on-Network-Konzepte machen keinen Gebrauch von der signifikant höheren Speicherkapazität der RFID-Transponder. Diese erlaubt es, neben der eindeutigen ID, weitere Daten am Objekt abzulegen. Mit der objektbegleitenden Datenspeicherung wird dabei die Trennung von physikalischen Objekten und den dazugehörigen objektbezogenen Daten, wie sie bei herkömmlichen Technologien und Informationssystemen zu finden ist, aufgehoben. Die Daten, die das physische Objekt in der digitalen Welt repräsentieren, verbleiben am Objekt. Indem jedes Objekt mit einer kleinen Datenbank versehen wird, bietet das Data-on-Tag-Konzept dabei die höchste Stufe der Dezentralität der Datenspeicherung in Logistiknetzwerken.

⁸⁶ Vgl. Kapitel 2.1.4.

Dem Data-on-Tag Konzept liegt weiterhin die Annahme zugrunde, dass Daten, die zur Bildung des abstrakten Modells im Informationssystem benötigt werden, nicht zwangsläufig „online“ gesammelt werden. Sie werden vielmehr am „Ort des realen Geschehens“ („point of action“) erfasst, der nicht unbedingt in Reichweite von Netzwerken sein muss. Auch ist es nicht immer möglich, Steuerungsdaten, die eine Änderung der realen Welt nach sich ziehen sollen, der realen Welt „online“ zur Verfügung zu stellen. Die benötigten Daten müssen in diesen Fällen physisch an dem Ort, an dem die Aktion in der realen Welt durchgeführt werden soll, vorhanden sein. Es bietet sich also an, diese Daten auf dem Transponder, ergo objektbegleitend, zu erfassen bzw. zur Verfügung zu stellen.

Forderung nach Data-on-Tag in der Praxis

Aufgrund der genannten Vorteile des Data-on-Tag-Konzepts existiert in der Praxis eine relativ große Nachfrage nach zusätzlich am Objekt gespeicherten Daten, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen (vgl. Uckelmann/Böse 2006; Harmon 2006, S. 42 f.):

- In der Automobilindustrie verlangen Unternehmen neben der Speicherung der allgemeinen ID (z. B. EPC) auch nach der Möglichkeit, branchenspezifische Identifikationscodes am Objekt zu hinterlegen. Im Rahmen des US-amerikanischen „TREAD Act“ (Transportation Recall Enhancement, Accountability and Documentation) wird z. B. für die Reifenindustrie die objektbegleitende Speicherung von Informationen zu Autoreifen verlangt.
- Die Pharmabranche identifiziert Bedarf für die Speicherung von Mindesthaltbarkeitsdaten und Entsorgungsinformationen an Medikamenten.
- In Kühlketten wird das Data-on-Tag-Konzept zur Speicherung von Sensordaten (z. B. Temperatur) diskutiert (vgl. Amador et al. 2009).

Abbildung 4-6 stellt das Data-on-Tag-Konzept schematisch dar. Die relevanten Objektdaten befinden sich auf dem Transponder, weshalb die Akteure im Gegensatz zu der Data-on-Network-Variante nicht mehr auf verteilte Datenbanken zugreifen müssen. Bei Bedarf können die Daten im Falle eines wiederbeschreibbaren Transponders aktualisiert bzw. ergänzt werden.

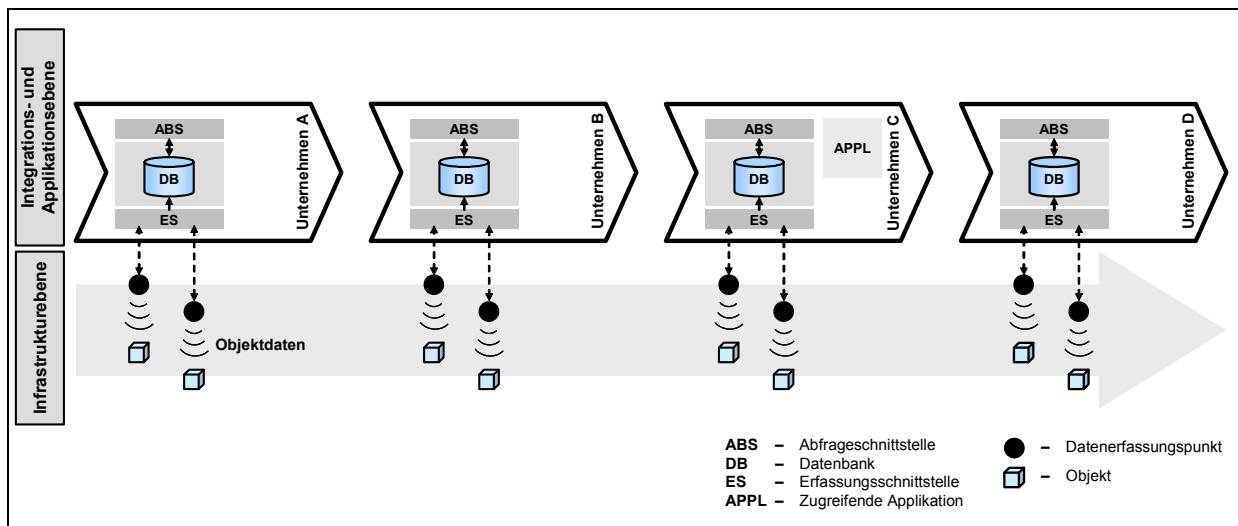


Abbildung 4-6: Data-on-Tag: Schematische Darstellung

4.1.4 Grundlegende Beurteilung

Die folgende Tabelle 4-2 stellt zunächst die wesentlichen Merkmale der beiden grundlegenden Datenorganisationskonzepte Data-on-Network und Data-on-Tag dar. Das Data-on-Network-Konzept kann zudem mit der Speicherung in dezentralen bzw. zentralen Datenbanken in zwei Varianten untergliedert werden. Zusammenfassend können Objektdaten in RFID-gestützten Logistiknetzwerken also zentral, dezentral oder am Objekt vorgehalten werden. Diese Datenorganisationsformen sollen nachfolgend kurz beurteilt werden, bevor in dem nächsten Abschnitt die objektbegleitende Datenspeicherung einer eingehenden Analyse unterzogen wird.

Der Data-on-Network Ansatz bietet den Vorteil der Nutzung kostengünstiger Transponder: Da am Objekt lediglich die eindeutige ID gespeichert wird, sind Transponder mit minimaler Speicherkapazität ausreichend. Der gravierende Nachteil liegt jedoch in der Abhängigkeit von der Netzwerkinfrastruktur. Sobald objektspezifische Daten benötigt werden, muss eine Anbindung an die zentralen Datenbanken gewährleistet sein. Zudem ist die Nutzung von Zusatzfunktionalitäten eingeschränkt. Aufgrund der Tatsache, dass nur die ID auf dem Transponder gespeichert wird, werden komplementäre Technologien, wie bspw. Sensorik, nicht unterstützt.

Die zentrale Speicherung und Verwaltung der Daten durch einen Informationsintermediär hat zwar den Vorteil einer simplen Architektur und als Konsequenz eines einfachen Datenmanagements (mit Ausnahme der Regelung des Dateneigentums). Demgegenüber steht jedoch die Problematik des „single point of failure“ und der (im Regelfall) unzureichenden Skalierbarkeit. Diese Nachteile werden von der Datenhaltung in verteilten Datenbanken adressiert. Allerdings handelt es sich hierbei um eine komplexe Architektur, die nur durch die konsequente Implementierung von Standards und eine enge Kooperation zwischen den beteiligten Akteuren realisiert werden kann.

	Data-on-Network	Data-on-Tag
Konzept	Abkopplung Objekt und Daten	Integration der Daten mit dem Objekt
Voraussetzung für Datenzugriff	Netzwerk-Infrastruktur	Präsenz des Objekts
Speicherort der Objekt-Daten	zentral (Datenbanken)	dezentral (Objekt)
Inhalt der Daten auf dem Transponder	ID (EPC)	objektbezogene Daten
Art der Daten auf dem Transponder	statisch	dynamisch
Zusatzfunktionalitäten (wie Sensorik)	in der Regel nicht möglich	möglich
Erforderliche Speicherkapazität auf dem Transponder	gering	hoch
Transponderkosten	gering	hoch
Datensicherheit	Zugriffsmechanismen in Datenbanken	Verschlüsselung bzw. Passwort-schutz auf dem Transponder

Tabelle 4-2: Wesentliche Merkmale der Datenorganisationskonzepte

Neben den hohen Transponderkosten aufgrund des erhöhten Bedarfs an Speicherkapazität verhindert die mangelnde Standardisierung auch den unternehmensübergreifenden Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung. Es gibt jedoch erste Bemühungen in Richtung einer Vereinheitlichung der Speicherstruktur von Data-on-Tag Transpondern (vgl. Want 2004, S. 46; Harmon 2006, S. 42 ff.; Osaka et al. 2008, S. 174 ff.). Der Data-on-Tag Ansatz bietet vor allem den Vorteil, Daten „offline“ am Ort des Geschehens erfassen zu können. Abschließend fasst die folgende Abbildung 4-7 die Vor- und Nachteile der vorgestellten Datenorganisationskonzepte zusammen.

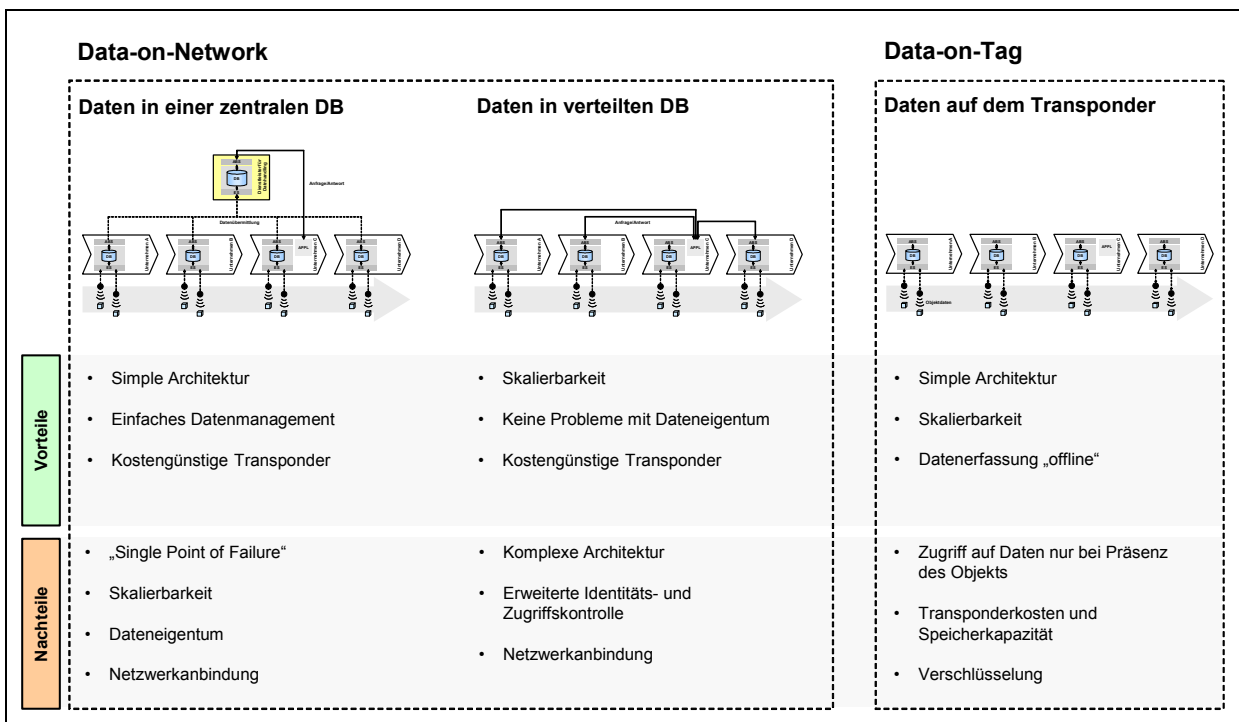


Abbildung 4-7: Vergleich der Datenorganisationskonzepte

4.2 Herleitung des konzeptuellen Modells zur objektbegleitenden Datenspeicherung

In diesem Kapitel wird ein konzeptuelles Modell zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken hergeleitet. Hierzu werden zunächst konzeptionelle Vorüberlegungen dargestellt, welche in die Formulierung eines ersten Bezugsrahmens münden (Kapitel 4.2.1). Danach werden Hinweise aus der relevanten Literatur sowie aus Fallstudien ausgewertet, die der Anpassung des Bezugsrahmens dienen (Kapitel 4.2.2).

4.2.1 Konzeptionelle Vorüberlegungen und Formulierung eines ersten Bezugsrahmens

Mit Hilfe des Bezugsrahmens sollen die Fragen beantwortet werden, welche Faktoren den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung beeinflussen, wie die konkrete Ausgestaltung der objektbegleitenden Datenspeicherung aussieht und welche Konsequenzen sich aus dem Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung ergeben. Die erste Frage soll Aufschluss darüber geben, wann es sinnvoll ist, Daten am Objekt zu speichern. Insbesondere gilt es zu analysieren, welche Einflussfaktoren bei der Entscheidung für diese Organisationsform eine Rolle spielen und welche Einflussstärke sie besitzen. Die zweite Frage fokussiert die Implementierung der objektbegleitenden Datenspeicherung. Eine Fragestellung in diesem Bereich bildet die adäquate Wahl der Daten: Aufgrund der limitierten Speicherkapazität muss in der Regel abgewogen werden, welche Daten am Objekt gespeichert werden und welche Daten in zentralen Datenbanken verbleiben. Es gilt hierbei auch zu systematisieren, welche Funktion die objektbegleitenden Daten besitzen. Die dritte Frage zielt auf die Konsequenzen der objektbegleitenden Datenspeicherung ab. Hier sind die Nutzenpotenziale dieser Datenorganisationsform zu erörtern. Abbildung 4-8 stellt die relevanten Forschungsbereiche in einem ersten Bezugsrahmen grafisch dar. Nachfolgend werden diese Bereiche auf Basis von Erkenntnissen aus der Theorie und Praxis konkretisiert.

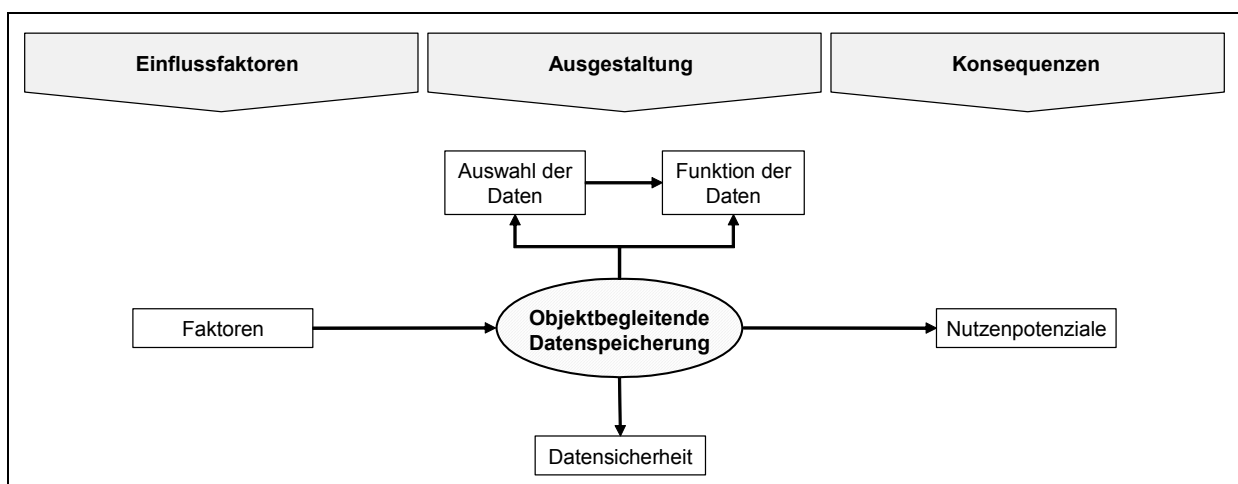


Abbildung 4-8: Erster Bezugsrahmen zur objektbegleitenden Datenspeicherung

4.2.2 Bezugspunkte aus Theorie und Praxis

Anhand der Literaturrecherche (Kapitel 4.2.2.1) und den Fallstudienuntersuchungen (Kapitel 4.2.2.2) sollen nachfolgend die Einflussfaktoren, wesentliche Merkmale der Ausgestaltung sowie die potenziellen Nutzenpotenziale der objektbegleitenden Datenspeicherung identifiziert werden. Die Ergebnisse dieser Abschnitte münden in der Anpassung des vorgestellten Bezugsrahmens (Kapitel 4.2.2.3).

4.2.2.1 Hinweise aus der relevanten Literatur

In diesem Kapitel wird das relevante Schrifttum zum RFID-Datenmanagement analysiert, um zum einen die Einflussfaktoren der Wahl der Datenorganisationsform (Kapitel 4.2.2.1.1) und zum anderen die Nutzenpotenziale der objektbegleitenden Datenspeicherung (Kapitel 4.2.2.1.2) herzuleiten.

4.2.2.1.1 Einflussfaktoren

In der einschlägigen Literatur können folgende Faktoren identifiziert werden, die Einfluss auf die Entscheidung besitzen, Daten objektbegleitend zu speichern:

Netzwerkinfrastruktur: Daten sollten am Transponder vorgehalten werden, wenn eine unzureichende Netzwerkinfrastruktur entlang der Logistikkette besteht (vgl. Diekmann et al. 2007; Kürschner et al. 2008b). Dies ist z. B. der Fall, wenn Objektdaten häufig über mobile RFID-Reader eingelesen werden, die über keine WLAN-Anbindung an zentrale Systeme verfügen. Das Data-on-Tag-Konzept unterstützt in dieser Hinsicht ungeführte Logistikprozesse durch die Bereitstellung von Routing-Informationen für logistische Objekte bei nicht explizit vorgegebenen Routen.

Transponderpreis: Eine entscheidende Rolle bei der Wahl der Datenorganisation spielt der Transponderpreis. Für die netzwerkbasierte Speicherung können kostengünstige Transponder verwendet werden, da lediglich eine ID gespeichert wird. Sollen dagegen zusätzliche Objektdaten abgelegt werden, müssen in der Regel teurere Transponder verwendet werden, da mehr Speicher benötigt wird und unter Umständen die Funktion der Wiederbeschreibbarkeit notwendig ist (vgl. Diekmann et al. 2007).

Datensicherheitskonzepte: Sollen sensible Daten am Objekt gespeichert werden, muss die Datensicherheit auf dem Transponder gewährleistet werden. Es sind Zugriffsmechanismen notwendig, um zu gewährleisten, dass die Netzwerkpartner nur auf die für sie bestimmten Daten zugreifen bzw. nur bestimmte Regionen des Transponderspeichers beschreiben können (vgl. Werner et al. 2007). Werden zukünftig umfangreiche Datenbestände auf Transpondern vorgehalten, steigt auch die Gefahr, dass wertvolle Informationen über Produkte und Prozesse im Logistiknetzwerk von Wettbewerbern ausspioniert werden können (vgl. Dos Santos/Smith 2008, S. 127). Neben Zugriffsmechanismen sind deshalb auch umfangreiche Datenschutzmaßnahmen notwendig. Zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich sollten einen signifikanten Einfluss auf die Adoption des Data-on-Tag-Konzepts haben.

Standardisierung: Hier spielen insbesondere Standards im Bereich der Datenstrukturen auf dem Transponder eine zentrale Rolle (vgl. Harmon 2006; Uckelmann 2007, S. 2). Auf der einen Seite verhindert die mangelnde Standardisierung bislang den unternehmensübergreifenden Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung. Auf der anderen Seite erschweren fehlende Standards im Bereich der

Zugriffskonzepte in Netzwerken (wie können Daten zu einem Objekt in verteilten Datenbanken gefunden werden?) die Diffusion von dezentralen Data-on-Network-Lösungen (vgl. Grummt/Müller 2008, S. 35 f.).

Unterstützte Funktion im Logistiknetzwerk: RFID-Daten werden auf dem Transponder zu unterschiedlichen Zwecken gespeichert, z. B. zur Dokumentation von Qualitätsprüfungen oder als zusätzliche Informationen zum Objekt. Die durch den RFID-Einsatz unterstützte Funktion im Logistiknetzwerk spielt daher eine wichtige Rolle bei der Entscheidung, Daten objektbegleitend zu speichern. Handelt es sich bei der RFID-gestützten Aufgabe z. B. um das Monitoring des Objektzustands, werden also bspw. Sensordaten während eines Transportvorgangs aufgezeichnet, dann ist das Data-on-Tag-Konzept unabdingbar. Wird RFID zur Rückverfolgung von Produkten eingesetzt, ist dagegen in der Regel keine objektbegleitende Datenspeicherung erforderlich. Wird RFID zu Steuerungszwecken implementiert, sind auch Antwortzeiten bei der Entscheidung, Daten objektbegleitend zu speichern, zu berücksichtigen (vgl. Uckelmann 2007, S. 2): Sollen echtzeitnahe Entscheidungen auf Basis der gelesenen Daten erfolgen, muss abgewogen werden, ob eine zentrale Speicherung (längere Antwortzeiten durch Netzwerkabfragen) oder eine objektbegleitende Speicherung (hier sind die Antwortzeiten länger, wenn sich mehr Daten auf dem Transponder befinden) erfolgt. Auch die Frequenz der Datenabfragen kann einen Einfluss auf die Wahl der Datenorganisationsform haben. Ist diese nämlich so hoch, dass die Kosten des Datenzugriffs und der Datenübertragung über Netzwerke die Kosten der Speicherung am Transponder übersteigen, dann sollte die Data-on-Tag-Variante den Vorzug erhalten.

Datenschutzbedenken: Einen weiteren Einflussfaktor stellen Datenschutzbedenken der Konsumenten dar, wenn mit RFID-Etiketten versehene Produkte auf der Verkaufsfläche angeboten werden (vgl. Werner et al. 2007). Beinhalten die Transponder Objektdaten, könnten diese nach dem Kauf – zumindest theoretisch, da praktisch die Lesedistanz der verwendeten Transponder in der Regel sehr limitiert ist – von Dritten ausgelesen und auf diese Weise die Privatsphäre verletzt werden. Unternehmen, die RFID auf der Produktebene einsetzen, bieten derzeit entweder die Möglichkeit, Transponder am Point of Sale zu deaktivieren (z. B. Metro Group, vgl. Tangens 2006), oder entfernen die Etiketten bevor das Produkt auf die Verkaufsfläche gelangt (z. B. Lemmi Fashion, vgl. Speer 2006). Auch wenn die am Objekt gespeicherten Informationen keine Gefahr darstellen, wird aufgrund der aktuellen öffentlichen Debatte im Hinblick auf den Datenschutz das Prinzip der Datensparsamkeit gefordert (vgl. Spiekermann 2007). Auf Seiten des Data-on-Network-Konzepts besteht aber auch die Gefahr, dass bei einer zentralen Speicherung im Falle einer Sicherheitslücke alle sensiblen Objektdaten in die falschen Hände gelangen. Hier kann also der Data-on-Tag-Ansatz unter Umständen mehr Sicherheit durch die Verteilung der Daten auf sehr viele kleine Datenbanken in Form von Transpondern bieten. Das dezentrale Data-on-Network-Konzept trifft in Bezug auf diesen Einflussfaktor derzeit auf Widerstand: Unternehmen weigern sich in der Regel aufgrund fehlender Sicherheitsmechanismen Informationen zur freien Verfügbarkeit ins Netz zu stellen (vgl. Uckelmann 2007).

4.2.2.1.2 Nutzenpotenziale

Folgende Nutzenpotenziale des Data-on-Tag-Konzepts werden in der Literatur angeführt:

Keine Netzwerkanbindung notwendig, um Objektdaten zu erfassen: Die Unabhängigkeit von der Netzwerkinfrastruktur ist in der Literatur das am häufigsten genannte Nutzenpotenzial der objektbegleitenden Datenspeicherung (vgl. Harrison/Parlikad 2006; Diekmann et al. 2007; Liu 2007; Kürschner et al. 2008b). Fungiert der Transponder als temporärer Speicher für Sensordaten (z. B. Temperaturverläufe), ist eine objektbegleitende Datenspeicherung bei Transportvorgängen unabdingbar. Selbst wenn eine Netzwerkanbindung vorhanden ist, kann es in einigen Fällen – bspw. wenn echtzeitnahe Entscheidungen notwendig sind und die Datenübertragung über Netzwerke zu lange dauern würde – dennoch vorteilhaft sein, die Daten am Objekt zu belassen.

Gewährleistung der Authentizität der Daten: Eine der Hauptforderungen an ein effektives Management von Produktdaten ist die Gewährleistung der Authentizität dieser Daten (vgl. Harrison/Parlikad 2006, S. 5). Eine Speicherung von objektbezogenen Daten in zentralen Datenbanken birgt die Gefahr, dass durch einen Fehler bei der Referenzierung – also z. B. wenn die ID nicht auf den richtigen Datensatz verweist – falsche Daten dem Objekt zugeordnet werden. Durch die Integration des realen Objekts mit den Informationen zu diesem Objekt kann demnach beim Data-on-Tag-Konzept mit hoher Wahrscheinlichkeit⁸⁷ gewährleistet werden, dass Objektdaten ausgelesen werden.

Substitution papiergebundener Informationsflüsse: Häufig werden logistische Objekte mit schriftlichen Dokumenten durch die Logistikkette propagiert. Dies ist z. B. bei Konformitätsbescheinigungen für sicherheitskritische Komponenten in der Luftfahrtindustrie der Fall (vgl. Kelepouris et al. 2006, S. 27). Diese könnten bei einer Speicherung auf dem Transponder mit einer digitalen Unterschrift versehen werden und so den papiergebundenen Informationsfluss ablösen.

Effiziente Möglichkeit der Datenübermittlung an Netzwerkpartner: Sollen Objektdaten den Akteuren im Logistiknetzwerk bereitgestellt werden, ist bei einer Datenspeicherung in zentralen Datenbanken der Aufbau eines Informationsnetzwerks erforderlich. Bei der Komplexität der Beziehungen in einem Logistiknetzwerk kann dies nicht nur kostenintensiv (vgl. Uckelmann 2007), sondern auch mit umfangreichen Änderungen der vorhandenen (in der Regel sehr heterogenen) Systeme verbunden sein. Die Ablehnung solcher Systemänderungen kann die Entscheidung zugunsten der Speicherung der Daten am Objekt beeinflussen (vgl. Kürschner et al. 2008b, S. 131).

Backup der zentral gespeicherten Daten: Falls zentrale Systeme oder Netzwerke ausfallen, können bei der objektbegleitenden Datenspeicherung die notwendigen Daten dennoch ausgelesen werden. Die Transponder fungieren dabei als kleine Backup-Datenbanken (vgl. Kürschner et al. 2008b, S. 131). Durch die redundante Datenhaltung wird die Prozesssicherheit erhöht, wobei aber auch gewährleistet werden muss, dass die Transponder-Daten mit den Datenbeständen in zentralen Systemen adäquat synchronisiert werden (vgl. Diekmann et al. 2007).

⁸⁷ Die Daten auf dem Transponder unterliegen bei Anwendung von Sicherheitsmechanismen (z. B. Verschlüsselung, Passwortschutz) einem geringen Risiko der Fälschung.

Entlastung zentraler Systeme: Neben der Speicherung der Daten können Transponder mit einem Mikroprozessor ausgestattet und in die Lage versetzt werden, eigene Berechnungen durchzuführen. Damit können bspw. zentrale Systeme in der Produktion durch eine dezentrale Vorverarbeitung von Daten entlastet werden (vgl. Diekmann et al. 2007).

4.2.2.2 Hinweise aus Fallstudien

Die Erkenntnisse der Literaturrecherche werden nachfolgend durch eine Fallstudienuntersuchung ergänzt. Die Fallstudienmethode wird angewendet, da sie sich besonders gut für die Untersuchung eines zeitgenössischen Phänomens (RFID) innerhalb seines realen Kontexts (Einsatz in Logistiknetzwerken) eignet (vgl. Eisenhardt 1989; Yin 2007). Der Beschreibung der einzelnen Fallstudien (Kap. 4.2.2.2.2 bis 4.2.2.2.10) sowie der anschließenden Interpretation der Ergebnisse (Kap. 4.2.2.2.11) werden einleitende Bemerkungen zur Auswahl der Fallstudien vorangestellt (Kap. 4.2.2.2.1).

4.2.2.2.1 Einleitende Bemerkungen zur Auswahl der Fallstudien

Für die Fallstudienuntersuchung wurden neun Fallbeispiele ausgewählt. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass Fallstudien zum einen aus unterschiedlichen Branchen berücksichtigt werden, bei denen auch unterschiedliche Produkte – sowohl innovativer als auch funktionaler Art – mit RFID-Transpondern ausgestattet sind. Unterschiede in den jeweiligen Logistiknetzwerken als auch in den Produkten sollen dabei Aufschlüsse über mögliche Einflussfaktoren der objektbegleitenden Datenspeicherung liefern. Zum anderen wurde auch darauf geachtet, dass sich die Fallstudien in dem Zweck des RFID-Einsatzes unterscheiden, um die unterschiedlichen Funktionen, die am Objekt gespeicherte RFID-Daten haben können, analysieren zu können. Es wurden weiterhin neben Fallstudien zum Data-on-Tag-Konzept auch Beispiele des Data-on-Network-Ansatzes aufgenommen, um zu vergleichen, weshalb in diesen Fällen keine objektbegleitende Datenspeicherung eingesetzt wird. Die folgende Tabelle 4-3 gibt einen Überblick zu den verwendeten Fallbeispielen.

Kapitel	Unternehmen	Branche	Logistisches Objekt
4.2.2.2.2	Hewlett-Packard	Unterhaltungselektronik	Drucker
4.2.2.2.3	Lemmi Fashion	Bekleidungsindustrie	Bekleidung
4.2.2.2.4	REWE Group	Lebensmittelhandel	Paletten und Rollcontainer (Fleisch- und Wurstwaren)
4.2.2.2.5	Cambium Forstbetriebe	Forstwirtschaft	Holzstämmen
4.2.2.2.6	Airbus	Luffahrtindustrie	Spezialwerkzeuge
4.2.2.2.7	Airbus/Boeing	Luffahrtindustrie	Flugzeugteile
4.2.2.2.8	Volkswagen	Automobilindustrie	Spezialbehälter
4.2.2.2.9	Apo Conerpo/Nordiconad	Lebensmittelhandel	Transportbehälter (Kirschen)
4.2.2.2.10	BP	Öl- und Gasindustrie	Chemikalien-Fässer

Tabelle 4-3: Überblick zu den verwendeten Fallbeispielen

4.2.2.2 Unterhaltungselektronik: Hewlett-Packard

Hewlett-Packard (HP) setzt seit 2004 RFID in der Produktion und Distribution der Drucker und Tinte-strahlpatronen ein. Die mit RFID-Transpondern bestückten Drucker werden in dem Werk in Sao Paolo (Brasilien) von Flextronics montiert und die Distributionsaufgaben von DHL übernommen. Über hundert Lesegeräte sind entlang der Drucker-Lieferkette installiert. Jeden Tag werden ca. 40.000 Lesevorgänge in der Fertigung und im Distributionszentrum durchgeführt. Das Volumen der produzierten und ausgelieferten Drucker belief sich im Jahr 2007 auf 3 Mio. Stück (vgl. Gambon 2007). Aufgrund der durchgängigen RFID-Unterstützung im Logistiknetzwerk bezeichnet HP die Implementierung als ein „*hallmark end-to-end RFID model*“ (Hewlett-Packard 2007). HP nennt die folgenden Beweggründe für die Entscheidung, RFID einzusetzen (vgl. Gambon 2007):

- Bisher gab es keine genauen Informationen über den Aufenthaltsort der Produkte in der Lieferkette. HP beziffert die nicht lokalisierbaren Produkte auf ca. 5 Prozent.
- Die Abwicklung der Retouren gestaltet sich häufig durch die teilweise fehlende Identifikation der ausgelieferten Drucker als schwierig. Mittels RFID sollen benötigte Informationen zur Bearbeitung der Retouren jederzeit verfügbar sein.
- Die Auswertung der RFID-Daten soll fundierte Erkenntnisse über die Effizienz der Produktions- und Distributionsprozesse liefern.

HP nutzt die objektbegleitende Datenspeicherung: Wesentliche Objektdaten werden auf dem Transponder hinterlegt (HP spricht hierbei von der „DNA“ des Druckers; beispielhafte Daten können Tabelle 4-4 entnommen werden), während weitergehende Informationen in zentralen Datenbanken gespeichert werden. Hierzu nutzt HP die Dienste des Informationsintermediärs RSi Retail Solutions⁸⁸, welcher für die Konsolidierung und Aufbereitung der entlang des Logistiknetzwerks erfassten RFID-Daten zuständig ist (vgl. Gambon 2007).

Datenart	Daten	Beispiel
ID	EPC	13.00024EA.00083D.0000924CA
Individuelle Daten	HP Seriennummer	BR12345678AAAA
	Testergebnisse und Anzahl der Tests	Pass / 1
	Firmware-Version	01
	Produktvariante (HP Product Option Code)	AK4
	Installationsdatum der schwarzen Patrone	11/may/08
	Installationsdatum der Farbpatrone	05/jan/09
	Bestimmungsort des Produkts	<i>Kein Beispiel vorhanden</i>
Informationen zu Komponenten	<i>Kein Beispiel vorhanden</i>	

Tabelle 4-4: Daten auf dem Transponder bei HP

⁸⁸ www.retailsolutions.com

HP nennt im Wesentlichen drei Gründe für den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung:

- Bei der Herstellung werden Testergebnisse auf dem Transponder vermerkt. Damit wird gewährleistet, dass nur freigegebene Drucker (Status „pass“) an die nächste Station weitergeleitet werden. Diese Entscheidung muss zeitnah erfolgen und mit der Speicherung der Testergebnisse am Transponder kann gewährleistet werden, dass die Daten jederzeit verfügbar sind.
- Bei der Distribution der Drucker kann der Bestimmungsort jederzeit und ohne Anbindung an die zentrale Datenbank ermittelt werden. Dies ist deshalb wichtig, da nicht überall entlang des Logistiknetzwerks eine Netzwerkanbindung gewährleistet werden kann. Zudem können papiergebundene Informationsflüsse substituiert werden.
- Die Abwicklung der Retouren kann viel effizienter durchgeführt werden: Bei den Retouren gibt es die Möglichkeit, neben der Seriennummer auf Testergebnisse und Teileinformationen zurückzugreifen. Dadurch kann eine erste Entscheidung bezüglich erforderlicher Maßnahmen getroffen werden, bevor weitere Informationen aus zentralen Datenbanken abgerufen werden.

4.2.2.3 Bekleidungsindustrie: Lemmi Fashion

Der Bekleidungshersteller Lemmi Fashion produziert ca. eine Million Bekleidungsstücke pro Jahr in seinen Produktionsstätten in Osteuropa und Asien. Seit 2005 setzt das Unternehmen die RFID-Technologie auf Produktebene entlang der gesamten weltweiten Supply Chain (Verkauf in 14 europäischen Ländern) ein und gehört damit zu den Pionieren in der Textilbranche (vgl. Speer 2006, S. 22 f.; Konrad 2006, S. 36 f.). Durch den Einsatz von RFID verspricht sich das Unternehmen die folgenden Nutzenpotenziale:

- Bessere Visibilität bzgl. des Aufenthaltsortes der einzelnen Kleidungsstücke. Insbesondere gab es vor dem RFID-Einsatz keine Informationen darüber, wann genau welche Kleidungsstücke in den deutschen Distributionszentren eintreffen werden.
- Schnellere Erkennung und Beseitigung von Fehlern im Logistiknetzwerk. Insbesondere Differenzen in der gelieferten Quantität der Kleidungsstücke können reduziert werden. Bisher wurden die Kleidungsstücke händisch abgezählt, da meistens keine Standardbefestigung für Barcode-Etiketten existiert und damit der Scan-Vorgang zu lange dauern würde.⁸⁹ Durch den RFID-Einsatz können nun 15.000 anstatt 3.000 Teile pro Tag erfasst werden und es kommt selten zu Differenzen in der Quantität der Produkte.
- Verringerung der Durchlaufzeit (Time-to-market): Diese Kenngröße ist vor allem bei Saisonartikeln wichtig, da die Produkte schnell an Wert verlieren.

Die RFID-Transponder enthalten neben der eindeutigen ID zusätzliche Daten (Größe, Farbe sowie falls notwendig noch weitere spezifische Informationen zum Kleidungsstück). Lemmi Fashion sieht darin eine effiziente Möglichkeit der Datenübermittlung in der Logistikkette, die aufgrund der zahlreichen

⁸⁹ „Da unsere Abverkäufe auf dem EAN-Code basieren, ist der Barcode für unsere Handelspartner auch weiterhin auf dem Etikett zu finden. In unserer internen Logistik spielt er dagegen schon seit über zehn Jahren keine Rolle mehr“ (Lemmi Fashion-Geschäftsführerin Lehmann in einem Interview, vgl. Konrad 2006).

Produktionsstätten in Asien sowie Kunden in Europa einen relativ hohen Grad an Komplexität aufweist. Insbesondere sind keine hohen Investitionen in ein umfassendes Informationsnetzwerk notwendig, um allen Netzwerkpartnern den Zugriff auf Produktdaten zu ermöglichen.

4.2.2.2.4 Lebensmittelhandel: REWE Group

Die REWE Group (REWE, toom, toom BauMarkt, Penny, ProMarkt, Atlas-Reisen, DER-Reisebüros, ITS, Dertour) ist ein führender Handels- und Touristikkonzern in Europa. Das Unternehmen setzt RFID in der Lieferkette von frischen Lebensmitteln, vor allem SB-Fleisch- und Wurstwaren, ein (vgl. Prozeus 2007, S. 4). Dabei wurden über 15.000 Fleischkisten sowie eine kleinere Anzahl Paletten und Rollcontainer mit passiven RFID-Transpondern versehen. Die REWE Group identifiziert die folgenden Nutzenpotenziale aus dem RFID-Einsatz:

- Durch den automatischen Abgleich des Lieferavis mit der Bestellung werden die Wareneingangsprozesse beschleunigt. Im Warenausgang werden falsche Verladungen vermieden.
- Die vorhandenen Behälter können durch die automatische Bestandsführung effizienter genutzt werden.
- Die Sendungsverfolgung wird durch die RFID-basierte Dokumentation der Behälterflüsse unterstützt.
- Der Papieraufwand kann durch den Einsatz des RFID-Systems verringert werden, da keine Begleitscheine mitgeführt werden (das System generiert ein vorausseilendes Lieferavis mit Mindesthaltbarkeitsdaten, Mengen, Gewichten etc.).

Die RFID-Daten werden von den einzelnen Akteuren der Logistikkette (Lieferanten, Distributionszentrum, Einzelhändler) dezentral – gemäß des EPCIS-Konzepts im Rahmen des EPCglobal-Netzwerks (siehe Kapitel 2.1.4) – vorgehalten. Auf dem Transponder (UHF Gen 2) befindet sich nur der EPC. Dieser enthält den von den Barcodes übernommenen Global Returnable Asset Identifier (GRAI) sowie den Serial Shipping Container Code (SSCC)⁹⁰ (vgl. Prozeus 2007, S. 6). Zur Bestandsanalyse der Behälter und Koordination des Behälterflusses werden die RFID-Daten an die „REWE Informationssysteme“ in Köln übermittelt (vgl. REWE Group 2007). Es werden keine weiteren Daten auf dem Transponder vorgehalten, da zum einen der RFID-Einsatz vorwiegend der Automatisierung der Warenein- und -ausgangsprozesse gilt (z. B. werden Falschverladungen am Wareneingangstor durch ein Ampelsignal angezeigt, vgl. Prozeus 2007, S. 10) und zum anderen das Logistiknetzwerk mit lediglich drei Stufen überschaubar ist.

4.2.2.2.5 Forstwirtschaft: Cambium Forstbetriebe

Die Cambium Forstbetriebe bewirtschaften als Dienstleister für forstliche Aufgabenstellungen (Beförderung, Holzernte, Transport, Holzverkauf etc.) eine Waldfläche von ca. 12.000 Hektar. Die Ernte von ca. 400.000 Bäumen pro Jahr wird von dem Unternehmen zu Sägewerken und Papiermühlen transportiert (vgl. Progress Software 2005). Dabei werden speziell für die Anwendung in der Holzverarbeitenden Industrie entwickelte RFID-Transponder, sog. „Nail Tags“ (da in einem Plastiknagel eingebettet), ver-

⁹⁰ Deutsch: Nummer der Versandeinheit (NVE).

wendet, um ein Tracking und Tracing der Baumstämme zu ermöglichen (vgl. Held 2007, S. 67). Der RFID-Einsatz soll den folgenden Problemen begegnen (vgl. Progress Software 2005; Cambium-Forstbetriebe 2006):

- Insbesondere durch Mess- und Zuordnungsfehler existiert in dem Logistiknetzwerk eine hohe Schwundrate (bis zu 15 Prozent). Durch die Installation des RFID-Systems konnte die Schwundrate auf unter fünf Prozent verringert werden, was eine Erhöhung der Umsatzerlöse um einen sechsstelligen Betrag nach sich gezogen hat.
- Die Baumstämme werden häufig unter widrigen Bedingungen auf die LKWs geladen (z. B. schlechte Sichtbarkeit). Dadurch herrschte früher häufig eine Ungewissheit darüber, ob die richtigen Stämme auf den LKW geladen worden sind. Das RFID-System benachrichtigt dagegen die Waldarbeiter und Transporteure über evtl. Falschverladungen.
- Der Eigentumsnachweis ist in einigen Fällen schwierig, da nicht eindeutig belegt werden kann, wo ein bestimmter Baum gefällt worden ist. Dieser Eigentumsnachweis ist durch die geografische Zuordnung des geschlagenen Holzes auf Basis der RFID-Lesung und GPS-Daten nun problemlos möglich.
- Die traditionell verwendeten Plastikfähnchen in den Bäumen wurden bei den diversen Verarbeitungsschritten häufig zerstört, RFID-Transponder sind dagegen robuster.

Die entlang der Logistikkette erfassten RFID-Daten werden in einem zentralen RFID-System, dem sog. Log Tracking System (LTS), abgelegt. Es werden dabei lediglich die IDs der Baumstämme übermittelt. Die eingesetzten passiven RFID-Transponder (125 kHz-Frequenz) beinhalten darüber hinaus keine weiteren Daten. Damit können kostengünstige Transponder verwendet werden, was bei dem Produktwert und der hohen Anzahl an Stämmen in diesem Fall für die Wahl der Data-on-Network-Variante ausschlaggebend war.

4.2.2.2.6 Luftfahrtindustrie I: Airbus

Airbus setzt RFID im Werkzeugmanagement ein, wobei Werkzeuge inklusive der Transportboxen mit Transpondern versehen werden. Bei den ca. 6.000 Werkzeugen handelt es sich überwiegend um teure Spezialwerkzeuge, die auch an Wartungsbetriebe und Fluglinien verliehen werden (vgl. RFID-Atlas 2006a, S. 5 ff.). Das Ziel des RFID-Einsatzes ist die Optimierung des Werkzeug-Versandzyklus sowie des Inventarmanagements. Langfristig möchte Airbus die Versandabwicklung komplett an die Speditionen auslagern und lediglich die Abrechnung des Leihverkehrs verwalten.

Der Werkzeug-Versandzyklus (vgl. Schoetzke/Krischel 2005, S. 2) fängt mit dem Versand der Werkzeuge an den Kunden (Wartungsbetrieb bzw. Fluglinie) an. Diese wurden vor dem RFID-Einsatz nach dem Gebrauch wieder an Airbus zurückgesendet, wo entschieden wurde, ob das Werkzeug zur Herstellung der Wiederverwendbarkeit an einen Kalibrierungs- und Reparaturshop weitergeleitet werden muss. Nun können die Kunden anhand der auf dem aktiven Transponder gespeicherten Daten zum Werkzeug (relevante technische Produktinformationen, Wartungszustand)⁹¹ selbst die Entscheidung

⁹¹ Eine detaillierte Auflistung der Daten findet sich bei TEUFEL (2005, S. 32).

über eine evtl. Kalibrierung bzw. Reparatur treffen. Durch die Schaffung einer Werkzeughistorie mit kritischen Teiledaten sind alle notwendigen Informationen immer am Objekt verfügbar. Somit entfallen unnötige Transportvorgänge, die den Reparaturzyklus um durchschnittlich 6,5 Tage verringern (vgl. RFID-Atlas 2006a, S. 8).

Airbus setzt das Data-on-Tag-Konzept ein, da aufgrund der Vielzahl an Kunden, die im Vorhinein nicht immer bekannt sind, die objektbegleitende Datenspeicherung eine effiziente Möglichkeit der Datenweitergabe bietet. Zudem kann auf umfangreiche papiergebundene Dokumente, die während der vielen Transportvorgänge verloren gehen könnten, verzichtet werden.

4.2.2.2.7 Luftfahrtindustrie II: Airbus / Boeing

Die beiden Flugzeughersteller Airbus und Boeing arbeiten seit 2004 an einem Projekt zur Ausstattung von Flugzeugteilen mit RFID-Transpondern zusammen, womit sie relativ früh die Bedeutung der Technologie für die Luftfahrtindustrie aufgezeigt haben (vgl. Hover 2006, S. 38). RFID soll insbesondere eingesetzt werden, um wichtige Wartungsinformationen zu den Flugzeugkomponenten in verbautem Zustand auslesen zu können. Ein Flugzeug des Typs Boeing 747 besteht bspw. aus über 6 Millionen Einzelteilen, wovon ca. 1.750 kritische Teile mit RFID-Transpondern ausgestattet werden sollen. Dabei handelt es sich vorwiegend um sicherheitskritische Flugzeugteile, die häufig inspiziert, repariert und ersetzt werden müssen (sog. „*limited life parts*“) (vgl. Liu 2007). Die Transponder sollen sowohl Hersteller-Daten („*birth record*“) als auch Flugzeiten, Wartungshistorien etc. („*life record*“) beinhalten. Zur Speicherung der Daten ist eine größere Speicherkapazität von den beiden Flugzeugherstellern gewünscht: Ein wiederbeschreibbarer 128 kBit-Transponder wird gefordert (die UHF EPC-Transponder der zweiten Generation (Gen2) haben derzeit eine Speicherkapazität von 96 Bit).

Die objektbegleitende Datenspeicherung ist in dem dargestellten Fallbeispiel mit folgenden Nutzenpotenzialen verbunden (vgl. Hover 2006, S. 38; Liu 2007):

- Einen wesentlichen Vorteil stellt die Reduzierung der Zeit für Inspektionen und Reparaturen „*by providing the part's repair history in real time without relying on network connectivity to dozens of databases spread across several maintenance, repair, and overhaul facilities around the world*“ (Liu 2007, S. 3) dar.
- Ein besserer Informationsaustausch zwischen Lieferanten und Abnehmern wird gewährleistet. Die notwendigen Informationen befinden sich am Flugzeugteil und müssen nicht aus externen Quellen beschafft werden.
- Die Papierlose Umsetzung der Anforderungen der FAA⁹² an die Dokumentation von sicherheitsrelevanten Flugzeugteilen wird ermöglicht. Digitale Signaturen könnten für die Authentizität der Daten sorgen. Durch die digitale Ablage der Dokumente wird auch eine Reduzierung der Kosten für Datenarchivierung angestrebt.

⁹² Abkürzung für Federal Aviation Administration.

- Zukünftig ist auch geplant, RFID-Transponder mit Mikroprozessoren auszustatten, um sie damit in die Lage zu versetzen, eine Benachrichtigung zu generieren, sobald das korrespondierende Flugzeugteil gewartet bzw. ersetzt werden soll.

4.2.2.2.8 Automobilbranche: Volkswagen

Als einer der weltweit führenden Automobilhersteller setzt Volkswagen RFID im Behältermanagement ein, um den Materialfluss von Spezialbehältern für empfindliche Press- und Montageteile (Kosten: 500 - 1.500 Euro pro Stück) zwischen den Fertigungsstätten zu überwachen (vgl. Strassner 2005, S. 157). Das Projekt wurde während der Serienfertigung des Golf IV eingeführt und anschließend bei der Fertigung des Nachfolgermodells Golf V in die Prozessabläufe integriert (vgl. Cocca/Schoch 2005, S. 202). Volkswagen nennt die folgenden Beweggründe für den RFID-Einsatz:

- Das bisherige Behältermanagement war von aufwändigen Such- und Erfassungsprozessen geprägt, die mittels RFID beschleunigt werden sollten.
- Die mangelnde Transparenz über Anzahl und Verbleib von Spezialbehältern führte zu kostspieligen Spezialtransporten oder Umbaumaßnahmen von Spezialbehältern, die für ein anderes Montageteil bestimmt waren. Zudem konnte jährlich ein Schwund in Höhe von ca. fünf Prozent beobachtet werden.
- Es waren häufige manuelle Inventuren nötig.

Volkswagen verwendet aktive UHF-Transponder, da eine höhere Reichweite für Suchprozesse erforderlich und dieses Frequenzband zudem weniger empfindlich ggü. metallischen Werkstoffen ist. Auf den Transpondern ist lediglich eine 48 Bit lange ID gespeichert ist (vgl. RFID-Atlas 2006b, S. 5). Es werden keine weiteren Daten am Objekt hinterlegt, da für das Tracking & Tracing (T&T) der Spezialbehälter keine weiteren Informationen notwendig sind. Die Bestände werden mittels des Anwendungssystems „VisuM“⁹³ visualisiert. Dort werden neben den T&T-Informationen auch Stand-, Reparatur- und Ausfallzeiten der Behälter analysiert (vgl. Cocca/Schoch 2005, S. 200).

4.2.2.2.9 Lebensmittelhandel: Apo Conerpo / Nordiconad

Der italienische Produzent und Distributor von Früchten Apo Conerpo hat gemeinsam mit der Handelskette Nordiconad ein Projekt zur Überwachung der Kühlkette während der Lagerung und des Transports von Kirschen initiiert (vgl. Wessel 2007). Sowohl die Behälter mit Kirschen als auch Transportboxen werden mit RFID-Transpondern ausgestattet, die mittels integrierter Sensoren Temperaturverläufe während des Transports vom Hersteller über Distributionszentren zu den Handelsfilialen aufzeichnen. Die Transponder sind semiaktiv (besitzen eine eigene Batterie) und operieren auf der 13,56 MHz-Frequenz. Sie werden bei Ankunft des Transports in der Handelsfiliale vor der Ausstellung auf der Verkaufsfläche von den Behältern abgetrennt und die Daten zur zentralen Auswertung ausgelesen. Anschließend werden die Transponder an den Hersteller rückgeführt und können wiederverwendet werden. Die ersten Ergebnisse des Projekts haben gezeigt, dass zum einen entgegen der Vermutung-

⁹³ Abkürzung für *Visualisierung und Map-Matching* (von RFID-gestützten logistischen Objekten).

gen erhebliche Temperaturunterschiede in den Lager- und Transportprozessen in der Logistikkette herrschen, die einen Einfluss auf die Qualität der Ware haben. Zum anderen war sowohl die durchschnittliche Lager- als auch die Transportzeit der Kirschen in vielen Fällen länger als allgemein angenommen. Auf Basis der Auswertung der RFID-Daten konnten dabei die Ursachen für Verzögerungen in der Logistikkette identifiziert und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden (vgl. Guizzardi/Montanari 2007).

In dem dargestellten Fallbeispiel wird die objektbegleitende Datenspeicherung eingesetzt, um Sensordaten (Temperaturverläufe) temporär auf dem Transponder zu speichern. Insbesondere zwei Gründe sprechen für den Einsatz des Data-on-Tag-Konzepts:

- Eine ständige Übermittlung der Daten an zentrale Systeme ist aufgrund des kurzen Intervalls zwischen den Temperaturmessungen wirtschaftlich nicht sinnvoll. Die Frequenz der Datenerfassungen ist so hoch, dass die Kosten des Datenzugriffs und der Datenübertragung über Netzwerke die Kosten der Speicherung am Transponder übersteigen würden.
- Eine Netzwerkanbindung kann zwar in den Lagerhäusern des Produzenten und Distributoren gewährleistet werden, nicht jedoch auf dem Transportweg. Aus diesem Grund müssen die Daten auf dem Transponder zwischengespeichert werden.

4.2.2.2.10 Öl- und Gasindustrie: BP

BP setzt RFID-Tags in einem Pilotprojekt zu Sensor-Netzwerken ein, um den Transport sowie die Lagerung und Verwaltung von Fässern mit Chemikalien zu optimieren und Sicherheitsregeln automatisch durchzusetzen (vgl. Collins 2006; Beigl et al. 2008, S. 176 ff.). Für das Projekt wurden die Fässer mit Transpondern versehen, die mittels Sensoren die Umgebung überwachen. Die Transponder besitzen eine Speichergröße von 10 kB und senden neben einer eindeutigen Identifikationsnummer Informationen über Typ und Menge ihres Inhaltes in einem drei Meter Radius aus. Auf dem Transponder sind zusätzlich diverse Regeln hinterlegt, etwa zur Überwachung, ob potentiell aufeinander reagierende Chemikalien zu nahe beieinander gelagert wurden, oder ob das Haltbarkeitsdatum abgelaufen ist (vgl. Knott 2004, S. 7). Bei Verletzung einer der Regeln wird ein Alarm ausgelöst.

Wie in dem Fallbeispiel zuvor ist auch bei BP die objektbegleitende Datenspeicherung auf die Aufzeichnung von Sensordaten zurückzuführen. Darüber hinaus werden in dieser Fallstudie die Daten nicht nur zwischengespeichert, sondern die Transponder führen auf Basis der Lesungen eigene Berechnungen durch. Dadurch entlasten sie zentrale Systeme durch die Vorverarbeitung und Auswertung einfacher Ereignisse.

4.2.2.2.11 Interpretation der Ergebnisse

Entsprechend der Klassifizierung von RFID-Daten in Objekt- und Ereignisdaten (vgl. Kapitel 4.1.1) können die untersuchten Fallstudien anhand der Speicherung von Objektdaten (Data-on-Tag, dezentrales oder zentrales Data-on-Network) und Auswertung RFID-basierter Ereignisse (durch dominantes Unternehmen bzw. einen Service Provider) differenziert werden (siehe Tabelle 4-5).

Fallstudie	Speicherung von Objektdaten			Auswertung RFID-basierter Ereignisse	
	Data-on-Tag	Data-on-Network		dominantes Unternehmen	Service Provider
		Dezentrale DB	Zentrale DB		
Hewlett-Packard	✓				✓
Lemmi Fashion	✓			✓	
REWE Group		✓		✓	
Cambium Forstbetriebe			✓		✓
Airbus	✓			✓	
Airbus/Boeing	✓			✓	
Volkswagen			✓	✓	
Apo Conerpo/Nordiconad	✓				✓
BP	✓			✓	

Tabelle 4-5: Datenorganisation in den Fallstudien

Nachfolgend werden sowohl Einflussfaktoren als auch wesentliche Aspekte der Ausgestaltung des Data-on-Tag-Konzepts, die in den Fallbeispielen identifiziert wurden, besprochen. Anschließend werden die beobachteten Nutzenpotenziale mit den aus der Theorie hergeleiteten Potenzialen verglichen.

Einflussfaktoren

Neben den bereits in Kapitel 4.2.2.1.1 genannten Faktoren können aus den Fallstudien die folgenden Einflussfaktoren hergeleitet werden:

Produktart: Wie das Airbus/Boeing-Beispiel aus der Luftfahrtindustrie zeigt, ist eine objektbegleitende Datenspeicherung dann vorteilhaft, wenn die Objektdaten über eine lange Zeit zugreifbar sein müssen. Bei Flugzeugteilen kann es sich dabei um mehrere Dekaden handeln. Zukünftige Informationskonsumenten können bei solch einem langen Zeitraum im Vorhinein in der Regel nicht benannt und folglich eine Anbindung an eine zentrale Datenbank nicht gewährleistet werden. Der Produktlebenszyklus hat demnach – als ein Merkmal der Produktart (vgl. Kapitel 2.2.1) – einen Einfluss auf die Entscheidung, das Data-on-Tag-Konzept anzuwenden. Bei den Druckern von HP und den Spezialwerkzeugen von Boeing handelt es sich ebenfalls um innovative Produkte und auch hier wird das Data-on-Tag-Konzept angewendet. Bei den funktionalen Produkten (z. B. Lebensmittel im REWE Group-Beispiel) werden dagegen Objektdaten in Netzwerken abgelegt.

Komplexität des Logistiknetzwerks: Mit steigender Komplexität des Logistiknetzwerks (eine Vielzahl von Akteuren, komplexe Beziehungsgeflechte) ist der Data-on-Network-Ansatz schwieriger umzusetzen. Zum einen kann eine Netzwerkanbindung nicht garantiert werden, zum anderen müssten alle Netzwerkakteure Zugang zu den verteilten Datenbanken bekommen, was angesichts der Anzahl der Akteure keine einfache Aufgabe darstellt. Wie die Fallbeispiele Lemmi Fashion und Airbus zeigen, wird in komplexen Logistiknetzwerken deshalb auf die objektbegleitende Datenspeicherung zurückgegriffen,

um eine effiziente Informationsversorgung zu gewährleisten. Bei weniger komplexen Logistiknetzwerken, wie sie etwa in den Fallstudien zu REWE Group, Cambium Forstbetriebe oder Volkswagen vorkommen, kann aufgrund der Überschaubarkeit der Informationsflüsse die Data-on-Network-Variante implementiert werden.

Dynamik des Logistiknetzwerks: Einen weiteren Einflussfaktor konstituiert die Dynamik des Logistiknetzwerks: Bei dynamischen Logistiknetzwerken wechseln die Netzwerkpartner ständig oder es kommen neue Akteure hinzu. Wie im Airbus/Boeing-Beispiel lässt sich dabei häufig nur schwer vorhersagen, wer auf die RFID-Daten zukünftig zugreifen wird. Folglich kann keine Anbindung dieser Informationskonsumenten an zentrale Datenbanken gewährleistet werden, weshalb der Data-on-Tag-Ansatz Anwendung findet.

Grad der IT-Integration im Logistiknetzwerk: Je höher der Grad der IT-Integration der Akteure im Logistiknetzwerk ist, desto eher können Data-on-Network-Konzepte realisiert werden. Da bereits Informationen im hohen Umfang zwischen den Unternehmen ausgetauscht werden, können zentrale bzw. dezentrale RFID-Datenbanken meistens problemlos in die Kommunikation eingebunden werden. Das ist zum Beispiel in der Fallstudie zu den Cambium Forstbetrieben der Fall, wo der RFID-Dienstleister mit der zentralen Datenplattform für eine hohe Integration der Akteure sorgt. Auf der anderen Seite ist davon auszugehen, dass bei einem geringen Grad der IT-Integration die objektbegleitende Datenspeicherung die effizientere Möglichkeit der Datenweitergabe darstellt. Dies ist bspw. in dem Fallbeispiel zu Lemmi Fashion zu sehen, wo – auch aufgrund der geografischen Entfernung zwischen den Produktionsstätten in Asien und Distributions- und Handelszentren in Europa – der Grad der IT-Integration gering ist.

Produktwert: Neben der Produktart ist davon auszugehen, dass auch der Produktwert einen Einfluss auf die objektbegleitende Datenspeicherung hat. Hochwertige Produkte, wie z. B. die Drucker in der HP-Fallstudie oder Flugzeugteile im Airbus/Boeing-Beispiel, werden eher mit leistungsstarken Transpondern ausgestattet, die objektbezogene Daten speichern. Bei preiswerten Produkten, wie etwa den Lebensmitteln in der REWE Group-Fallstudie, werden dagegen kostengünstige Transponder eingesetzt, die lediglich eine ID beinhalten.

Kennzeichnungsebene: Es können grundlegend drei Kennzeichnungsebenen für den RFID-Einsatz unterschieden werden: Palette, Box (Verpackung) und Produkt. Bei einem Einsatz auf Palettenebene wird, wie im Volkswagen-Fallbeispiel gezeigt, häufig der Data-on-Network-Ansatz verfolgt. Auf dieser Ebene spielen Objektdaten in der Regel keine große Rolle, da lediglich T&T-Informationen zu den Ladungsträgern benötigt werden. Auf Produktebene gibt es dagegen viele Anwendungsszenarien, bei denen neben der reinen Identifikation Objektdaten benötigt werden (z. B. bei der Abwicklung der Retouren in der HP-Fallstudie). Deshalb bringt auf dieser Kennzeichnungsebene das Data-on-Tag-Konzept mehr Vorteile.

Unterstützte Funktion im Logistiknetzwerk: Ob Daten am Objekt hinterlegt werden, ist auch von der durch den RFID-Einsatz unterstützten Funktion im Logistiknetzwerk abhängig. Soll lediglich die Rückverfolgbarkeit der Objekte gewährleistet werden, so reicht es im Regelfall aus, eine ID auf dem Transponder zu speichern (Fallbeispiele: REWE Group, Cambium Forstbetriebe und Volkswagen).

Werden dagegen Objektdaten benötigt, um die logistische Funktion zu erfüllen (bspw. Retourenabwicklung bei HP, Werkzeugwartung bei Airbus), wird häufig die objektbegleitende Datenspeicherung eingesetzt.

Leistungsfähigkeit des Transponders: Die Transponder-Merkmale Speicher- und Rechenkapazität, Zugriffsmechanismen, und Wiederbeschreibbarkeit konstituieren als weiteren Einflussfaktor die Leistungsfähigkeit des Transponders. Es ist davon auszugehen, dass je leistungsfähiger die neuen Generationen der Transponder werden, desto eher die objektbegleitende Datenspeicherung in Betracht gezogen wird. Wie im BP-Beispiel können die Transponder-Daten dann zur Entlastung zentraler Systeme am Objekt vorverarbeitet werden.

Ausgestaltung

Die am Objekt gespeicherten Daten können – neben der reinen Identifikationsfunktion bei Speicherung einer ID – grundlegend vier Funktionen erfüllen (Zuordnung zu den Fallstudien erfolgt in Tabelle 4-6):

Information: Daten werden auf dem Transponder abgelegt, um weitere Informationen zum Objekt bereitzustellen. Es werden Daten gespeichert, die in der Regel Eigenschaften des Objektes beschreiben und statisch, also nicht veränderbar und ergänzbar sind. Dies können z. B. Produktmerkmale sein.

Dokumentation: Bei der Dokumentationsfunktion werden am Objekt Daten gespeichert, welche Informationen über die Historie des Objektes zwecks Dokumentation dauerhaft speichern und dynamisch, also jederzeit im Rahmen der vorgegebenen Speicherkapazität ergänzbar sind.

Temporäre Speicherung: Hierbei werden Daten am Objekt gespeichert, die am Ort des Geschehens erfasst und aufgrund der fehlenden Anbindung an das Netzwerk temporär zwischengespeichert werden. Am Ort der Verwendung werden diese Daten in der Regel in zentrale Datenbanken verschoben.

Steuerung: Neben der reinen Datenspeicherung können mit Mikroprozessoren ausgestattete Transponder eigene Berechnungen durchführen. In einigen Fällen kann auch die Entscheidungsbefugnis an die Objekte übergeben werden. Diese können abhängig von dem Kontext und den ermittelten Ergebnissen eigene Entscheidungen, bspw. über die weitere Transportroute des logistischen Objekts oder über die Aktivierung eines Alarms, fällen.

Anhand der Fallstudien können allgemein fünf Arten von Daten identifiziert werden, die am Objekt abgelegt werden können: **Produktattribute** (bspw. Farbe und Größe der Kleidung im Lemmi Fashion-Beispiel), **Produktgeschichte** (z. B. Wartungs- und Inspektionsdaten im Airbus/Boeing-Fall), **Zustandsdaten** (bspw. Temperaturverläufe in der Apo Conerpo/Nordiconad-Fallstudie), **Anweisungen** (z. B. Bestimmungsort im HP-Fall) und **Steuerungsdaten** (Hinterlegung von Steuerungsregeln im BP-Fallbeispiel).

Fallstudie	Daten am Objekt	Funktion
Hewlett-Packard	Testergebnisse, Produktvarianten, Installationsdaten, Bestimmungsort, Informationen zu Komponenten	Information, Dokumentation
Lemmi Fashion	Farbe, Größe, weitere spezifische Produktinformationen	Information
Airbus	Produktinformationen, Wartungsdaten	Information, Dokumentation
Airbus/Boeing	Teilenr., Seriennr., Herstellercode, Flugzeit, Instandhaltungs- und Inspektionsdaten	Information, Dokumentation, (Steuerung)
Apo Conerpo/Nordiconad	Sensordaten	Temporäre Speicherung
BP	Sensordaten, Regeln	Temporäre Speicherung, Steuerung

Tabelle 4-6: Datenspeicherung am Objekt

Neben der Auswahl und Funktion der Daten müssen bei der objektbegleitenden Datenspeicherung Fragen der Datensicherheit verstärkt fokussiert werden. Da die Objektdaten nicht mehr in zentralen Datenbanken verbleiben, wo die Datensicherheit im Regelfall durch Firewalls und Autorisierungsmechanismen gewährleistet ist, müssen sie gegen unerlaubten Zugriff geschützt werden. Aufgrund der beschränkten Speicherkapazität der Transponder können dabei keine komplexen Datensicherheitsmechanismen implementiert werden. In der Praxis werden in der Regel Verschlüsselungsalgorithmen und Passwörter verwendet.

Konsequenzen

Die in den Fallstudien beobachteten Nutzenpotenziale stimmen mit den theoretisch hergeleiteten Potenzialen (vgl. Kapitel 4.2.2.1.2) überein. Am häufigsten wurde dabei das Nutzenpotenzial der Unabhängigkeit von der Netzwerkanbindung genannt, gefolgt von der effizienten Möglichkeit der Datenübermittlung an Netzwerkpartner sowie der Substitution papiergebundener Informationsflüsse (vgl. Tabelle 4-7). Insbesondere aufgrund der noch beschränkten Leistungsfähigkeit der Transponder ist die Entlastung zentraler Systeme durch Vorverarbeitung von Daten nur in einem Beispiel zu beobachten. Die Potenziale der objektbegleitenden Datenspeicherung, als Daten-Backup zu dienen bzw. die Authentizität der Daten auf dem Transponder zu gewährleisten, werden nur in dem Airbus/Boeing-Fallbeispiel angeführt.

Fallstudie	Nutzenpotenzial
Hewlett-Packard	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Netzwerkanbindung notwendig, um Objektdaten zu erfassen ▪ Substitution papiergebundener Informationsflüsse
Lemmi Fashion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Möglichkeit der Datenübermittlung an Netzwerkpartner ▪ Keine Netzwerkanbindung notwendig, um Objektdaten zu erfassen
Airbus	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Möglichkeit der Datenübermittlung an Netzwerkpartner ▪ Substitution papiergebundener Informationsflüsse
Airbus/Boeing	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Möglichkeit der Datenübermittlung an Netzwerkpartner ▪ Substitution papiergebundener Informationsflüsse ▪ Backup der zentral gespeicherten Daten ▪ Gewährleistung der Authentizität der Daten
Apo Conerpo/Nordiconad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Netzwerkanbindung notwendig, um Objektdaten zu erfassen
BP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Netzwerkanbindung notwendig, um Objektdaten zu erfassen ▪ Entlastung zentraler Systeme

Tabelle 4-7: Nutzenpotenziale der Speicherung von Daten am Objekt

4.2.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Anpassung des Bezugsrahmens

Der in Kapitel 4.2.1 aufgestellte erste Bezugsrahmen lässt sich auf Basis der Ergebnisse der Literaturrecherche und Fallstudienuntersuchung anpassen (siehe Abbildung 4-9). Die Einflussfaktoren werden dabei zur besseren Übersicht in die vier Bereiche *Logistiknetzwerk* (Komplexität, Dynamik und Grad der IT-Integration), *Produkt* (Produktart und -wert), *Technologie* (Datensicherheitskonzepte, Netzwerkinfrastruktur, Leistungsfähigkeit des Transponders und Standardisierung) und *weitere Faktoren* (Transponderpreis, Kennzeichnungsebene, unterstützte Funktion im Logistiknetzwerk und Datenschutzbedenken) eingeteilt.

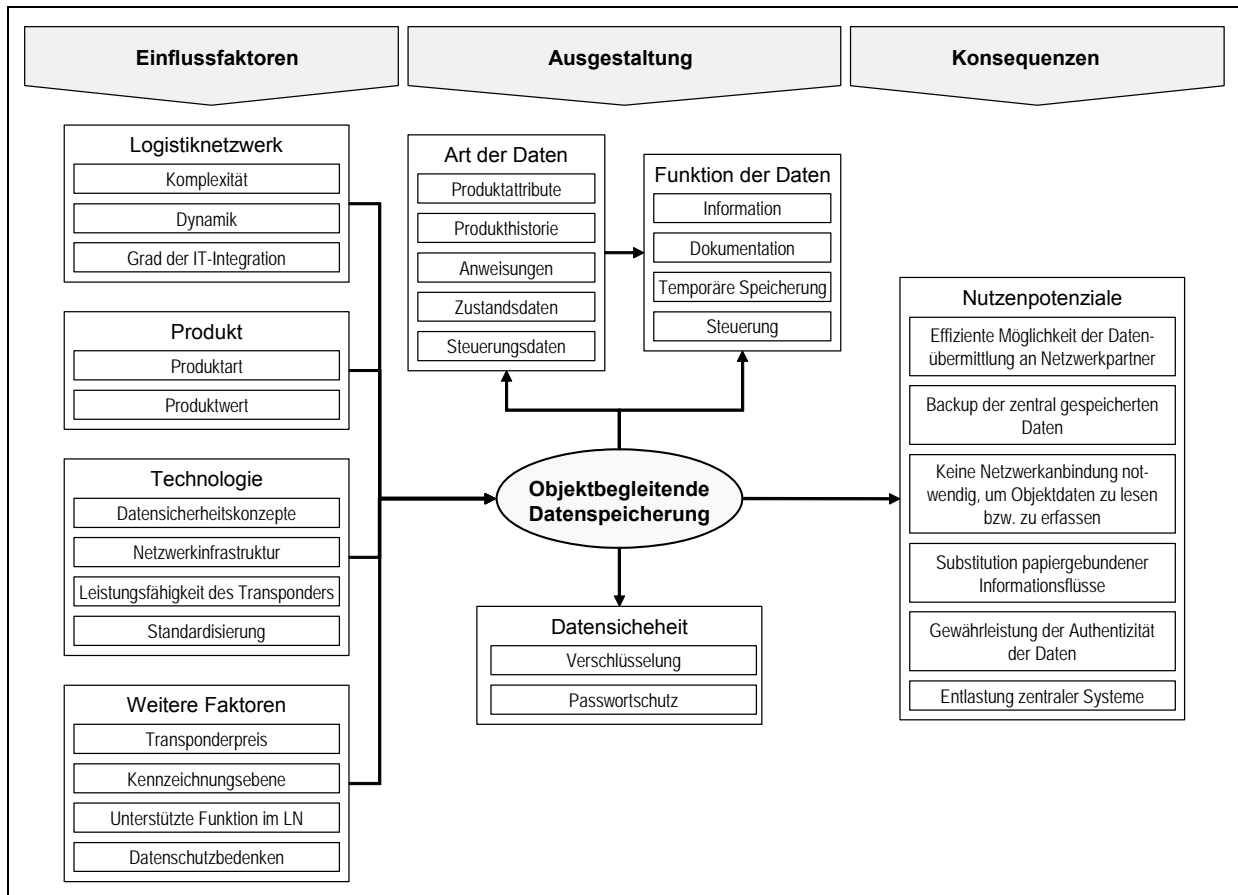


Abbildung 4-9: Finaler Bezugsrahmen zur objektbegleitenden Datenspeicherung

4.3 Empirische Befunde zur objektbegleitenden Datenspeicherung

Ausgehend von dem konzeptuellen Bezugsrahmen aus dem vorangegangenen Abschnitt wird eine empirische Untersuchung durchgeführt. Hierzu werden im Anschluss an die Charakterisierung der Untersuchung (Kapitel 4.3.1) Hypothesen abgeleitet (Kapitel 4.3.2). Danach erfolgt in Kapitel 4.3.3 die Darstellung der Methodik und Vorgehensweise. Das zentrale Kapitel 4.3.4 widmet sich der empirischen Analyse der gewonnenen Daten sowie der Interpretation der Ergebnisse.

4.3.1 Charakterisierung der Untersuchung

Nachfolgend werden die Zielsetzung (Kapitel 4.3.1.1) sowie der Ablauf und die verwendeten statistischen Methoden (Kapitel 4.3.1.2) dargestellt.

4.3.1.1 Zielsetzung

Ziel der empirischen Studie ist es, Erkenntnisse über den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung in der Praxis zu erlangen. Dabei sollen die folgenden zentralen Fragen adressiert werden:

- Inwieweit wird die objektbegleitende Datenspeicherung in der Praxis eingesetzt und wie ist die Datenorganisation gestaltet?
- Welche Faktoren beeinflussen die Wahl der objektbegleitenden Datenspeicherung und deren konkrete Gestaltung?
- Welche Nutzenpotenziale sehen Unternehmen für den Einsatz des Data-on-Tag-Ansatzes?

Die Befragung richtet sich an Unternehmen, die RFID innerhalb ihrer Logistiknetzwerke einsetzen oder dies in naher Zukunft anstreben. Details zu der konkreten Vorgehensweise werden in Kapitel 4.3.3 ausführlich thematisiert.

4.3.1.2 Ablauf und Methoden

Forschungsablauf

Allgemein umfasst eine empirische Forschungsarbeit die in Abbildung 4-10 dargestellten Schritte (vgl. im Folgenden Berekoven et al. 2004; Böhler 2004; Diekmann 2006, S. 166 f.).

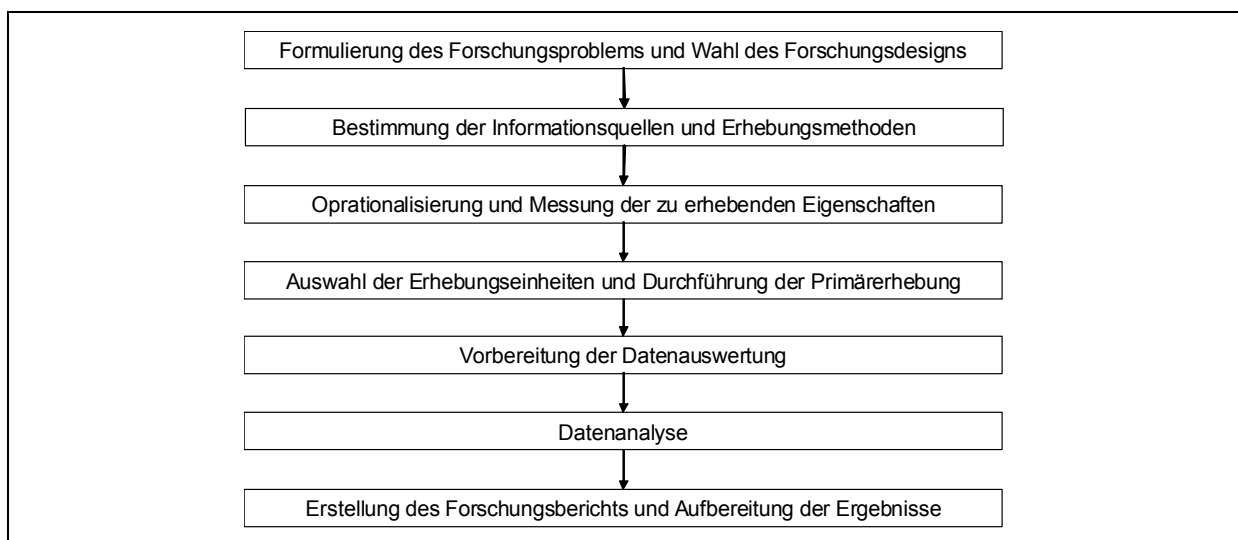


Abbildung 4-10: Idealtypischer Ablauf der empirischen Forschung

Nachdem das Forschungsproblem formuliert wurde, erfolgt die Entscheidung darüber, wie die Untersuchung gestaltet sein soll. Hierbei ist entscheidend, welches Ziel mit der Arbeit verfolgt wird und ob es sich demnach um eine explorative Untersuchung, eine deskriptive Untersuchung oder eine Untersuchung zur Prüfung von Hypothesen handelt. Anschließend ist zu bestimmen, ob Sekundär- oder Primärforschung betrieben werden soll und welche Erhebungsmethoden für das Forschungsanliegen in Betracht kommen. Im Rahmen der Primärforschung kommen dabei insbesondere die Methoden der Befragung oder der Beobachtung zum Einsatz. Es folgt die operationale Definition der zu untersuchenden Eigenschaften sowie die Bestimmung der Stichprobe, ehe schließlich die Daten erhoben und für die Auswertung vorbereitet werden. Im nächsten Schritt erfolgt die statistische Datenanalyse. Die dabei gewonnenen Ergebnisse werden abschließend aufbereitet und analysiert.

Statistische Methoden

Um die im Rahmen einer Befragung gewonnenen Daten zu analysieren und so Erkenntnisse für das Forschungsproblem zu erlangen, werden verschiedene statistische Methoden herangezogen. Die verwendeten Verfahren sind in der nachfolgenden Tabelle 4-8 dargestellt.

	Methoden	Beschreibung
Deskriptive Statistik	Häufigkeitsverteilungen (Lageparameter, Streuungsmaße)	Methoden der deskriptiven Statistik dienen dazu, die erhobenen Daten zu beschreiben. Hier sind insbesondere absolute oder relative Häufigkeitsverteilungen zu nennen, die Aufschluss über die Verteilung einer einzelnen untersuchten Variablen geben. Diese können durch Lageparameter wie das arithmetische Mittel, den Modus oder den Median sowie durch Streuungsmaße wie Varianz oder die Standardabweichung charakterisiert werden. Eine grafische Darstellung in Form von Balken- und Kreisdiagrammen sowie Histogrammen ist üblich (vgl. Böhler 2004, S. 167 ff.).
Multivariate Statistik	Kreuztabellierung	Die Kreuztabellierung wird genutzt, um Beziehungen zwischen nominal skalierten Variablen zu analysieren. Die in einer Erhebung gewonnenen Daten werden zu diesem Zweck tabellarisch dargestellt. Anhand der erstellten zweidimensionalen Kreuztabelle wird dann geprüft, ob sich ein Zusammenhang zwischen den Variablen erkennen lässt. Um sicherzustellen, dass ein aufgedeckter Zusammenhang nicht zufällig aufgetreten ist, sondern systematischer Natur ist, wird im Anschluss eine Kontingenzanalyse in Form des so genannten Chi-Quadrat-Tests durchgeführt (vgl. Backhaus et al. 2006, S. 230 ff.).
	Reliabilitätsprüfung	Der Reliabilitätskoeffizient misst die Genauigkeit, mit der ein Merkmal im Rahmen der Untersuchung erfasst wird (vgl. Bühn/Zöfel 2005, S. 457). Hierzu werden das Cronbachsche Alpha ⁹⁴ und die Item-to-Total-Korrelation ⁹⁵ als Gütekriterien herangezogen (vgl. Homburg/Fürst 2005, S. 571 f.).
	Faktorenanalyse	Die Faktorenanalyse zählt zu den Strukturen entdeckenden Verfahren der multivariaten Statistik (vgl. Backhaus et al., S. 12). Sie wird dazu genutzt, Zusammenhänge zwischen Variablen aufzudecken. Ziel des Verfahrens ist es, bei einer Erhebung mit vielen Variablen zu einer bestimmten Fragestellung Variablen zu reduzieren bzw. zu bündeln. Um sicherzustellen, dass diese unabhängig voneinander auf den untersuchten Sachverhalt einwirken, führt man häufig vor weiteren Analysen zunächst eine Faktorenanalyse durch (vgl. Backhaus et al. 2006, S. 260).
	Regressionsanalyse	Die Regressionsanalyse ist ein Strukturen prüfendes Verfahren und wird für die Analyse von Kausalbeziehungen verwendet. Sie kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn untersucht werden soll, welche Zusammenhänge zwischen einer abhängigen und einer beziehungsweise mehreren unabhängigen Variablen bestehen. Um Aussagen über die Wirkung der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable zu treffen, wird der Regressionskoeffizient betrachtet. Dieser gibt die marginale Änderung der abhängigen Variablen bei Änderung der unabhängigen Variablen an. Als Maß für die Bedeutung der Variablen wird der standardisierte Regressionskoeffizient verwendet. Als Gütemaße für die Prüfung der Regressionsfunktion dienen das Bestimmtheitsmaß (R^2), die F-Statistik und der Standardfehler. Für die Prüfung der Regressionskoeffizienten werden der t-Wert und der Beta-Wert herangezogen (vgl. Backhaus et al. 2006, S. 8 ff.).

Tabelle 4-8: Überblick zu den verwendeten statistischen Analysemethoden

⁹⁴ Cronbachs Alpha als Maß zur Beurteilung der Reliabilität kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Dabei weisen hohe Werte auf eine hohe Reliabilität hin. Weist das Cronbachs Alpha einen Wert unter 0,7 auf, sollten Items eliminiert werden (vgl. Nunnally 1978, S. 245).

⁹⁵ Die Entscheidung darüber, welches Item entfernt wird, lässt sich anhand des Trennschärfekoeffizienten erkennen. Laut CHURCHILL (1979) soll dazu der Indikator, der die niedrigste Item-to-Total-Korrelation aufweist, aus der Betrachtung hinausgenommen werden, um den Reliabilitätskoeffizienten zu erhöhen.

Wünschenswert wäre in der vorliegenden Studie die Analyse der Kausalzusammenhänge mit Hilfe eines Strukturgleichungsmodells⁹⁶, da diese Methode die Untersuchung der Wirkungen einzelner Faktoren untereinander zulässt. Dies ist aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht möglich, da als Voraussetzung für das Berechnen von Strukturgleichungsmodellen und Gewinnen von aussagekräftigen Ergebnissen Stichproben von mindestens 100 Probanden erforderlich sind. Daher wird in dieser Studie auf die Methode der Regressionsanalyse zur Prüfung des Einflusses einzelner Faktoren auf den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung zurückgegriffen. Um im Vorfeld der Kausalanalyse sicherzustellen, dass die gewählten Items den jeweiligen Untersuchungsgegenstand repräsentieren und zu Konstrukten zusammengefasst werden können, wird jeweils die Reliabilität anhand des Cronbachs Alpha getestet und eine Faktorenanalyse durchgeführt. Bei Hypothesen, die zwei (oder mehr) Gruppen auf signifikante Unterschiede prüfen, kommt die Kreuztabellierung zum Einsatz.

4.3.2 Ableitung der Hypothesen

Ausgehend von dem in Kapitel 4.2 beschriebenen konzeptuellen Modell werden nun Hypothesen abgeleitet, die auf Grundlage der gewonnenen Daten der Unternehmensbefragung empirisch ausgewertet und geprüft werden.

Einflüsse des Produkts (bzw. Ladungsträgers) auf die objektbegleitende Datenspeicherung

Wie im Rahmen der Herleitung des konzeptuellen Modells dargestellt, ist davon auszugehen, dass die Charakteristik des mit RFID-Transpondern auszustattenden Objekts (Produkts oder Ladungsträgers) Einfluss auf die Entscheidung hat, Daten am Objekt zu speichern (vgl. Kapitel 4.2.2.2.11). Für die Merkmale Produktlebenszyklus und Produktwert können die folgenden Hypothesen abgeleitet werden:

H1: Bei Produkten mit einem langen Produktlebenszyklus ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Produkten mit einem kurzen Produktlebenszyklus.

H2: Bei Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem hohen Wert ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem geringen Wert.

Einflüsse des Logistiknetzwerks auf die objektbegleitende Datenspeicherung

Neben dem Produkt hat auch die Ausgestaltung des Logistiknetzwerks Einfluss auf die Wahl der objektbegleitenden Datenspeicherung. Hierbei wurden die Komplexität und Dynamik des Logistiknetzwerks sowie der Grad der IT-Integration als die wesentlichen Einflussfaktoren identifiziert (vgl. Kapitel 4.2.2.2.11). Es können die folgenden Hypothesen zum Einfluss dieser Faktoren abgeleitet werden:

⁹⁶ Im Rahmen des Strukturgleichungsmodells wird mittels Hypothesen ein Pfaddiagramm erstellt, welches die Zusammenhänge zwischen den analysierten Variablen abbildet (vgl. Reinecke 2005, S. 13 ff.). Ausgehend von dem Pfaddiagramm werden verschiedene Parameter geschätzt und die Güte dieser Schätzungen berechnet.

H3: Je höher die Komplexität des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.

H4: Je höher die Dynamik des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.

H5: Je niedriger der Grad der IT-Integration, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.

Einflüsse der Technologie auf die objektbegleitende Datenspeicherung

Für den Einfluss der Technologie auf die objektbegleitende Datenspeicherung sind neben der Netzwerkstruktur die Faktoren Leistungsfähigkeit und Standardisierung relevant (vgl. die Abschnitte 4.2.2.1.1 und 4.2.2.2.11). Für diese Faktoren ergeben sich die folgenden Hypothesen:

H6: Je geringer die Abdeckung des RFID-Prozesses durch eine Netzwerkinfrastruktur ausgebildet ist, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.

H7: Beim Einsatz von leistungsfähigen Transpondern ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Transpondern mit einer geringen Leistungsfähigkeit.

H8: Je höher der Grad der Standardisierung für die Datenstrukturen auf dem Transponder, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.

Weitere Einflüsse auf die objektbegleitende Datenspeicherung

Zu den weiteren Einflussfaktoren zählen der Transponderpreis, die Kennzeichnungsebene sowie die durch den RFID-Einsatz unterstützte Funktion im Logistiknetzwerk (vgl. Kapitel 4.2.2.1.1 und 4.2.2.2.11). Dabei werden folgende Hypothesen aufgestellt:

H9: Je höher die Bedeutung des Transponderpreises für die Auswahl der eingesetzten Technologie bei einem Unternehmen ist, desto unwahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.

H10: Bei der RFID-Kennzeichnung auf Produktebene ist die Wahrscheinlichkeit für den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung höher als bei der Kennzeichnung der Ladungsträger.

H11: Die unterstützte Funktion wirkt sich darauf aus, ob die objektbegleitende Datenspeicherung eingesetzt wird.

Abschließend fasst Tabelle 4-9 die abgeleiteten Hypothesen zusammen. Bevor die Ergebnisse der Hypothesenprüfung im Rahmen der empirischen Analyse dargestellt werden, widmet sich der nachfolgende Abschnitt der eingesetzten Methodik sowie der gewählten Vorgehensweise im Rahmen der Untersuchung.

H1	Bei Produkten mit einem langen Produktlebenszyklus ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Produkten mit einem kurzen Produktlebenszyklus.
H2	Bei Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem hohen Wert ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem geringen Wert.
H3	Je höher die Komplexität des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.
H4	Je höher die Dynamik des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.
H5	Je niedriger der Grad der IT-Integration, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.
H6	Je geringer die Abdeckung des RFID-Prozesses durch eine Netzwerkinfrastruktur ausgebildet ist, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.
H7	Beim Einsatz von leistungsfähigen Transpondern ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Transpondern mit einer geringen Leistungsfähigkeit.
H8	Je höher der Grad der Standardisierung für die Datenstrukturen auf dem Transponder, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.
H9	Je höher die Bedeutung des Transponderpreises für die Auswahl der eingesetzten Technologie bei einem Unternehmen ist, desto unwahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.
H10	Bei der RFID-Kennzeichnung auf Produktebene ist die Wahrscheinlichkeit für den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung höher als bei der Kennzeichnung der Ladungsträger.
H11	Die unterstützte Funktion wirkt sich darauf aus, ob die objektbegleitende Datenspeicherung eingesetzt wird.

Tabelle 4-9: Zusammenfassung der Hypothesen

4.3.3 Methodik und Vorgehensweise

In diesem Abschnitt wird auf die Charakteristik der Stichprobe, die Erstellung des Fragebogens, die Durchführung der Befragung sowie abschließend kurz auf die Phase der Datenaufbereitung eingegangen.

Stichprobe

Für die Befragung wurden Unternehmen identifiziert, die innerhalb ihrer Logistiknetzwerke bereits RFID einsetzen oder einen RFID-Einsatz anstreben. Zu diesem Zweck wurde zunächst eine Auswertung von Fallstudien über RFID-Systeme in der Praxis durchgeführt und die dort genannten Unternehmen der Zielgruppe der Befragung zugeordnet. Zudem wurde das Internet genutzt, um Unternehmen zu ermitteln, die zur Zielgruppe der RFID-Anwender zählen. Im Rahmen dieser intensiven Internetrecherche waren neben Mitgliederlisten von relevanten Verbänden (GS1-Germany⁹⁷) insbesondere Referenzen der Hersteller von RFID-Komponenten von Interesse. Es erfolgte dabei keine Eingrenzung der Stichprobe auf bestimmte Branchen oder Regionen, um eine möglichst große Bandbreite verschiedener Unternehmen und damit auch unterschiedlicher RFID-Anwendungen in der Stichprobe zu vereinen.

Erstellung des Fragebogens

Ausgehend von dem in Abschnitt 4.2 vorgestellten konzeptuellen Modell der objektbegleitenden Datenspeicherung und den in Kapitel 4.3.2 abgeleiteten Hypothesen wurde für die Befragung ein Online-Fragebogen erstellt. Dieser umfasst Fragen zu verschiedenen Aspekten des RFID-Einsatzes und ist in acht Teilbereiche untergliedert (vgl. Abbildung 4-11).⁹⁸

Die Befragung beginnt mit einer einleitenden Filterfrage, ob in dem befragten Unternehmen RFID eingesetzt wird oder ob der Einsatz geplant ist. Damit soll sichergestellt werden, dass nur solche Unternehmen die folgenden Fragen beantworten, die zur zuvor definierten Zielgruppe gehören. Im ersten Fragenblock werden anschließend Informationen zur eingesetzten RFID-Technologie abgefragt. Hier sind insbesondere die Art der Energieversorgung der Transponder, ihre Schreib-Lesefähigkeit und die genutzte Frequenz von Interesse.

⁹⁷ GS1-Germany (www.gs1-germany.de) ist ein Zusammenschluss von Unternehmen und vertritt die Standardisierungsorganisation EPCglobal in Deutschland.

⁹⁸ Da die Befragung international durchgeführt wurde, ist der Fragebogen nicht nur in deutsch, sondern auch in einer englischen Version erstellt worden. Der finale Fragebogen ist im Anhang (vgl. Anhang A) abgebildet. Um sicherzustellen, dass der entwickelte Fragebogen nicht zu Verständnisproblemen bei den Probanden führt, wurde das Fragebogendesign in einem mehrstufigen Prozess überarbeitet und abschließend mit Hilfe eines Pretests überprüft.



Abbildung 4-11: Struktur des Fragebogens

Der erste Abschnitt des Fragebogens beinhaltet zudem Fragen zur Gestaltung des RFID-Einsatzes. So werden bspw. die Motive für die Verwendung eines RFID-Systems, das konkrete Einsatzgebiet, die unterstützten Funktionen, die Kennzeichnungsebene und die Häufigkeit der Datenerfassung erfragt. Des Weiteren werden die Probanden um eine Einschätzung der Netzwerkinfrastruktur gebeten, indem eine Einschätzung verschiedener Aussagen erbeten wird. Das Ausmaß der Übereinstimmung mit den einzelnen Items wird mit Hilfe einer 7er-Likert-Skala abgefragt (vgl. Kotler/Bliemel 2001, S. 211).⁹⁹ Die Probanden geben anhand dieser Skala ihre Zustimmung beziehungsweise Ablehnung zu den gemachten Aussagen wieder. Die Ausprägungen reichen von „trifft überhaupt nicht zu“ (1) bis „trifft vollkommen zu“ (7). Diese ermöglicht den Probanden aufgrund der ungeraden Anzahl an Skalenpunkten eine mittlere, neutrale Antwortkategorie zu wählen.

Der zweite Fragenblock thematisiert das gekennzeichnete Produkt bzw. den gekennzeichneten Ladungsträger. Sofern die Kennzeichnung mit RFID auf Produktebene erfolgt, werden hier der Produktwert, der Produktlebenszyklus, die Art des Produktes sowie die Fertigungart (bei einem Einsatz von RFID in der Produktion) ermittelt. Wird im befragten Unternehmen ein Ladungsträger gekennzeichnet, beschränkt sich dieser Abschnitt auf Fragen zum beinhalteten Produkt und zum Wert des Ladungsträgers.

Im dritten Abschnitt des Fragebogens schließt sich der Bereich der Datenspeicherung an. Zentral ist dabei die Information, ob auf dem Transponder weitere Daten gespeichert werden (Data-on-Tag). In diesem Fall folgen Fragen zu den auf dem Transponder gespeicherten Daten und deren Funktion(en). Außerdem werden die Probanden auch hier um eine Einschätzung von Aussagen mit Hilfe einer 7er-Likert-Skala gebeten. Die Aussagen betreffen die Datenschutzbedenken der Kooperationspartner beziehungsweise Kunden und die Datensicherungskonzepte. Weiterer wesentlicher Bestandteil dieses

⁹⁹ In Bezug auf die optimale Anzahl an Skalenpunkten herrscht keine Einigkeit. Empfohlen werden jedoch Skalen, die zwischen fünf und sieben Skalenpunkten aufweisen (vgl. Beutin 2006, S. 139).

Fragenblocks ist die Beurteilung der Nutzenpotentiale des Data-on-Tag-Ansatzes. Wird auf dem Transponder hingegen nur eine ID gespeichert und werden alle weiteren Daten zu diesem Objekt in Datenbanken innerhalb des Netzwerkes abgelegt (Data-on-Network), entfällt dieser Teil der Befragung.

Im vierten Fragenblock werden Angaben zum Logistiknetzwerk abgefragt, das mit RFID unterstützt wird. Im Fokus steht dabei, ob es sich bei dem logistischen System um einen offenen („open loop“) oder einen geschlossenen („closed loop“) Kreislauf handelt. Zudem werden Aussagen zur Komplexität und Dynamik des Netzwerkes sowie zur Standardisierung der Datenstrukturen und dem Grad der IT-Integration beurteilt. Dieser Abschnitt entfällt, wenn der jeweilige Proband angibt, dass der Einsatz von RFID auf das eigene Unternehmen beschränkt ist.

Der Fragebogen schließt mit der Abfrage von Angaben zum Unternehmen und zur Person, die stellvertretend für das Unternehmen an der Befragung teilnimmt. Hier sind neben Informationen zur Unternehmensgröße (Mitarbeiteranzahl, Umsatz), zur Branche und zum Firmensitz sowie zur Position und zum Aufgabengebiet des Probanden auch eine Einschätzung der eigenen Erfahrung und Kenntnisse hinsichtlich des RFID-Einsatzes von Interesse.

Durchführung der Befragung

Die Befragung der Unternehmen erfolgte in Form einer internetgestützten Befragung in einem Zeitraum von drei Monaten (Mitte Dezember 2008 bis Mitte März 2009). Der in dem vorangegangenen Abschnitt charakterisierte Fragebogen wurde im Internet bereitgestellt und konnte online von den jeweiligen Ansprechpartnern ausgefüllt werden. Um an der Onlinebefragung teilzunehmen, benötigten die Probanden einen individuellen Zugangscode. Damit konnte sichergestellt werden, dass nur ausgewählte Personen den Fragebogen ausfüllen und eine wiederholte Beantwortung ausgeschlossen wird. Der Zugangscode in Form einer vom System generierten Transaktionsnummer wurde zusammen mit Informationen zur Befragung und dem Link zum Web-Server, auf dem der Fragebogen abgelegt ist, per E-Mail an die Unternehmen verschickt.

Onlinebefragungen: Pro und Contra

Die Onlinebefragung bietet wesentliche Kostenvorteile, da neben Interviewer auch Kosten für die Vielfältigung des Fragebogens soweit dessen Versand entfallen. Außerdem sind die gewonnenen Daten nach Abschluss der Befragung bereits in digitaler Form vorhanden und müssen nicht händisch erfasst werden (vgl. Böhler 2004, S. 95). Dies reduziert zum einen den Arbeitsaufwand erheblich und zum anderen werden Fehler bei der Datenerfassung ausgeschlossen.

Kritisch bei Onlinebefragungen ist insbesondere die in der Regel sehr geringe Rücklaufquote (vgl. Böhler 2004, S. 94). Ein wesentlicher Grund dafür ist die fehlende persönliche Interaktion zwischen Interviewer und Probanden aufgrund des künstlichen Charakters der Kommunikation. Hinzu kommen die Nachteile, die für alle schriftlichen Befragungen gelten, wie die Unkontrollierbarkeit der Erhebungssituation, die mangelnde Kontrollierbarkeit des Antwortvorgangs sowie eine erschwerte Motivation der Befragten zur Antwortabgabe (vgl. Berekoven et al. 2004, S. 115 ff.).

Die Wahl der Onlinebefragung basiert auf den genannten Vorzügen dieser Befragungsmethode. Um den dargestellten Nachteilen entgegenzuwirken, wurde in einem ersten Schritt ein großer Teil der befragten Unternehmen zunächst telefonisch kontaktiert. Dieses Vorgehen ermöglichte die Identifikation derjenigen Unternehmen, die kein Interesse an einer Teilnahme an der Untersuchung hatten bzw. bei denen kein relevanter RFID-Einsatz erfolgt. Außerdem konnte durch die erste Kontaktaufnahme am Telefon ein konkreter Ansprechpartner im Unternehmen erfragt werden. Somit wurde nicht nur ein langwieriges Weiterleiten der Zugangsdaten zur Befragung innerhalb des Unternehmens vermieden, sondern durch die persönliche Ansprache des Probanden versucht, eine höhere Rücklaufquote zu erzielen. Zudem wurden die Ansprechpartner der ausgewählten Unternehmen in regelmäßigen Abständen an die Untersuchung erinnert, um zu vermeiden, dass die Beantwortung aufgrund des alltäglichen Arbeitsvolumens in Vergessenheit geriet.

Datenaufbereitung

Die Aufbereitung der Daten erfolgte zu einem großen Teil bereits automatisiert, da das genutzte Tool zur Onlinebefragung eine Ausgabe der erhobenen Daten in elektronischer Form (CSV- oder SPSS-Dateiformat¹⁰⁰) ermöglicht. Die so generierten Datensätze mussten jedoch noch auf Fehler und falsche Eingaben geprüft werden. Zudem wurden die Datensätze derjenigen Probanden entfernt, die bei der Filterfrage angegeben haben, dass kein RFID-Einsatz im Unternehmen geplant ist.

4.3.4 Empirische Analyse

Im Rahmen der Befragung wurden 510 Fragebögen an die als Zielgruppe definierten Unternehmen (vgl. Ausführungen zur Stichprobe im vorhergehenden Kapitel) versendet. Nach Ablauf des Befragungszeitraums sind 44 vollständig ausgefüllte Fragebogen erfasst worden. Dies entspricht einer Rücklaufquote von 8,6 Prozent. Da in sieben der antwortenden Unternehmen die Nutzung von RFID zum jetzigen Zeitpunkt nicht geplant ist, werden ihre Fragebögen von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Demnach ergibt sich eine finale Stichprobengröße von 37. Die auf Angaben dieser Unternehmen basierenden Daten sind Grundlage der folgenden empirischen Untersuchung.

4.3.4.1 Deskriptive Statistik

Die durch die Befragung erhobenen Daten werden im Folgenden mit den Methoden der deskriptiven Statistik untersucht, um Aussagen zum Einsatz von RFID-Systemen, zu technologischen Aspekten und zur konkreten Gestaltung der Datenspeicherung zu machen.

¹⁰⁰ Bei SPSS handelt es sich um eine Statistiksoftware der gleichnamigen Firma (www.spss.com/de).

RFID-Einsatz

81 Prozent der befragten Unternehmen setzt die RFID-Technologie bereits ein, bei 19 Prozent wird der RFID-Einsatz in naher Zukunft geplant. Abbildung 4-12 veranschaulicht die Angaben zu der konkreten Ausgestaltung der RFID-Lösung.

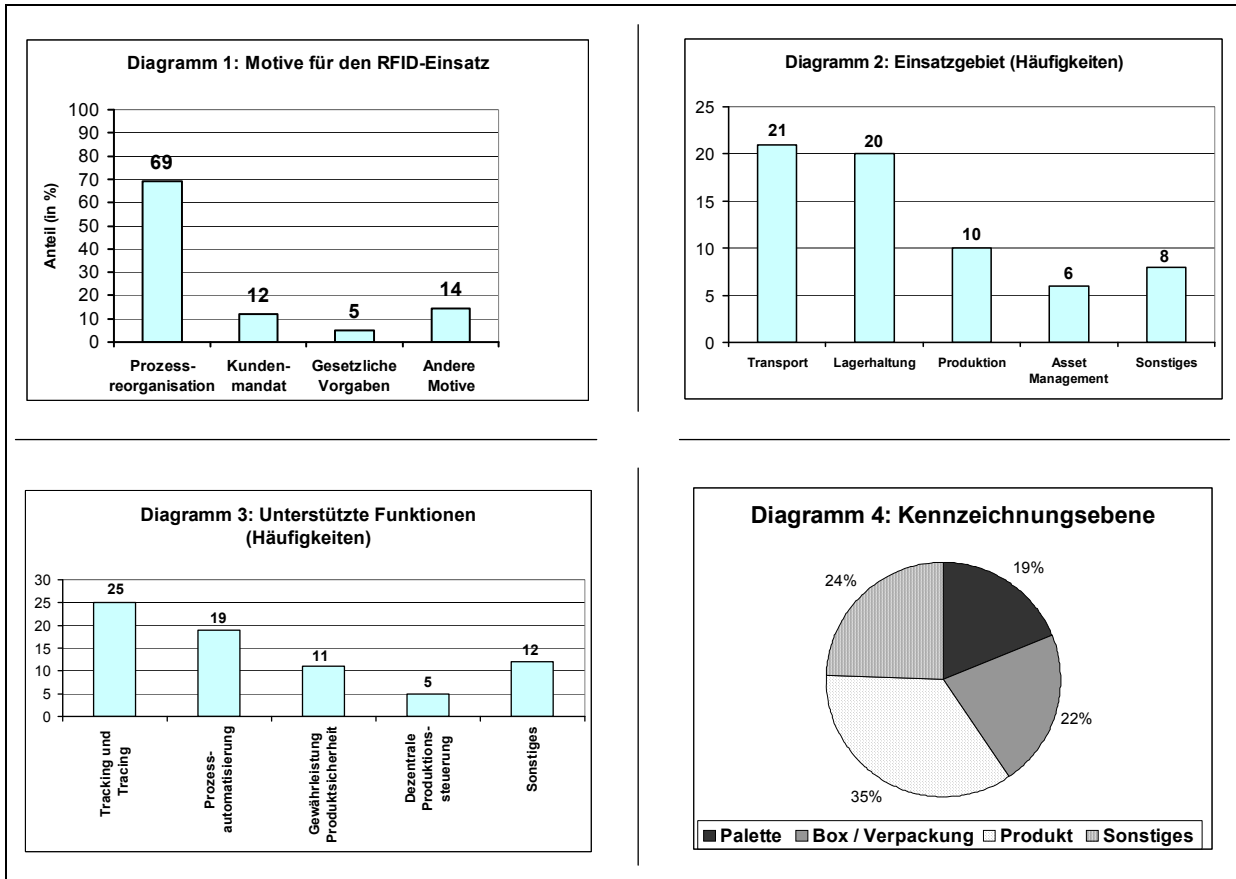


Abbildung 4-12: Statistik zur Ausgestaltung des RFID-Einsatzes

Den Ergebnissen der empirischen Befragung nach bildet die Prozessreorganisation mit 69% das **Hauptmotiv** für den RFID-Einsatz (siehe Diagramm 1). Weitere Motive, die mehrfach genannt wurden, sind Kundenmandate (12%) und gesetzliche Vorgaben (5%). Zu den sonstigen Motiven (14%) gehören unter anderem die Produktivitätssteigerung aufgrund von Automatisierungspotenzialen sowie die Einstufung von RFID als „Zukunftstechnologie“, deren Einsatz früher oder später erforderlich sein wird. Bezüglich des konkreten **Einsatzgebiets** wird RFID in den Bereichen Transport und Lagerhaltung mit 21 bzw. 20 Nennungen am häufigsten genutzt (siehe Diagramm 2). Danach folgen mit einigem Abstand die Einsatzgebiete Produktion (zehn Nennungen) und Asset Management (sechs Nennungen).¹⁰¹ In einem engen Zusammenhang mit dem Anwendungsbereich, in dem die RFID-Technologie zum Einsatz

¹⁰¹ Zusätzlich zu dieser Kategorisierung in die Bereiche Transport, Lagerhaltung, Produktion, Asset Management sowie Sonstiges wurden die Unternehmen aufgefordert, das exakte Einsatzgebiet anzugeben. Die Analyse der Antworten auf diese Frage macht deutlich, wie vielfältig die Einsatzmöglichkeiten für RFID-Systeme sind. Unter anderem wurden die folgenden Einsatzgebiete genannt: Kennzeichnung von Textilien (Wäscherei), Schlüsselmanagement (Autovermietung), Medienverwaltung (Mediensicherung und -transport), Lokalisierung von medizinischen Geräten.

kommt, stehen die **Funktionen**, die durch RFID unterstützt werden sollen. Auch in Bezug auf diesen Aspekt wurden die Probanden gebeten, die Situation in ihrem Unternehmen anhand von vorgegebenen Kategorien zu benennen. Die Ergebnisse sind hierbei konform zu den Aussagen bezüglich des Einsatzgebietes: Mit 25 Nennungen ist die Funktion des Tracking und Tracing (T&T) – wie bereits aufgrund des überwiegenden Einsatzes in den Bereichen Transport und Lagerhaltung vermutet – am häufigsten vertreten (siehe Diagramm 3). Es folgen die Funktionen Prozessautomatisierung (19 Nennungen) und Gewährleistung der Produktsicherheit (elf Nennungen). Der RFID-Einsatz zur dezentralen Produktionssteuerung (fünf Nennungen) erfolgt dagegen selten. Schließlich gehört die **Kennzeichnungsebene** zu einem wesentlichen Aspekt bei der Gestaltung des RFID-Einsatzes. Die Transponder können dabei direkt am Produkt angebracht werden. Alternativ dazu ist die Kennzeichnung der Ladungsträger, also der Produktverpackung oder der Paletten, möglich. Die Ergebnisse zeigen, dass 41 Prozent der Unternehmen RFID auf Ladungsträgerebene (22% auf der Verpackungs- und 19% auf der Palettenebene) einsetzt (siehe Diagramm 4).¹⁰² Ungefähr ein Drittel der Unternehmen (35%) stattet Produkte mit Transpondern aus.¹⁰³ Zudem gaben 24% der Unternehmen an, dass sie eine andere Kennzeichnungsebene wählen.

Eingesetzte Technologie

Im Rahmen der Analyse der eingesetzten Technologie werden die Merkmale Art der Energieversorgung, Speicherkapazität, Schreib-/Lesefähigkeit und Frequenz untersucht (vgl. Abbildung 4-13).

Die Ergebnisse zur **Art der Energieversorgung** zeigen, dass in der Praxis die passiven Transponder (89%) deutlich häufiger zum Einsatz kommen als ihre aktiven Pendants (11%) (siehe Diagramm 5). Dies ist ein erstes Indiz dafür, dass aktuell kostengünstigere Transponder von den Unternehmen bevorzugt werden. Die **Speicherkapazität** der eingesetzten Transponder bestimmt maßgeblich, welche Funktionen durch die RFID-Technologie unterstützt werden können. Etwa ein Drittel der Unternehmen (32%) verwendet Transponder mit einer Speicherkapazität von bis zu 64 Bit (siehe Diagramm 6). Knapp ein weiteres Drittel (30%) setzt Transponder mit einer Speicherkapazität von bis zu 256 Bit ein. Dem gegenüber stehen 13% der Unternehmen, die Transponder mit einem Speicher von über 1024 Bit wählen. Bezüglich der **Schreib-/Lesefähigkeit** ergibt sich das folgende Bild: nur 24 Prozent der Unternehmen begnügen sich mit einer reinen Lesefähigkeit der Transponder (siehe Diagramm 7). 30 Prozent verwenden Transponder, die einmal beschrieben werden können. Der größte Anteil der eingesetzten Transponder ist wiederbeschreibbar (46%). Schließlich ergibt sich im Bezug auf die eingesetzten **Frequenzen**, dass die am häufigsten genutzten Frequenzbänder für RFID-Systeme die Hochfrequenz (13,56 MHz) mit 44 Prozent und der UHF-Frequenzbereich (Ultra High Frequency, 915 MHz) mit 32 Prozent sind (siehe Diagramm 8). Die Langwellen-Frequenz (LF, 125-135 kHz) spielt mit einem Anteil von elf Prozent in der Praxis eine deutlich geringere Rolle.

¹⁰² Als Beispiele für gekennzeichnete Ladungsträger werden genannt: Versandkartons, Pakete, Euro- und Kunststoffpaletten, Packmittel, Container, Transportbehälter für Metallteile.

¹⁰³ Beispiele für gekennzeichnete Produkte sind unter anderem: Textile Einzelteile, Dusch- und Badewannen, Holzstämmen, Lebensmittel, Schokolade, Medien (Bücher, CDs, DVDs), Werkzeuge, pharmazeutische Produkte.

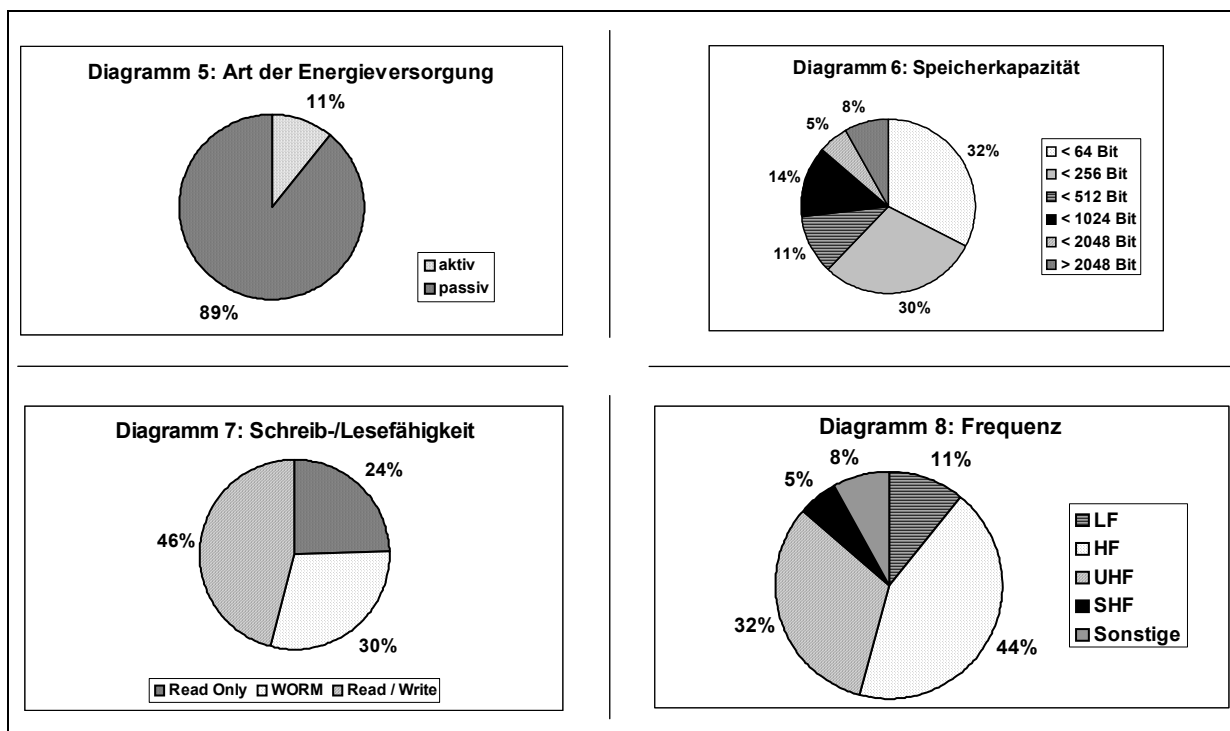


Abbildung 4-13: Statistik zur eingesetzten Technologie

Datenorganisationsform

In diesem Bereich wird analysiert, welche Form der Datenorganisation in der Praxis vorwiegend genutzt wird, welche Funktion die Daten bei einer objektbegleitenden Datenspeicherung erfüllen und wie sie auf dem Transponder geschützt werden (vgl. Abbildung 4-14).

Die Datenanalyse im Hinblick auf die **Form der Datenorganisation** zeigt, dass mehr als Dreiviertel der Unternehmen ausschließlich eine eindeutige ID auf dem Transponder speichern und alle weiteren Objektdaten in zentralen oder dezentralen Datenbanken vorhalten (siehe Diagramm 9). 24 Prozent der Unternehmen setzen hingegen die objektbegleitende Datenspeicherung ein. Zu den weiteren Daten, die von den Unternehmen zusätzlich zu der ID auf dem Transponder gespeichert werden, gehören u. a. Teilenummern, Mindesthaltbarkeitsdaten, Produktionsmaschinen, Fertigungsdaten, Ergebnisse von Qualitätskontrollen und kundenspezifische Anpassungen. In Bezug auf die **Funktion der am Objekt gespeicherten Daten** ergeben sich die folgenden Ergebnisse: Vier Unternehmen geben an, dass sie durch die objektbegleitende Datenspeicherung die temporäre Zwischenspeicherung von Daten und ihre spätere Übertragung in zentrale Datenbanken realisieren (siehe Diagramm 10). Drei Unternehmen nutzen Data-on-Tag, um weitere Informationen zum Objekt bereitzustellen. Nur ein Unternehmen dokumentiert die Historie des Objekts mittels Data-on-Tag. Eine mögliche Steuerungsfunktion ist für keines der Unternehmen relevant. Bei der Speicherung von Daten am Objekt ist der Aspekt der **Datensicherheit** von großer Bedeutung. Von den neun Unternehmen, die Data-on-Tag in der Praxis umsetzen, gaben immerhin drei an, vertrauliche Daten auf dem Transponder zu speichern (siehe Diagramm 11). 56 Prozent nutzt auch Datenschutzmechanismen, um die gespeicherten Daten zu sichern, wäh-

rend die restlichen 44 Prozent der Unternehmen der Meinung sind, dass Schutzmechanismen nicht notwendig sind (siehe Diagramm 12).

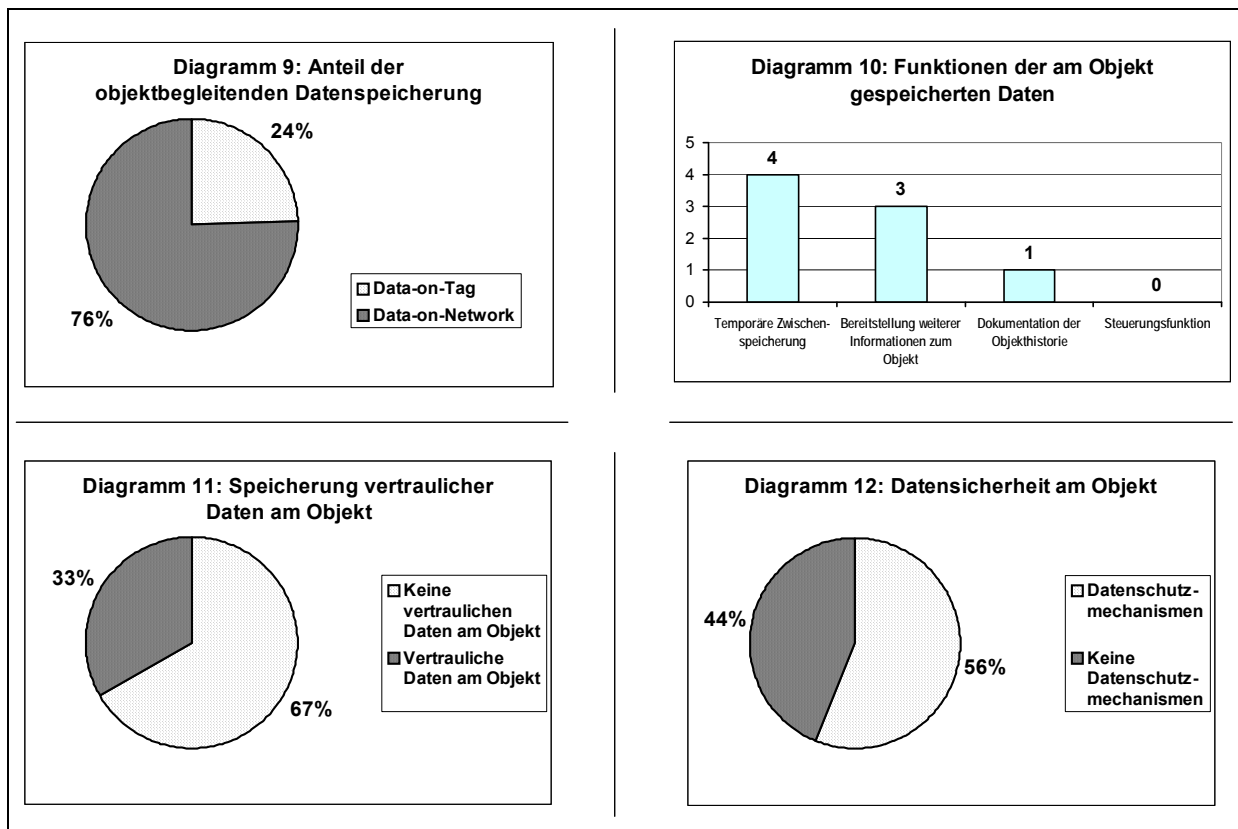


Abbildung 4-14: Statistik zur Datenorganisationsform

4.3.4.2 Prüfung der Hypothesen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Hypothesenprüfung vorgestellt. Bei den Hypothesen H1, H10 und H11 wird die Methode der Kreuztabellierung angewendet, da dort jeweils zwei Gruppen auf signifikante Unterschiede überprüft werden. Bei den restlichen Hypothesen kommt die Regressionsanalyse zur Anwendung. Bevor die Diskussion der Ergebnisse erfolgt, werden diese tabellarisch dargestellt. Zunächst zeigt Tabelle 4-10 die Ergebnisse der Prüfung von Hypothesen mittels Kreuztabellierung.

Hypothese 1 unterstellt einen Einfluss der Länge des Produktlebenszyklus auf die Art der Datenorganisationsform. Dieser Zusammenhang wird mit Hilfe einer Kreuztabelle überprüft. Diese zeigt, dass bei Produkten mit einem Produktlebenszyklus von mehr als zwei Jahren eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit für den Data-on-Tag-Ansatz besteht. Um sicherzustellen, dass es sich bei dieser Beobachtung um einen signifikanten Zusammenhang handelt, werden die Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests (Kontingenzanalyse) herangezogen. Dieser Test ergibt eine Signifikanz von 0,278, die über der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit α gleich 0,05 liegt.¹⁰⁴ Folglich kann die Nullhypothese des Tests, die besagt, dass beide Merkmale voneinander unabhängig sind, nicht verworfen werden.

¹⁰⁴ Es wird eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95 Prozent angenommen.

Hypothese	Beschreibung	Merkmal	Data-on-Network	Data-on-Tag	Σ
H1	Bei Produkten mit einem langen Produktlebenszyklus (PLZ) ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Produkten mit einem kurzen Produktlebenszyklus.	PLZ \leq 2 Jahre	6 (75%)	2 (25%)	8
		PLZ \geq 2 Jahre	5 (50%)	5 (50%)	10
		Σ	11	7	18
H10	Bei der RFID-Kennzeichnung auf Produktebene ist die Wahrscheinlichkeit für den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung höher als bei der Kennzeichnung der Ladungsträger.	Ladungsträger	13 (87%)	2 (13%)	15
		Produkt	7 (54%)	6 (46%)	13
		Σ	20	8	28
H11	Die unterstützte Funktion wirkt sich darauf aus, ob die objektbegleitende Datenspeicherung eingesetzt wird.	Tracking & Tracing	19 (76%)	6 (24%)	25
		Andere Funktion	3 (25%)	9 (75%)	12
		Σ	22	15	37

Tabelle 4-10: Ergebnisse der Kreuztabellierung

Im Rahmen der Hypothese 10 wurde der Einfluss der Kennzeichnungsebene auf die Gestaltung der Datenorganisation geprüft. Während bei der Kennzeichnung des Ladungsträgers ein sehr hoher Anteil des Data-on-Network-Ansatzes verzeichnet wurde (87 Prozent), waren beide Datenspeicherungsformen bei der Kennzeichnung des Produkts nahezu ausgeglichen. Diese Verteilung lässt die Interpretation zu, dass ein Einfluss der Kennzeichnungsebene auf die objektbegleitende Datenspeicherung empirisch nachgewiesen werden kann. Die Signifikanz für den Chi-Quadrat-Test beträgt dabei 0,067. Dieser Wert liegt knapp über der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05. Akzeptiert man jedoch eine etwas höhere Irrtumswahrscheinlichkeit (α gleich 0,10), liegt der Wert für die Signifikanz unter der Irrtumswahrscheinlichkeit und ein signifikanter Zusammenhang kann empirisch nachgewiesen werden.

Anhand der Kreuztabelle für Hypothese 11 wird deutlich, dass sich die Anteile der gewählten Datenorganisation für das Merkmal Funktionsbereich deutlich unterscheiden. Wird RFID für das Tracking und Tracing verwendet, liegt der Anteil von Data-on-Network bei 76 Prozent und der von Data-on-Tag entsprechend nur bei 24 Prozent. Werden durch den RFID-Einsatz andere Funktionen unterstützt, sinkt der Anteil von Data-on-Network auf 25 Prozent während der Anteil von Data-on-Tag mit 75 Prozent höher ist. Ausgehend von diesen Erkenntnissen scheint ein Einfluss der unterstützten Funktion auf den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung nicht nur theoretisch erklärbar, sondern auch empirisch nachweisbar zu sein. Der Chi-Quadrat-Test ergibt eine Signifikanz von 0,005. Da dieser Wert die geforderte Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 deutlich unterschreitet, wird auch hier ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen. Hypothese 11 kann also empirisch bestätigt werden.

In Tabelle 4-11 sind nachfolgend die Ergebnisse der Regressionsanalyse zusammenfassend dargestellt. Lediglich für die Hypothese H9 liegt das Signifikanzniveau mit 0,026 unter der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit α gleich 0,05. Nimmt man eine etwas höhere Irrtumswahrscheinlichkeit in Kauf (α gleich 0,10), ist auch für die Hypothese H7 ein signifikanter Zusammenhang (Signifikanzniveau 0,086) festzustellen. Für alle anderen Hypothesen kann auf Basis der erhobenen Daten kein Kausalzusammenhang nachgewiesen werden.

Hypothese	Beschreibung	R ²	Signifikanz	Konstante	Regr. Koeffizient	Beta
H2	Bei Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem hohen Wert ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem geringen Wert.	0,032	0,292	1,595	0,041	0,178
H3	Je höher die Komplexität des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	0,040	0,237	2,111	-0,084	-0,199
H4	Je höher die Dynamik des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	0,003	0,768	1,708	0,067	0,050
H5	Je niedriger der Grad der IT-Integration, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	0,020	0,406	1,927	-0,042	-0,141
H6	Je geringer die Abdeckung des RFID-Prozesses durch eine Netzwerkinfrastruktur ausgebildet ist, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	0,009	0,568	1,631	0,026	0,097
H7	Beim Einsatz von leistungsfähigen Transpondern ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Transpondern mit einer geringen Leistungsfähigkeit.	0,082	0,086	1,956	-0,078	-0,286
H8	Je höher der Grad der Standardisierung für die Datenstrukturen auf dem Transponder, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	0,028	0,322	2,062	-0,074	-0,168
H9	Je höher die Bedeutung des Transponderpreises für die Auswahl der eingesetzten Technologie bei einem Unternehmen ist, desto unwahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	0,134	0,026	1,226	0,107	0,366

Tabelle 4-11: Ergebnisse der Regressionsanalyse

Für die Hypothesen H7 und H9 ist aufgrund der Signifikanz eine detaillierte Betrachtung des Regressionskoeffizienten sowie der Konstante von Interesse. Für H7 beträgt der Regressionskoeffizient -0,078 und die Konstante 1,956. Für H9 nimmt der Regressionskoeffizient den Wert 0,107 und die Konstante den Wert 1,226 an. Diese Ergebnisse lassen sich zu folgenden Regressionsgleichungen zusammenfassen:

$$H7: \text{Datenorganisationsform} = 1,956 - 0,078 * \text{Einfluss Leistungsfähigkeit des Transponders}$$

$$H9: \text{Datenorganisationsform} = 1,226 - 0,107 * \text{Einfluss Transponderpreis}$$

Ein höherer Wert bei der Variablen „Datenorganisationsform“ drückt eine Tendenz zur Datenspeicherung in zentralen Datenbanken (Data-on-Network) aus, während ein geringerer Wert bedeutet, dass tendenziell das Data-on-Tag-Konzept verfolgt wird. Wird also z. B. für die Hypothese H9 dem Transponderpreis bei der Entscheidung über die genaue Gestaltung eines RFID-Systems ein hoher Stellenwert beigemessen und werden preisgünstige Transponder den leistungsstarken vorgezogen, drückt sich dies in einem hohen Wert für die Variable „Einfluss Transponderpreis“ aus. Dies wiederum hat einen höheren Wert für die Variable „Datenorganisationsform“ und damit eine Bevorzugung des Data-on-Network-Konzepts zur Folge.

Abschließend fasst Tabelle 4-12 die Ergebnisse der Hypothesenprüfung zusammen.

Hypothese	Beschreibung	Ergebnis der Prüfung
H1	Bei Produkten mit einem langen Produktlebenszyklus ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Produkten mit einem kurzen Produktlebenszyklus.	verworfen
H2	Bei Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem hohen Wert ist die objektbegleitende Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Produkten bzw. Ladungsträgern mit einem geringen Wert.	verworfen
H3	Je höher die Komplexität des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	verworfen
H4	Je höher die Dynamik des Logistiknetzwerkes, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	verworfen
H5	Je niedriger der Grad der IT-Integration, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	verworfen
H6	Je geringer die Abdeckung des RFID-Prozesses durch eine Netzwerkinfrastruktur ausgebildet ist, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	verworfen
H7	Beim Einsatz von leistungsfähigen Transpondern ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung wahrscheinlicher als bei Transpondern mit einer geringen Leistungsfähigkeit.	bestätigt
H8	Je höher der Grad der Standardisierung für die Datenstrukturen auf dem Transponder, desto wahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	verworfen
H9	Je höher die Bedeutung des Transponderpreises für die Auswahl der eingesetzten Technologie bei einem Unternehmen ist, desto unwahrscheinlicher ist der Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung.	bestätigt
H10	Bei der RFID-Kennzeichnung auf Produktebene ist die Wahrscheinlichkeit für den Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung höher als bei der Kennzeichnung der Ladungsträger.	bestätigt
H11	Die unterstützte Funktion wirkt sich darauf aus, ob die objektbegleitende Datenspeicherung eingesetzt wird.	bestätigt

Tabelle 4-12: Ergebnisse der Hypothesenprüfung

4.3.4.3 Evaluation der Nutzenpotenziale

Während im vorangegangenen Abschnitt die Auswertung der Daten hinsichtlich der Einflussfaktoren erfolgte, schließt sich nun die Betrachtung der Konsequenzen an, die sich aus dem Data-on-Tag Konzept ergeben. In Tabelle 4-13 sind die Ergebnisse der Beurteilung der Nutzenpotenziale des Data-on-Tag-Ansatzes dargestellt.¹⁰⁵

Die Auswertung der Antworten ergibt, dass die Probanden insbesondere die Möglichkeiten positiv einschätzen, dass durch die objektbegleitende Datenspeicherung die benötigten Objektdaten auch dann ausgelesen werden können, wenn zentrale Systeme oder Netzwerke ausfallen, sowie dass papiergebundene Informationsflüsse durch den RFID-Einsatz ersetzt werden. Die mittlere Einschätzung des Nutzens dieser Funktionen beträgt 5,000 und ist damit positiv. Ein weiteres wichtiges Nutzenpotenzial stellt die Möglichkeit der Dokumentation von Produktions-, Wartungs- oder Inspektionsprozessen am Objekt dar (der Mittelwert beträgt hier 4,625). Die wenigste Bedeutung messen die Unternehmen dem Nutzenpotenzial der Entlastung zentraler Systeme durch die Berechnungen auf dem Transponder bei (mittlere Einschätzung liegt hier bei 1,625).

¹⁰⁵ Die Nutzenpotenziale wurden auf einer Skala von 1 (sehr geringer Nutzen) bis 7 (sehr hoher Nutzen) beurteilt. Zudem konnten die Probanden angeben, dass die jeweilige Funktion aus ihrer Sicht nicht relevant ist.

Beschreibung	Mittelwert	Standardabweichung ¹⁰⁶	Varianz
Die notwendigen Daten können auch im Falle eines Ausfalls der zentralen Systeme bzw. der Netzwerke ausgelesen werden.	5,000	2,345	5,500
Papiergebundene Informationsflüsse werden ersetzt.	5,000	2,915	8,500
Die Dokumentation der Produktions-, Wartungs- oder Inspektionsprozesse kann am Objekt gespeichert werden.	4,625	2,973	8,839
Es werden dem Objekt keine falschen Daten durch eventuelle Fehler bei der Referenzierung der zentralen Datenbank zugeordnet.	3,778	3,383	11,444
Der Ansatz stellt eine effiziente Möglichkeit der Datenübermittlung an Netzwerkpartner dar.	3,778	3,193	10,194
Die Datenerfassung kann auch ohne Netzwerkanbindung erfolgen.	3,222	2,949	8,694
Zentrale Systeme werden entlastet, weil die Transponder eigene Berechnungen durchführen können.	1,625	3,021	9,125

Tabelle 4-13: Einschätzung der Nutzenpotenziale des Data-on-Tag-Ansatzes

4.3.4.4 Interpretation der Ergebnisse

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse der empirischen Untersuchung im Hinblick auf das RFID-Datenmanagement zusammengefasst und interpretiert:

- Die Ergebnisse der Untersuchung haben gezeigt, dass in der Praxis derzeit die Data-on-Network-Variante viel häufiger als die objektbegleitende Datenspeicherung anzutreffen ist. Eine Erklärung hierfür liefert die deskriptive Statistik zum RFID-Einsatz: RFID wird derzeit überwiegend in den Bereichen Transport und Logistik eingesetzt, wo die RFID-Systeme insbesondere dem Tracking und Tracing von logistischen Objekten dienen. Für diese Funktion ist in der Regel ein Transponder ausreichend, der das Speichern einer eindeutigen ID ermöglicht. Eine weitere Erklärung für den geringen Anteil der objektbegleitenden Datenspeicherung bieten die Erkenntnisse zur verwendeten Kennzeichnungsebene: RFID-Transponder sind derzeit häufiger am Ladungsträger als an dem Produkt zu finden, weshalb z. B. keine Produktmerkmale auf dem Transponder gespeichert werden und mit der Dokumentation der Produktions-, Wartungs- oder Inspektionsprozesse am Produkt ein wichtiges Nutzenpotenzial des Data-on-Tag-Ansatzes (die Ergebnisse der Einschätzung der Nutzenpotenziale bestätigen dies) entfällt. Schließlich stellen auch die Transponderpreise einen gewichtigen Grund für die Bevorzugung des Data-on-Network-Ansatzes: Hinsichtlich der eingesetzten Technologie zeichnet sich ab, dass kostengünstigere Transponder gegenüber leistungsstarken Transpondern, die über genügend Speicherkapazität für objektbezogene Daten verfügen, bevorzugt werden.
- Mittels der Hypothesenprüfung konnten vier Wirkungszusammenhänge nachgewiesen werden. Demnach beeinflussen die Faktoren Transponderpreis (Hypothese H7), Leistungsfähigkeit der Transponder (H9), Kennzeichnungsebene (H10) und die unterstützte Funktion im Logistiknetzwerk

¹⁰⁶ Die hohen Werte für die Standardabweichung ergeben sich aus der geringen Stichprobe.

(H11) die Wahl der Datenorganisationsform. Damit konnten die ersten Eindrücke aus der deskriptiven Statistik, die in dem vorhergehenden Aufzählungspunkt thematisiert wurden, bestätigt werden. Die nachgewiesenen Zusammenhänge erscheinen daher besonders plausibel: Die Kosten – bei RFID-Systemen allen voran die Transponderkosten – bilden stets einen wesentlichen Aspekt bei betriebswirtschaftlichen Entscheidungen. Die Umsetzung des Data-on-Tag-Konzeptes ist ohne die entsprechenden technologischen Voraussetzungen (leistungsfähige Transponder) nicht möglich.

- Die Einschätzung der Nutzenpotenziale der objektbegleitenden Datenspeicherung durch die Unternehmen bestätigt die im Vorfeld aus den Fallstudien gewonnenen Erkenntnisse. Die Absicherung gegenüber Ausfällen von zentralen Systemen bzw. Netzwerken durch die dezentrale Datenspeicherung zählt gemeinsam mit der Vermeidung von papiergebundenen Informationsflüssen erwartungsgemäß zu den wichtigsten Nutzenpotenzialen. Die Ergebnisse spiegeln derzeitige Bemühungen der Unternehmen wider, mittels RFID ein „papierloses Unternehmen“ bzw. eine „papierlose Fabrik“, bei der komplette Fertigungslinien vom Auftragseingang bis hin zum Versand an den Kunden papierlos gestaltet werden (vgl. bspw. Djassemi/Sena 2006), zu realisieren.¹⁰⁷ Aufgrund der bereits diskutierten Fokussierung auf kostengünstige Transponder verwundert die geringe Bedeutung der dezentralen Verarbeitung der Daten am Objekt nicht. Die aktuell in der Literatur thematisierte dezentrale Steuerung in der Logistik und Produktion besitzt derzeit für die Unternehmen geringe Relevanz.
- Ein wichtiges Thema im Bezug auf die objektbegleitende Datenspeicherung bildet die Sicherheit der auf dem Transponder gespeicherten Daten. Die Ergebnisse der Befragung zeigen jedoch, dass die Unternehmen – ganz anders als Konsumenten¹⁰⁸ – eher keine negativen Auswirkungen des Data-on-Tag-Konzeptes auf die Datensicherheit sehen. Es werden keine Datenschutzbedenken seitens der Kunden bzw. Kooperationspartner erwartet, sollte die objektbegleitende Datenspeicherung in Zukunft die überwiegende Datenorganisationsform darstellen. Hinzu kommt, dass in der Mehrzahl der Fälle derzeit keine vertraulichen Daten am Objekt gespeichert werden.

Bezüglich der dargestellten Erkenntnisse sollen abschließend noch einige Limitationen und kritische Anmerkungen erwähnt werden:

- Für die Durchführung der Untersuchung wurde eine Onlinebefragung gewählt. Der größte Nachteil dieser Methode ist die häufig geringe Rücklaufquote. Dies hat sich auch in der vorliegenden Untersuchung bestätigt. Daraus resultiert, dass nur eine geringe Anzahl ausgefüllter Fragebogen und da-

¹⁰⁷ Papierlose Fertigung ist definiert als die zentrale, digitale Erfassung und Verteilung von Arbeitsanweisungen, Produkt-, Prozess und Verfahrensinformationen, die für eine Produktion und direkt angeschlossener Organisationseinheiten von Bedeutung sind (vgl. Ellerbrock 2007, S. 375). Diese Vision charakterisiert manuelle Tätigkeiten im Bereich der Informationserfassung sowie papiergesteuerte Prozesse als nicht wertschöpfende Abläufe. Sie binden Mitarbeiter, sind fehleranfällig und verursachen unnötige Kosten. Manuelles Aufschreiben und dezentrale Papieraufkommen sollen demzufolge in der papierlosen Fertigung ersetzt, dadurch Prozessketten verkürzt sowie Material- und Suchkosten verringert werden. Das Konzept der papierlosen Fertigung bedarf einer engen Kopplung von Materialflüssen und begleitenden elektronischen Informationsflüssen, die u. a. mit RFID-Systemen realisiert werden kann.

¹⁰⁸ Mehrere Boykotte (vgl. bspw. Kull/Kamieth 2004, S. 15) bestätigen, dass Konsumenten im RFID-Einsatz eine Bedrohung für die Privatsphäre sehen. ALLEN (2006, S. 361) stellt fest: „*Perhaps nothing raises more privacy red flags than people’s concern about third-party access to their purchase and buying history*“.

mit ein kleiner Datensatz für die empirische Analyse zur Verfügung steht. Dies hat eine beschränkte Aussagefähigkeit der Ergebnisse zur Folge. Dennoch lassen sich anhand der gewonnenen Ergebnisse der empirischen Analyse gewisse Tendenzen für den RFID-Einsatz im Allgemeinen sowie für die Nutzung der objektbegleitenden Datenspeicherung im Speziellen erkennen.

- Bei der Mehrzahl der untersuchten Einflussfaktoren auf die Entscheidung, Daten objektbegleitend zu speichern, konnten keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Entscheidung für die Art der Datenorganisation in RFID-Systemen sehr komplex ist. Eine Vielzahl von Faktoren wirkt sich darauf aus, ob sich Verantwortliche für die objektbegleitende Datenspeicherung entscheiden oder Data-on-Network bevorzugen. Folglich ist die isolierte Betrachtung der einzelnen Wirkungszusammenhänge nur eingeschränkt in der Lage, die Einflussfaktoren in diesem Modell abzubilden.

4.4 Analyse der Einflussfaktoren auf die Wahl der objektbegleitenden Datenspeicherung

Nachfolgend werden ergänzend zu der empirischen Studie die Beziehungen zwischen den Einflussfaktoren des in Kapitel 4.2 hergeleiteten Bezugsrahmens untersucht, um ihre Rolle bei der Entscheidung, Daten objektbegleitend in RFID-gestützten Logistiknetzwerken zu speichern, besser einschätzen zu können. Hierzu wird die Methode des Interpretative Structural Modeling (ISM) angewendet (Kapitel 4.4.2). Davor erfolgt zunächst eine kurze Darstellung der Methodik (Kapitel 4.4.1). Die Interpretation der Ergebnisse wird in Kapitel 4.4.3 vorgenommen.

4.4.1 Interpretative Structural Modeling

Ursprünge und Anwendungsbeispiele

Die ISM-Methode dient der Identifikation und systematischen Darstellung von Beziehungen zwischen Variablen, die zu einer spezifischen Problemstellung gehören. Sie geht auf den Systemforscher Warfield zurück (vgl. Warfield 1974). Die Vorteile dieser Methode werden insbesondere in der Komplexitätsreduzierung (komplexe Beziehungen zwischen Variablen werden in einem übersichtlichen Modell dargestellt), der Einbeziehung objektiver Expertenmeinungen in einer systematischen Art und Weise sowie der relativ einfachen Anwendung (für eine überschaubare Anzahl von Variablen kann das Modell mit wenigen Berechnungen erstellt werden) gesehen (vgl. Thakkar et al. 2008, S. 126). In der Literatur finden sich zahlreiche Anwendungsbeispiele des ISM (vgl. bspw. Jharkharia/Shankar 2005 oder Mandal/Deshmukh 1993).

Vorgehensweise

Die folgende Abbildung 4-15 fasst die Vorgehensweise des ISM zusammen. Die Klassifikation der Variablen in einem Diagramm (basierend auf ihrer Abhängigkeit und Einflussstärke, Schritt 6) ist optional, während alle anderen Schritte zur Erstellung des Modells zwingend erforderlich sind.

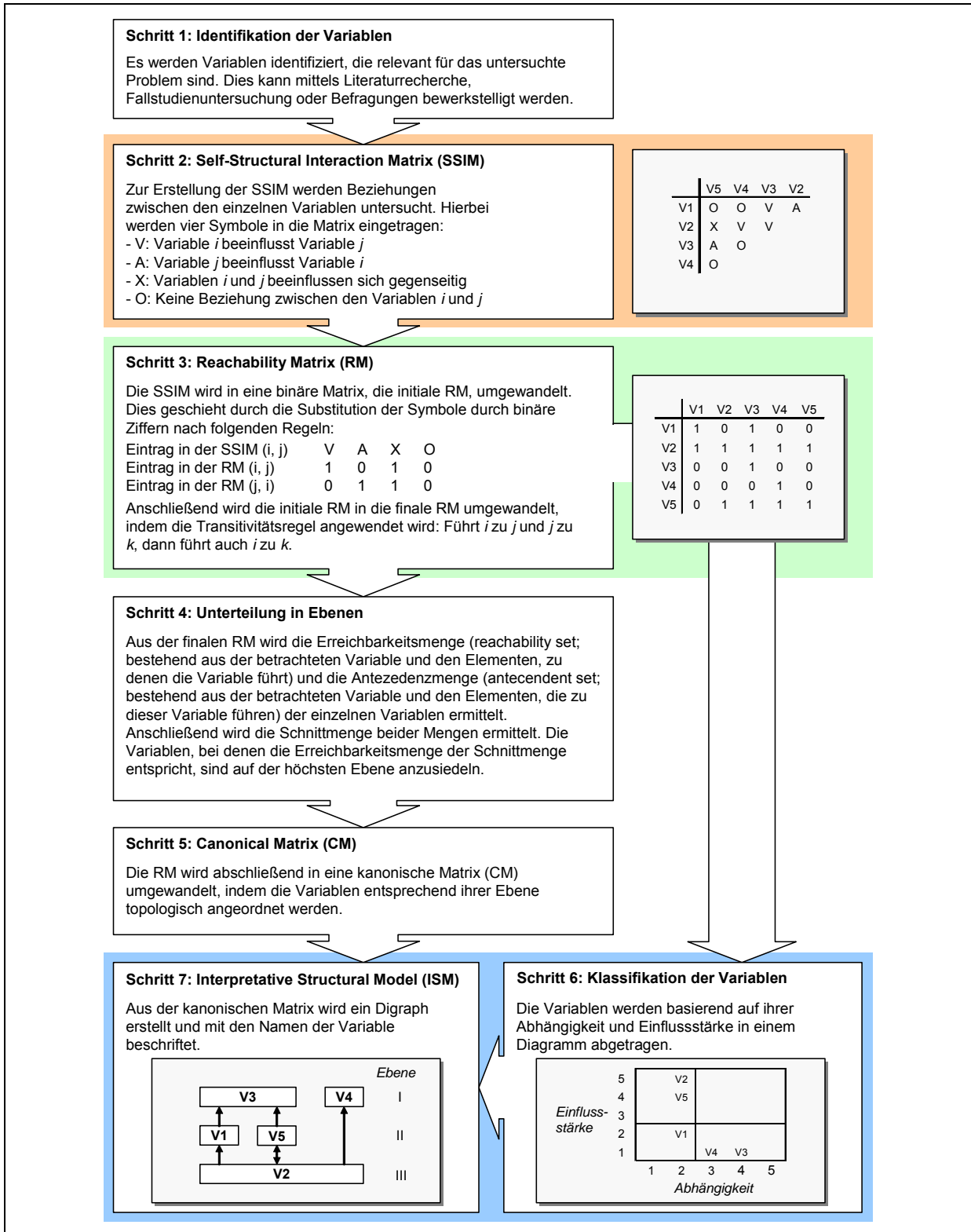


Abbildung 4-15: Interpretative Structural Modeling – Vorgehensweise

4.4.2 Formulierung des Modells

Im Folgenden wird analog zu der im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Vorgehensweise ein Modell zur Abbildung der Beziehungen zwischen den Faktoren, die Einfluss auf die Entscheidung nehmen, Daten objektbegleitend zu speichern, erstellt.

Identifikation der Variablen

Die aus der Literatur und aus den Praxisbeispielen hergeleiteten Einflussfaktoren bilden die Variablen des Modells. Diese werden in Tabelle 4-14 zusammengefasst und mit einer laufenden Nummer versehen.

Nr.	Variable
V1	Komplexität des Logistiknetzwerks (LN)
V2	Dynamik des LN
V3	Grad der IT-Integration im LN
V4	Produktart
V5	Produktwert
V6	Datensicherheitskonzepte
V7	Netzwerkinfrastruktur
V8	Leistungsfähigkeit des Transponders
V9	Standardisierung
V10	Transponderpreis
V11	Kennzeichnungsebene
V12	Unterstützte Funktion im LN
V13	Datenschutzbedenken

Tabelle 4-14: Variablen des Modells

Self-Structural Interaction Matrix

Die **Self-Structural Interaction Matrix (SSIM)** wird erstellt, indem für die Beziehungen zwischen den Variablen Symbole in die jeweilige Zelle eingetragen werden:

- V: Variable i beeinflusst Variable j
- A: Variable j beeinflusst Variable i
- X: Variablen i und j beeinflussen sich gegenseitig
- O: Keine Beziehung zwischen den Variablen i und j

Die Hinweise für die Art der Beziehung werden den Fallstudien, die in Kapitel 4.2.2.2 behandelt wurden, entnommen. Beispielsweise konnte ermittelt werden, dass die Komplexität des Logistiknetzwerks (V1) einen Einfluss auf die vorhandene Netzwerkinfrastruktur (V7) hat (je komplexer das Logistiknetzwerk, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass keine komplette Netzwerkinfrastruktur-Abdeckung gewährleis-

tet werden kann). Aus diesem Grund wird das Symbol „V“ in der ersten Zeile und siebten Spalte der Matrix eingetragen. Die finale SSIM ist in Tabelle 4-15 dargestellt.

Variablen	V13	V12	V11	V10	V9	V8	V7	V6	V5	V4	V3	V2
V1 Komplexität des LN	O	O	O	O	O	O	V	V	O	O	V	X
V2 Dynamik des LN	O	O	O	O	O	O	V	V	O	O	V	
V3 Grad der IT-Integration im LN	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O		
V4 Produktart	V	V	V	O	O	O	O	O	V			
V5 Produktwert	O	O	V	O	O	O	O	O				
V6 Datensicherheitskonzepte	X	A	A	V	O	A	O					
V7 Netzwerkinfrastruktur	O	O	O	O	O	O						
V8 Leistungsfähigkeit des Transponders	O	V	O	V	O							
V9 Standardisierung	A	O	O	V								
V10 Transponderpreis	O	O	A									
V11 Kennzeichnungsebene	X	X										
V12 Unterstützte Funktion im LN	V											
V13 Datenschutzbedenken												

Tabelle 4-15: Self-Structural Interaction Matrix

Reachability Matrix

Um die SSIM in die **Reachability Matrix (RM)** umzuwandeln, werden die Symbole durch binäre Ziffern ersetzt. Hierbei gelten die in Abbildung 4-15 vorgestellten Regeln. Die initiale RM ist in Tabelle 4-16 dargestellt.

Variablen	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13
V1 Komplexität des LN	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
V2 Dynamik des LN	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
V3 Grad der IT-Integration im LN	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
V4 Produktart	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
V5 Produktwert	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
V6 Datensicherheitskonzepte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
V7 Netzwerkinfrastruktur	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
V8 Leistungsfähigkeit des Transponders	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
V9 Standardisierung	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
V10 Transponderpreis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
V11 Kennzeichnungsebene	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
V12 Unterstützte Funktion im LN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
V13 Datenschutzbedenken	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1

Tabelle 4-16: Initiale Reachability Matrix

Nun wird die initiale RM in die finale RM umgewandelt, indem die Transitivitätsregel angewendet wird: Führt Variable i zu j und j zu k , dann führt auch i zu k . Tabelle 4-17 stellt die finale RM dar, die angepassten Zellen sind fett hervorgehoben. Zusätzlich sind für die spätere Klassifikation der Variablen die Einflussstärke (letzte Spalte, überschrieben mit „ES“) sowie die Abhängigkeit (letzte Zeile) eingetragen.

Hierzu wurde die Summe der von einer Variablen ausgehenden Verbindungen (Einflussstärke) und die Summe der in eine Variable eingehenden Verbindungen (Abhängigkeit) gebildet.

Variablen	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	ES
V1 Komplexität des LN	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	10
V2 Dynamik des LN	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	10
V3 Grad der IT-Integration im LN	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
V4 Produktart	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
V5 Produktwert	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	7
V6 Datensicherheitskonzepte	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	6
V7 Netzwerkinfrastruktur	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
V8 Leistungsfähigkeit des Transponders	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	7
V9 Standardisierung	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
V10 Transponderpreis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
V11 Kennzeichnungsebene	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	6
V12 Unterstützte Funktion im LN	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	6
V13 Datenschutzbedenken	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	6
Abhängigkeit	2	2	4	1	2	9	4	1	10	11	9	9	9	

Tabelle 4-17: Finale Reachability Matrix

Einteilung der Variablen in Ebenen

Die Einteilung der Variablen in Ebenen vereinfacht die visuelle Darstellung der Abhängigkeiten in dem ISM. Aus der finalen RM wird die Erreichbarkeitsmenge (reachability set; bestehend aus der betrachteten Variable und den Elementen, zu denen die Variable führt) und die Antezedenzmenge (antecedent set; bestehend aus der betrachteten Variable und den Elementen, die zu dieser Variable führen) der einzelnen Variablen ermittelt. Anschließend wird die Schnittmenge beider Mengen ermittelt. Die Variablen, bei denen die Erreichbarkeitsmenge der Schnittmenge entspricht, werden auf der obersten Ebene angesiedelt. Tabelle 4-18 stellt das Ergebnis der ersten Iteration dar. Die Variablen *Grad der IT-Integration im Logistiknetzwerk* (V3), *Netzwerkinfrastruktur* (V7) und *Transponderpreis* (V10) werden in dem Modell auf der obersten Ebene angesiedelt.

Variable	Erreichbarkeitsmenge	Antezedenzmenge	Schnittmenge	Ebene
V1	V1, V2, V3, V6, V7, V9, V10, V11, V12, V13	V1, V2	V1, V2	
V2	V1, V2, V3, V6, V7, V9, V10, V11, V12, V13	V1, V2	V1, V2	
V3	V3, V7	V1, V2, V3, V7	V3, V7	I
V4	V4, V5, V6, V9, V10, V11, V12, V13	V4	V4	
V5	V5, V6, V9, V10, V11, V12, V13	V4, V5	V5	
V6	V6, V9, V10, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	
V7	V3, V7	V1, V2, V3, V7	V3, V7	I
V8	V6, V8, V9, V10, V11, V12, V13	V8	V8	
V9	V9, V10	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V9, V11, V12, V13	V9	
V10	V10	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V9, V10, V11, V12, V13	V10	I
V11	V6, V9, V10, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	
V12	V6, V9, V10, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	
V13	V6, V9, V10, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	

Tabelle 4-18: Einteilung der Variablen – Iteration 1

Nun werden die Variablen der ersten Ebene aus der Tabelle entfernt und die Schnittmenge der verbleibenden Variablen ermittelt. Die Variable *Standardisierung* (V9) wird auf der zweiten Ebene des Modells angeordnet (vgl. Tabelle 4-19).

Variable	Erreichbarkeitsmenge	Antezedenzmenge	Schnittmenge	Ebene
V1	V1, V2, V6, V9, V11, V12, V13	V1, V2	V1, V2	
V2	V1, V2, V6, V9, V11, V12, V13	V1, V2	V1, V2	
V4	V4, V5, V6, V9, V11, V12, V13	V4	V4	
V5	V5, V6, V9, V11, V12, V13	V4, V5	V5	
V6	V6, V9, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	
V8	V6, V8, V9, V11, V12, V13	V8	V8	
V9	V9	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V9, V11, V12, V13	V9	II
V11	V6, V9, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	
V12	V6, V9, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	
V13	V6, V9, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	

Tabelle 4-19: Einteilung der Variablen – Iteration 2

Anschließend sind noch zwei Iterationen notwendig, um alle Variablen in Ebenen (in dem vorliegenden Fall insgesamt fünf) einzuteilen (vgl. Tabelle 4-20 und Tabelle 4-21).

Variable	Erreichbarkeitsmenge	Antezedenzmenge	Schnittmenge	Ebene
V1	V1, V2, V6, V11, V12, V13	V1, V2	V1, V2	
V2	V1, V2, V6, V11, V12, V13	V1, V2	V1, V2	
V4	V4, V5, V6, V11, V12, V13	V4	V4	
V5	V5, V6, V11, V12, V13	V4, V5	V5	
V6	V6, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	III
V8	V6, V8, V11, V12, V13	V8	V8	
V11	V6, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	III
V12	V6, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	III
V13	V6, V11, V12, V13	V1, V2, V4, V5, V6, V8, V11, V12, V13	V6, V11, V12, V13	III

Tabelle 4-20: Einteilung der Variablen – Iteration 3

Variable	Erreichbarkeitsmenge	Antezedenzmenge	Schnittmenge	Ebene
V1	V1, V2	V1, V2	V1, V2	IV
V2	V1, V2	V1, V2	V1, V2	IV
V4	V4, V5	V4	V4	V
V5	V5	V4, V5	V5	IV
V8	V8	V8	V8	IV

Tabelle 4-21: Einteilung der Variablen – Iteration 4

Canonical Matrix

Die RM aus dem vorangegangenen Kapitel wird in die kanonische Matrix (**Canonical Matrix – CM**) umgewandelt. Dies geschieht durch die topologische Anordnung der Variablen entsprechend ihrer Ebene. Die CM ist in Tabelle 4-22 abgebildet.

Variablen	V3	V7	V10	V9	V6	V12	V11	V13	V1	V2	V8	V5	V4
V3 Grad der IT-Integration im LN	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V7 Netzwerkinfrastruktur	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V10 Transponderpreis	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V9 Standardisierung	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V6 Datensicherheitskonzepte	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
V12 Unterstützte Funktion im LN	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
V11 Kennzeichnungsebene	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
V13 Datenschutzbedenken	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
V1 Komplexität des LN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
V2 Dynamik des LN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
V8 Leistungsfähigkeit des Transponders	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
V5 Produktwert	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
V4 Produktart	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1

Tabelle 4-22: Canonical Matrix

Klassifikation der Variablen

Bevor das finale Modell aufgestellt wird, sollen die Variablen in diesem Kapitel basierend auf ihrer Abhängigkeit und Einflussstärke (vgl. Tabelle 4-17) in einer Vier-Felder-Matrix abgetragen werden (sog. **Driver Power Dependence Matrix - DPDM**). Hierzu werden die Abhängigkeit an der Abszisse und die Einflussstärke an der Ordinate abgetragen. Der maximale Wert liegt dabei entsprechend der Anzahl der Variablen im Modell bei 13. Das Koordinatensystem wird in vier Felder bzw. Quadranten aufgeteilt (vgl. Abbildung 4-16). Im ersten Quadranten befinden sich Variablen, die eine hohe Einflussstärke und gleichzeitig auch eine hohe Abhängigkeit von anderen Variablen aufweisen. Sie werden als *Verknüpfungsvariablen* bezeichnet, weil sie neben den Elementen auf der gleichen Ebene auch die *abhängigen Elemente* (Quadrant 1), welche eine niedrige Einflussstärke und hohe Abhängigkeit aufweisen, mit den *Treibern* (Quadrant 2), die eine hohe Einflussstärke und niedrige Abhängigkeit besitzen, im Modell verknüpfen. Im dritten Quadranten befinden sich schließlich die *autonomen Variablen*, die allgemein nur wenige Beziehungen zu anderen Elementen im System aufweisen. Die Diskussion der Ergebnisse der Klassifikation der Variablen wird in Kapitel 4.4.3 vorgenommen.

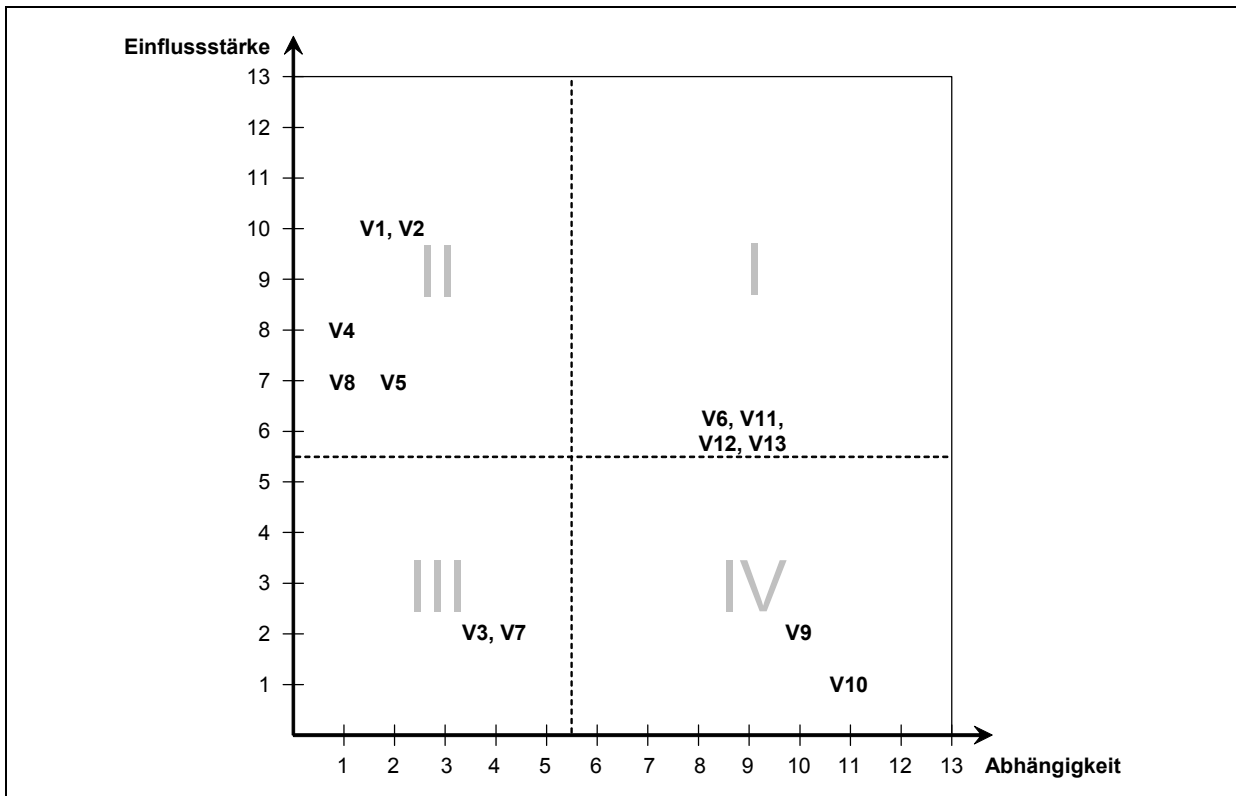


Abbildung 4-16: Driver Power Dependence Matrix

Interpretative Structural Model

Anhand der kanonischen Matrix (vgl. Tabelle 4-22) wird nun das ISM erstellt. Bei dem Modell handelt es sich um einen Digraph, der aus den Variablen (Knoten) und deren Beziehungen (Kanten) besteht. Das ISM ist in Abbildung 4-17 dargestellt. Zur Verdeutlichung der im vorangegangenen Abschnitt vorgenommenen Klassifikation der Variablen wurden die autonomen, abhängigen, Treiber- und Verknüpfungsvariablen grafisch hervorgehoben.

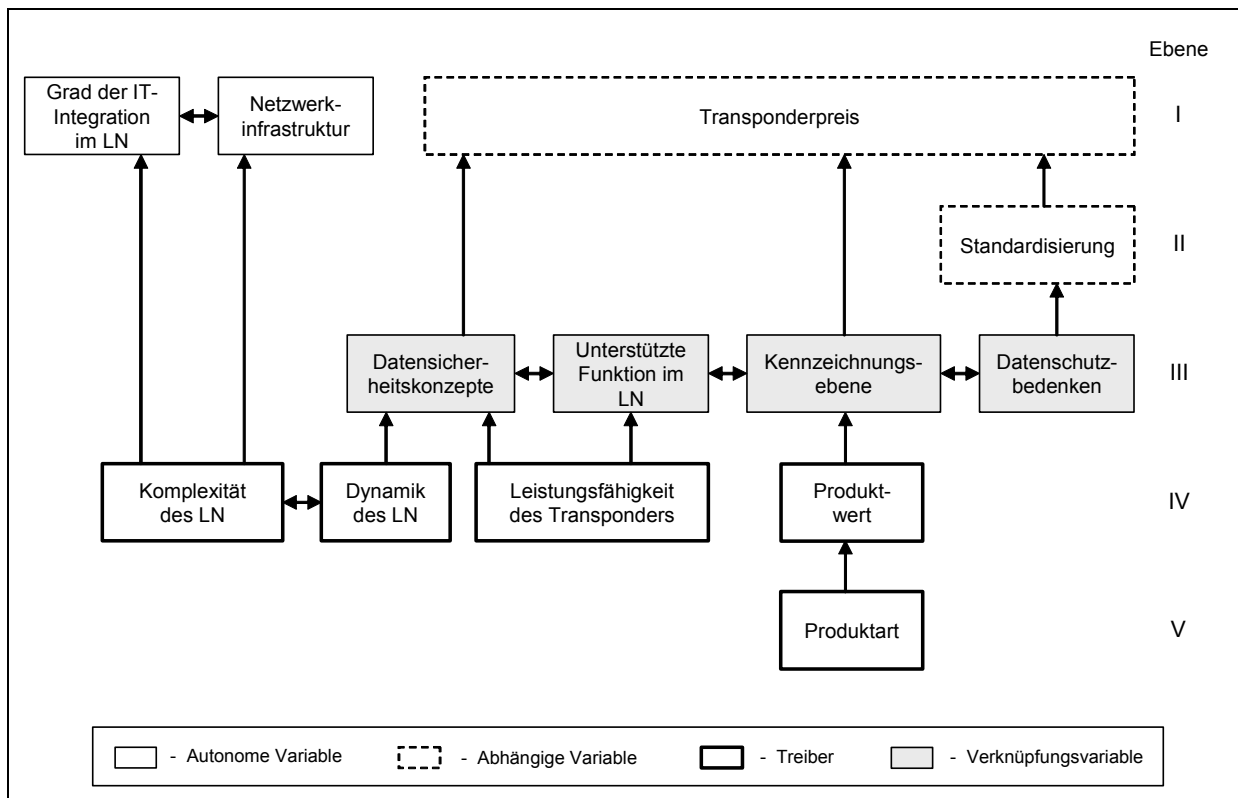


Abbildung 4-17: Modell zur Wahl der Datenorganisationsform Data-on-Tag

4.4.3 Interpretation der Ergebnisse

Auf Grundlage des ISM können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- *Grad der IT-Integration* und *Netzwerkinfrastruktur* bilden die autonomen Elemente in dem Modell. Sie sind weitestgehend von den anderen Elementen des Systems entkoppelt und besitzen daher einen geringen Einfluss auf die Entscheidung, Daten objektbegleitend zu speichern.
- Die Elemente *Transponderpreis* und *Standardisierung* bilden die abhängigen Variablen im System. Sie können von den einzelnen Akteuren des Logistiknetzwerks in der Regel nicht direkt adressiert werden. Der Transponderpreis wird sich nicht signifikant ändern, wenn ein Unternehmen ein größeres Volumen an Transpondern bestellt und die Standardisierung von z. B. Zugriffskonzepten kann auch nicht von einem Akteur des Logistiknetzwerks vorgenommen, sondern muss in Zusammenarbeit vorangetrieben werden. Die beiden Variablen werden von vielen Elementen des Modells beeinflusst: Bspw. machen erhöhte Datenschutzbedenken eine Standardisierung von Datenschutzkonzepten auf Transpondern notwendig, was wiederum den Transponderpreis beeinflusst.
- Die Variablen *Komplexität* und *Dynamik des Logistiknetzwerks*, *Leistungsfähigkeit des Transponders* sowie *Produktwert* und *-art* stellen die Treiber in dem Modell dar. Diese Variablen besitzen einen hohen Einfluss auf die übrigen Systemvariablen. Insbesondere die Komplexität (Anzahl der Akteure) und Dynamik (Stabilität der Beziehungen und Fluktuation der Akteure) des Logistiknetzwerks beein-

flussen fast alle weiteren Elemente des Systems und sollten besondere Berücksichtigung finden bei der Entscheidung, Daten objektbegleitend zu speichern.

- Die Elemente *Datensicherheitskonzepte*, *unterstützte Funktion im Logistiknetzwerk*, *Kennzeichnungsebene* und *Datenschutzbedenken* gehören zu den Verknüpfungsvariablen des Modells. Sie stellen relativ instabile Variablen dar, weil Änderungen an diesen Verknüpfungsvariablen sowohl eine Auswirkung auf die in Beziehung stehenden Elemente als auch auf die Variable selbst haben. Zum Beispiel hat eine Detaillierung der Kennzeichnungsebene von Paletten- auf Produktkennzeichnung zur Folge, dass sich die RFID-gestützten Aufgaben im Logistiknetzwerk ändern (bspw. nicht mehr bloße Automatisierung der Palettenlieferung, sondern Monitoring des Produkts auf der Verkaufsfläche). Der Einsatz von RFID am Produkt kann zu erhöhten Datenschutzbedenken führen, wodurch zusätzliche Datensicherheitsmechanismen auf dem Transponder installiert werden müssen. Dies kann aufgrund des dadurch gestiegenen Transponderpreises dazu führen, dass die Kennzeichnungsebene wieder gewechselt wird (etwa zur Kennzeichnung auf Verpackungsebene).

4.5 Implikationen der Untersuchung

In diesem Abschnitt wurden zunächst in Kapitel 4.1 Datenorganisationsformen systematisiert. Diese Systematisierung erscheint notwendig, da die einschlägige Literatur diesbezüglich bisher relativ wenig Struktur aufweist. Das hergeleitete konzeptuelle Modell (vgl. Kapitel 4.2) eröffnet diverse Möglichkeiten der Erforschung dieser Thematik und bildet in der vorliegenden Arbeit einen Ausgangspunkt für die empirische Befragung und Analyse der Einflussfaktoren mittels des Interpretative Structural Modeling. Anhand der Ergebnisse können Merkmalsausprägungen für die Einflussfaktoren formuliert werden, die für eine der beiden Datenorganisationsformen Data-on-Tag oder Data-on-Network sprechen:

- Im Bereich des Logistiknetzwerks bietet es sich an, Daten objektbegleitend zu speichern, wenn der Grad der IT-Integration zwischen den Netzwerkpartnern gering und die Komplexität und Dynamik des Logistiknetzwerks hoch ist.
- Das Data-on-Tag-Konzept sollte bei Produkten, die eine innovative Produktart und/oder einen hohen Produktwert aufweisen, in Erwägung gezogen werden.
- Die Technologie betreffend ist die objektbegleitende Datenspeicherung dann sinnvoll, wenn bei Speicherung sensibler Daten adäquate Datensicherheitskonzepte für die Anwendung auf dem Transponder vorhanden und auch unter Wirtschaftlichkeitsaspekten implementierbar sind. Für das Data-on-Tag-Konzept spricht ferner eine niedrige Abdeckung der Netzwerkinfrastruktur, eine hohe Leistungsfähigkeit des Transponders sowie eine hohe Standardisierung im Bereich der Zugriffskonzepte bzw. Datenstrukturen.
- Bei den weiteren Faktoren sprechen ein niedriger Transponderpreis, eine feingranulare Kennzeichnungsebene (vorwiegend Produktebene) und niedrige Datenschutzbedenken (sowohl seitens der Endkonsumenten als auch der Netzwerkpartner) für die Anwendung der objektbegleitenden Daten-

speicherung. Darüber hinaus eignet sich das Data-on-Tag-Konzept in Fällen, bei denen der RFID-Einsatz im Logistiknetzwerk der Informatisierung¹⁰⁹ (anstatt der bloßen Automatisierung) dient.

Abbildung 4-18 fasst die Einflussfaktoren mit den korrespondierenden Merkmalsausprägungen zusammen. Zur Verdeutlichung der Bedeutung des jeweiligen Einflussfaktors wurden zum einen die Erkenntnisse der empirischen Studie bezüglich der Hypothesen und zum anderen die Ergebnisse des ISM bezüglich der Einflussstärke und Abhängigkeit in die Abbildung integriert.

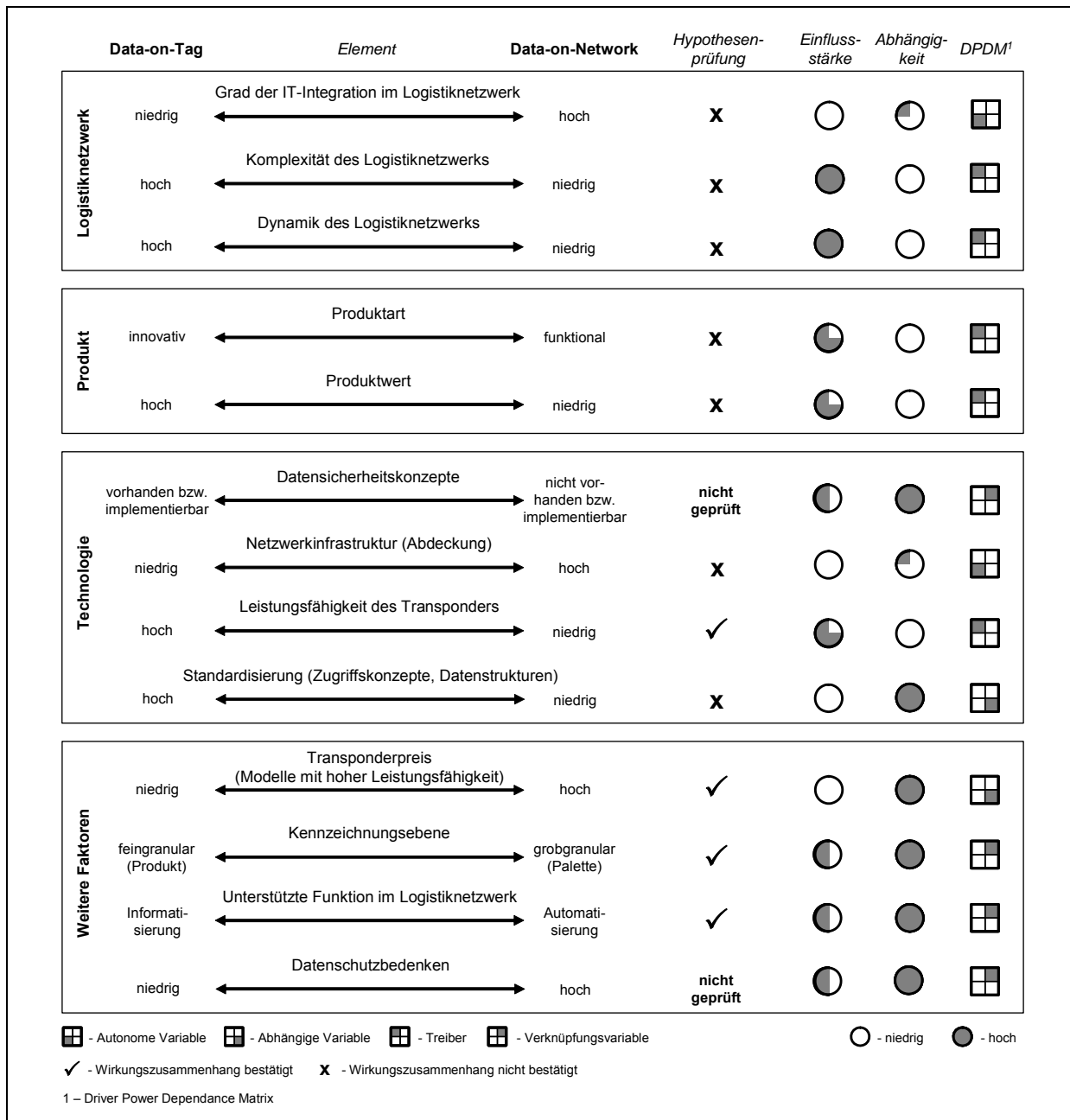


Abbildung 4-18: Merkmalsausprägungen der Einflussfaktoren

¹⁰⁹ Die Auswirkungen des IT-Einsatzes können allgemein in drei Gruppen unterteilt werden: Automatisierungs-, Transformations- und Informatisierungseffekte (vgl. Melville et al. 2004). Unter der Funktion der Informatisierung wird der RFID-Einsatz zur effizienten Informationsverarbeitung und -versorgung im Logistiknetzwerk verstanden (vgl. hierzu auch Simchi-Levi et al. 2003).

5 Aufbereitung und Verwendung von RFID-Daten in Logistiknetzwerken

In Kapitel 3.1.1 ist deutlich geworden, dass aufgrund der Charakteristik von RFID-Daten die Aufbereitung dieser zu Informationen mit zahlreichen Herausforderungen verbunden ist. Dementsprechend konstatieren TU und PIRAMUTHU, dass *„it is necessary to study such issues in extensive detail to further discover how to efficiently clean, filter, and augment the vast amount of data generated in such RFID applications“* (Tu/Piramuthu 2008, S. 62). Die Aufbereitung von RFID-Daten ist Gegenstand des Kapitels 5.2. Ausgehend von den Herausforderungen wird ein Vorgehensmodell zur RFID-Datenaufbereitung entwickelt und anschließend evaluiert. Danach beschäftigt sich Kapitel 5.3 mit der Verwendung von RFID-Daten, in deren Rahmen anhand eines Kosten-Nutzen-Modells der Beitrag von RFID-basierten Informationen zur Visibilitätserhöhung in Logistiknetzwerken untersucht wird. Denn in der Literatur wird zwar häufig argumentiert, dass durch den Einsatz von RFID die Visibilität in Logistiknetzwerken erhöht werden kann (vgl. bspw. Chowdhury et al. 2008), der genaue Beitrag der auf Grundlage der RFID-Daten generierten Informationen zur Visibilitätserhöhung ist jedoch noch nicht hinreichend erforscht worden.¹¹⁰ Als Fundament für die beiden beschriebenen Abschnitte wird vorab in Kapitel 5.1 ein grundlegendes Modell eines Logistiknetzwerks konzipiert und kurz erläutert.

5.1 Annahmen und zugrundeliegendes Modell

Um die Datenaufbereitung und -verwendung an einem beispielhaften Szenario zu untersuchen, wird nachfolgend ein vereinfachtes Modell einer dreistufigen Logistikkette, bestehend aus Produzent, Distributor und Händler, eingeführt.¹¹¹ Es wird angenommen, dass der Produzent eine Produktart herstellt und an den Distributor liefert, der diese Produkte wiederum an den Händler weiterleitet. Der schematische Aufbau der Logistikkette ist in Abbildung 5-1 dargestellt. Neben den Materialflüssen sind in dem Modell die idealtypischen, also bei einer vollständigen RFID-Infrastruktur existierenden, Erfassungspunkte mit den dazugehörigen Ereignisarten (diese werden in Kapitel 5.2.3.1 ausführlich besprochen) abgebildet. Der Weg eines Produkts von der Herstellung bis zum Verkauf am POS wird unter besonderer Berücksichtigung dieser Erfassungspunkte (die korrespondierende Nummer des jeweiligen Erfassungspunkts wird in Klammern angegeben) nachfolgend beschrieben.

¹¹⁰ MATTA und MOBERG (2006, S. 247) stellen fest: *„These abilities of RFID to increase visibility of the tagged assets have been of interest to virtually all members of the supply chain“*. Untersuchungen zur Wirkung der erhöhten Visibilität im RFID-Umfeld wurden bisher ansatzweise nur von ATALI ET AL. (2006) sowie LEE und ÖZER (2007) durchgeführt.

¹¹¹ Allgemein werden in der SCM-Forschung in der Regel zwei- (Produzent-Händler-Beziehung) (vgl. bspw. Boute 2007) und dreistufige Modelle (vgl. bspw. Hosoda/Disney 2006) betrachtet, um die Komplexität realer Logistiknetzwerke (die aus hunderten von Akteuren bestehen und Millionen von Transportvorgängen pro Jahr umfassen können) zu reduzieren. Vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 2.2.1.

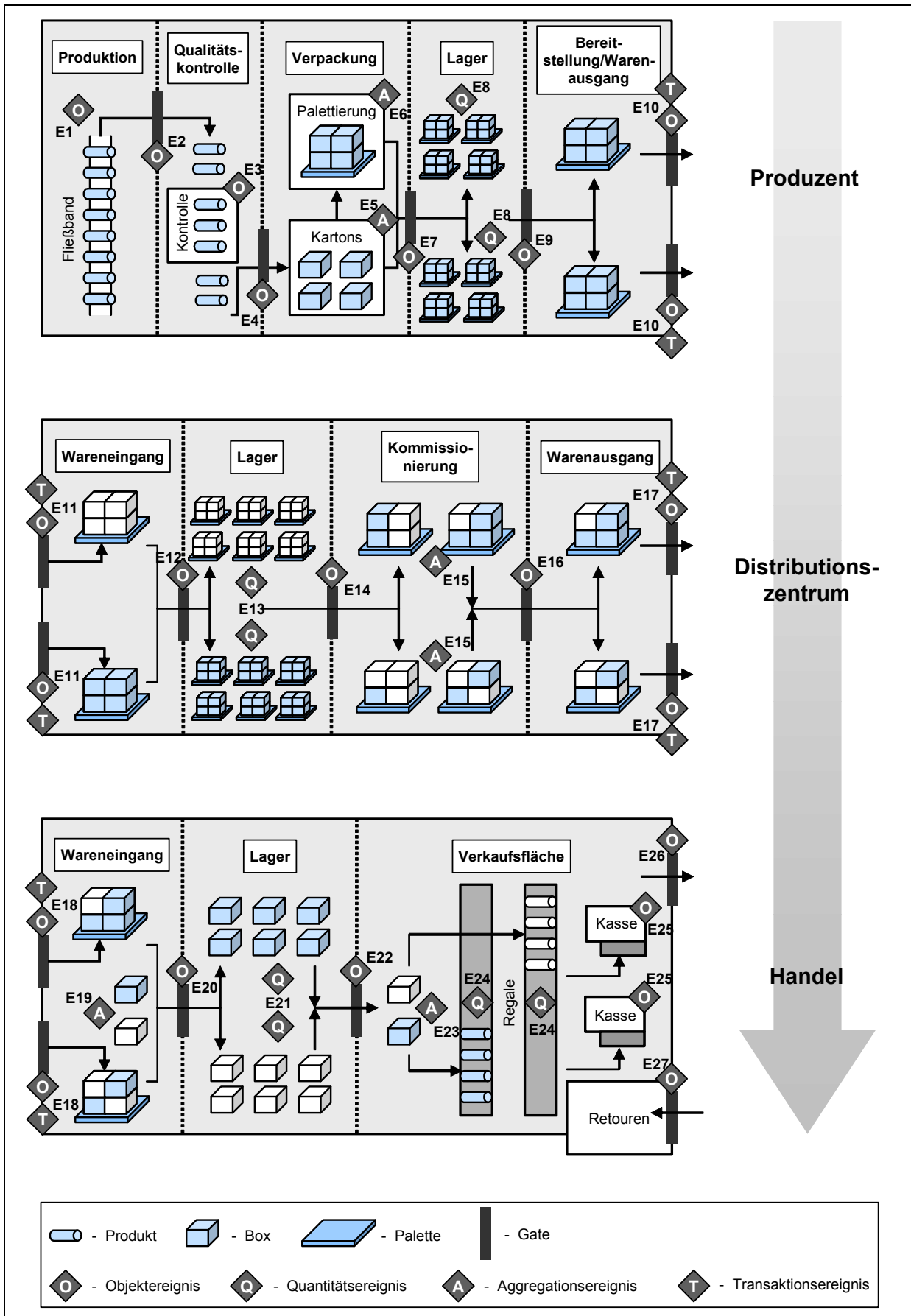


Abbildung 5-1: Schematischer Aufbau der zugrundeliegenden Logistikkette

Die Produkte werden im Anschluss an die Herstellung mit RFID-Transpondern versehen, auf denen die eindeutige Produkt-ID gespeichert ist (Erfassungspunkt E1). Die Befestigung des Transponders erfolgt dabei automatisch als letzter Prozessschritt der Fließbandfertigung, sodass keine (kostspielige) manuelle Anbringung notwendig ist. Anschließend werden die Produkte in die Qualitätskontrolle transportiert (E2) und einer stichprobenartigen Kontrolle unterzogen (E3). Nach der Kontrolle erfolgt der Übergang in den Verpackungsbereich (E4), wo die Produkte zunächst in Kartons verpackt (E5) und dann auf Paletten verladen werden (E6). An die Palettierung schließt sich der Transfer in das Produktionslager an (E7). Dort wird je nach Ausgestaltung der RFID-Lösung der Bestand der Paletten permanent durch stationäre Lesegeräte überwacht oder es werden regelmäßige manuelle Bestandsprüfungen mittels mobilen Lesegeräten durchgeführt (E8). Schließlich werden die Paletten bei Bedarf in die Bereitstellungszone transportiert (E9), wo die Verladung auf LKWs sowie die Generierung des Lieferavis erfolgen (E10). Tabelle 5-1 fasst die RFID-Erfassungspunkte beim Produzenten zusammen. Die Spalten „Ereignis“ (mit den vier Ereignisarten: Objekt-, Aggregations-, Quantitäts- und Transaktionsereignis) und „Änderung“ (mit der Information, wie sich der Status des Objekts – entweder sein Aufenthaltsort oder die Inhaltsbeziehung zu anderen Objekten – ändert) werden in späteren Abschnitten¹¹² thematisiert und können zunächst vernachlässigt werden.

Nr.	Bereich	Beschreibung	Ereignis	Reader	Änderung	
					Ort	InhBez [*]
1	Produktion	Produkt wird initial mit der eindeutigen ID ausgestattet	O	Stationär	✓	
2	Produktion	Übergang von der Produktion in die Qualitätskontrolle	O	Gate	✓	
3	Qualitätskontrolle	Stichprobenartige Kontrolle der Produkte	O	Stationär		
4	Qualitätskontrolle	Übergang von der Qualitätskontrolle in die Verpackung	O	Gate	✓	
5	Verpackung	Produkte werden in Kartons verpackt	A	Stationär/Mobil		✓
6	Verpackung	Kartons werden auf Paletten verladen	A	Stationär/Mobil		✓
7	Verpackung	Übergang von der Verpackung in das Lager	O	Gate	✓	
8	Lager	Bestand eingelagerter Paletten wird kontrolliert	Q	Mobil		
9	Lager	Übergang zum Warenausgang	O	Gate	✓	
10	Warenausgang	Verladung auf LKW und Generierung des Lieferavis	O, T	Gate	✓	

O - Objekt ereignis A - Aggregations ereignis Q - Quantitäts ereignis T - Transaktions ereignis
* Inhaltsbeziehung

Tabelle 5-1: Merkmale der Erfassungspunkte beim Produzenten

¹¹² Vgl. Kapitel 5.2.3.1.

Im Distributionszentrum werden die Paletten im Wareneingang vom LKW entladen und die Lieferung mit dem Lieferavis verglichen (E11). Danach gelangen die Paletten in das Zwischenlager (E12), wo – analog zur Beschreibung des Lagerprozesses beim Produzenten – Bestandskontrollen erfolgen (E13). Nach dem Übergang in die Kommissionierung (E14) werden die Paletten für die Auslieferung an die Einzelhandelsmärkte neu zusammengestellt (E15). Abschließend erfolgt der Weitertransport in den Wareneingangsbereich (E16) und die Verladung auf LKWs (E17). Dabei werden wiederum Lieferavise für die Empfänger erstellt. Die RFID-Erfassungspunkte im Distributionszentrum sind in Tabelle 5-2 dargestellt.

Nr.	Bereich	Beschreibung	Ereignis	Reader	Änderung	
					Ort	InhBez [*]
11	Wareneingang	Warenannahme und Prüfung der Lieferung anhand des Lieferavis	O, T	Gate	✓	
12	Wareneingang	Übergang vom Wareneingang in das Lager	O	Gate	✓	
13	Lager	Bestand eingelagerter Paletten wird kontrolliert	Q	Stationär/Mobil		
14	Lager	Übergang vom Lager in die Kommissionierung	O	Gate	✓	
15	Kommissionierung	Neue Zusammenstellung der Paletten	A	Stationär/Mobil		✓
16	Kommissionierung	Übergang von der Kommissionierung in den Wareneingang	O	Gate	✓	
17	Wareneingang	Verladung auf LKW und Generierung des Lieferavis	O, T	Gate	✓	

O - Objekt ereignis A - Aggregations ereignis Q - Quantität ereignis T - Transaktions ereignis
* Inhaltsbeziehung

Tabelle 5-2: Merkmale der Erfassungspunkte im Distributionszentrum

Beim Händler erfolgt im Wareneingang zunächst die Kontrolle der Lieferung sowie Entladung der Paletten (E18). Hier werden auch die Kartons von den Paletten entnommen (E19) und anschließend eingelagert (E20). Im Lager werden wiederum Bestandskontrollen – im Gegensatz zum Produzenten und Distributor diesmal auf Kartonebene – durchgeführt (E21). Mitarbeiter entnehmen bei Bedarf Kartons aus dem Lager und transportieren diese auf die Verkaufsfläche (E22). Dort werden die Produkte aus den Kartons entnommen und ins Regal eingelagert (E23). Durch den Einsatz von Smart Shelves kann hier eine permanente Bestandskontrolle erfolgen (E24). Die Produkte werden nun von den Kunden aus dem Regal entnommen und an der Kasse bezahlt (E25).¹¹³ Schließlich verlassen Kunden das Geschäft durch den Ausgang, wo das Produkt (vorerst zum letzten Mal) durch einen installierten Gate-Reader erfasst wird (E26). Ist der Kunde mit dem erworbenen Produkt unzufrieden bzw. liegen Mängel an dem Produkt vor, wird das Produkt bei der Abgabe in der Retouren-Abteilung erfasst (E27). Hierzu

¹¹³ In der Zukunft sind hier Self-Check-Out-Systeme möglich, bei denen der Konsument lediglich den Einkaufswagen durch ein RFID-Gate führt ohne die Produkte auf das Band zur manuellen Scannung legen zu müssen. Detaillierte Untersuchungen zu solchen Lösungen am POS finden sich bei SMITH (2005a), TELLKAMP ET AL. (2007) und RESATSCH ET AL. (2008).

ist es notwendig, dass der Transponder über den POS hinaus am Produkt verbleibt.¹¹⁴ Tabelle 5-3 fasst abschließend die RFID-Erfassungspunkte entlang des Materialflusses beim Einzelhändler zusammen.

Nr.	Bereich	Beschreibung	Ereignis	Reader	Änderung	
					Ort	InhBez ²
18	Wareneingang	Warenannahme und Prüfung der Lieferung anhand des Lieferavis	O, T	Gate	✓	
19	Wareneingang	Kartons werden von den Paletten entladen	A	Mobil		✓
20	Wareneingang	Übergang vom Wareneingang in das Lager	O	Gate	✓	
21	Lager	Bestand eingelagerter Kartons wird kontrolliert	Q	Stationär/Mobil		
22	Lager	Übergang vom Lager auf die Verkaufsfläche	O	Gate	✓	
23	Verkaufsfläche	Entnahme der Produkte aus den Kartons	A	Mobil		✓
24	Verkaufsfläche	Bestand der Produkte im Regal wird permanent kontrolliert	Q	Smart Shelf		
25	Verkaufsfläche	Produkte werden an der Kasse gescannt	O	Stationär/Gate	✓	
26	Verkaufsfläche	Kunde mit Produkt verlässt das Gebäude	O	Gate	✓	
27	Verkaufsfläche	Kunde beanstandet Produkt	O	Stationär/Mobil	✓	

O - Objekt ereignis A – Aggregations ereignis Q - Quantitäts ereignis T - Transaktions ereignis
Inhaltsbeziehung

Tabelle 5-3: Merkmale der Erfassungspunkte im Einzelhandel

Für die Ausgestaltung des RFID-Systems sollen des Weiteren die folgenden Annahmen gelten:

- Für die Zwecke der weiteren Betrachtung ist die konkrete Datenorganisationsform (Data-on-Tag oder Data-on-Network) nicht relevant, es wird jedoch angenommen, dass die notwendigen Informationen zum jeweiligen Objekt echtzeitnah an die relevanten Systeme übermittelt werden können.
- Sämtliche logistischen Objekte auf den relevanten Kennzeichnungsebenen (Palette, Box, Produkt) sind mit einem Transponder versehen.
- Reverse Logistics-Prozesse vom Händler zum Produzenten (etwa bei einem Warenrückruf) werden nicht betrachtet. Es wird angenommen, dass die Retouren-Abteilung des Händlers (E27) eventuelle Mängel beheben kann.

¹¹⁴ Sollte der RFID-Transponder nach dem Kauf nicht deaktiviert werden, ergeben sich noch weitere Erfassungsmöglichkeiten, z. B. im häuslichen Nutzungsbereich des Konsumenten. Hier werden vor allem Monitoringanwendungen, etwa für die Einnahme von Medikamenten (vgl. Chen et al. 2007), oder „intelligente“ Haushaltsgeräte, bspw. Kühlschränke, die – in einem visionären Zukunftsszenario – den Konsumenten über den aktuellen Inhalt informieren und die Nachbestellung selbständig veranlassen (vgl. Simoneit 2004, S. 11), diskutiert.

Das vorgestellte Modell und die getroffenen Annahmen bilden den Ausgangspunkt für die nachfolgenden Untersuchungen. Während die idealtypische RFID-Infrastruktur für die Betrachtung der Datenaufbereitung in dem nächsten Kapitel als Grundlage dient, werden bei der Untersuchung des Beitrags von RFID zur Visibilitätserhöhung in Kapitel 5.3 unterschiedliche Szenarien (bei denen nicht alle Erfassungspunkte realisiert sind) analysiert.

5.2 Aufbereitung von RFID-Daten

Wie bereits in Kapitel 3.2.5 anhand der Literaturrecherche deutlich geworden ist, gibt es zwar eine Vielzahl von Publikationen und Praxisprojekten zu unterschiedlichen Themen der Datenaufbereitung, ein umfassendes Vorgehensmodell wurde jedoch bislang in Ansätzen nur von CHEONG und KIM (2005) vorgestellt. Die bisherigen Middleware-Implementierungen (z. B. Auto-ID-Infrastructure von SAP, vgl. Bornhövd et al. 2004) decken in der Regel nicht alle in den folgenden Kapiteln beschriebenen Phasen des Aufbereitungsprozesses konsequent ab. In diesem Abschnitt wird daher ausgehend von dem Ziel der Datenaufbereitung – der Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen – und den bereits dargestellten Charakteristika von RFID-Daten (vgl. Kapitel 3.1) ein integriertes Vorgehensmodell zur effizienten Aufbereitung dieser Daten konzipiert. Zunächst werden dabei in Kapitel 5.2.1 die Herausforderungen in den Bereichen Datenvolumen und Datenqualität sowie bei der Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen diskutiert. Darauf aufbauend stellt Kapitel 5.2.2 die abgeleiteten Prinzipien vor, die als Anforderungen an das Vorgehensmodell, welches in Abschnitt 5.2.3 ausführlich dargestellt wird, aufgefasst werden können. Schließlich erfolgt eine Beurteilung des Vorgehensmodells im Hinblick auf die Herausforderungen (5.2.4).

5.2.1 Herausforderungen

Bei der Systematisierung des RFID-Datenmanagements in Kapitel 3 wurden bereits die wichtigsten Herausforderungen angerissen: Erstens führen RFID-Systeme insbesondere durch die erhöhte Anzahl an Datenerfassungspunkten und -vorgängen zu einem hohen Datenvolumen. Zweitens leidet die Qualität der erfassten Daten unter den physikalischen Eigenschaften der Radiofrequenztechnologie. Drittens gestaltet sich aufgrund des rohen Charakters der erfassten Daten die Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen schwierig. Nachfolgend werden diese Bereiche genauer analysiert, um neben den Anforderungen an das Vorgehensmodell auch dessen spätere Evaluation zu ermöglichen.

Datenvolumen

In der Literatur existieren unterschiedliche Schätzungen zu den Datenvolumen, die von RFID-Systemen generiert werden.¹¹⁵ Hierbei gilt, dass das Datenvolumen von der spezifischen Ausgestaltung der RFID-Lösung abhängig ist. Im Durchschnitt kann allgemein von einer Erhöhung um den Faktor zehn bis

¹¹⁵ SCHOETZKE und URBAN gehen davon aus, dass mittelgroße Supermarktfilialen 100 Terabyte RFID-Daten pro Geschäftstag generieren werden (vgl. Schoetzke/Urban 2008, S. 5).

hundert gegenüber Barcode-Systemen ausgegangen werden (vgl. Tu/Piramuthu 2008, S. 62). Im Folgenden soll eine Abschätzung für das zugrunde liegende Logistiknetzwerk durchgeführt werden.¹¹⁶

Das Datenvolumen errechnet sich für einen bestimmten Zeitraum grundlegend aus dem Produkt der Speichergröße eines Datentupels (Datensatz, der bei der Erfassung eines Transponders erzeugt wird), der Häufigkeit der Erfassung eines Objekts und der Anzahl der Objekte. Die drei Größen stellen sich unter den in Kapitel 5.1 getroffenen Annahmen folgendermaßen dar:

- Die Transponder speichern gemäß dem EPC-Standard eine eindeutige ID mit der Länge von 96 Bit (12 Bytes), wobei die Klassen-ID 60 Bit (7,5 Bytes) und die Seriennummer der Instanz die restlichen 36 Bit (4,5 Bytes) beansprucht. Die Reader-ID besteht auch aus einer 48 Bit langen ID (6 Bytes). Der Zeitstempel (Datum und Uhrzeit) benötigt 40 Bit (5 Bytes). Insgesamt beträgt die Speichergröße eines Datentupels dementsprechend 23 Bytes bei der Erfassung der Produktinstanz und 18,5 Bytes bei der Identifikation einer Produktklasse.
- Für die Berechnung soll angenommen werden, dass Transponder durchschnittlich fünf Mal an einem Leseort erfasst werden. Die mehrmalige Erfassung der Daten resultiert aus der Tatsache, dass sich die Objekte für eine gewisse Zeitspanne im Lesebereich des Readers befinden und währenddessen die objektbezogenen Daten mehrmals ausgelesen werden. Die tatsächlichen Lesezyklen hängen dabei von vielen Faktoren ab (z. B. der Geschwindigkeit, mit der eine Palette durch ein RFID-Gate geschoben wird) und sollen deshalb durch einen Durchschnittswert abgebildet werden.¹¹⁷ Eine Besonderheit stellen Erfassungspunkte im Lager oder auf der Verkaufsfläche (Smart Shelves) dar. Hier befinden sich die Objekte länger im Lesefeld und die Daten werden daher fortwährend ausgelesen. Für die Beispielrechnung wird angenommen, dass die jeweiligen Objekte durchschnittlich einen Tag im Lager bzw. Regal verweilen und in dieser Zeit jede Minute ein Erfassungsvorgang erfolgt. Insgesamt werden also 7.200 Datensätze pro Objekt generiert (1.440 Lesevorgänge mit wiederum durchschnittlich fünf Erfassungen). Dabei wird lediglich die 60 Bit lange Klassen-ID und nicht die vollständige Instanz-ID gelesen.¹¹⁸
- Große Handelsunternehmen wie Metro Group oder Wal-Mart haben eine Durchsatzrate von ca. 60 Milliarden Produkten pro Jahr (vgl. Bornhövd et al. 2004, S. 1183). Diese Größenordnung soll für die Berechnung der Anzahl von logistischen Objekten im Beispielszenario verwendet werden. Ferner

¹¹⁶ Anhand eines Vergleichs mit den konkreten Zahlen wird zum späteren Zeitpunkt die Bewertung des Vorgehensmodells im Hinblick auf die Effizienz der Datenreduktion vereinfacht.

¹¹⁷ Denkbar sind auch Ausnahmen, bei denen Objekte viel länger im Lesefeld eines Readers verbleiben als vorgesehen. Bspw. könnten Paletten aufgrund eines technischen Defekts des Gabelstaplers viel länger im Bereich eines Gates verbleiben und die Daten fortwährend ausgelesen werden. Auch die mehrmalige Entnahme und Wiedereinlagerung von Objekten im Lager kann die Anzahl der Erfassungsvorgänge erhöhen. Aufgrund solcher unvorhergesehenen Ereignisse (die hier nicht weiter betrachtet werden sollen) ist anzunehmen, dass das tatsächliche Datenvolumen noch höher ausfällt als in der konservativen Beispielrechnung angenommen.

¹¹⁸ Für die Bestandsüberprüfung ist lediglich die Klassen-ID erforderlich. Anders sieht es aus, wenn bspw. im Rahmen des Regalmanagements am Point of Sale nicht nur der aktuelle Bestand, sondern auch die Zuordnung von verschiedenen Produktvarianten (z. B. unterschiedlichen Größen eines Kleidungsstücks) zu Ablageplätzen (befinden sich die einzelnen Produktvarianten in den richtigen Regalfächern?) überwacht werden soll. In diesem Fall, der hier nicht weiter betrachtet wird, müssen Instanz-IDs erfasst werden.

wird angenommen, dass durchschnittlich jeweils 20 Produkte zu einer Box verpackt und 20 Boxen auf eine Palette verladen werden.

Unter den getroffenen Annahmen stellt Tabelle 5-4 das verursachte Datenvolumen der einzelnen logistischen Objekte sowie das Gesamtvolumen für das Beispielszenario dar. Die Dimensionen des Gesamtvolumens verdeutlicht, dass der Filterung und Komprimierung der Daten eine immense Bedeutung im Rahmen der Datenaufbereitung zuzurechnen ist. Im Vergleich zu den über 30 Tausend Terabyte an RFID-Daten mutet das Data Warehouse der Metro Group, welches als eines der umfassendsten im europäischen Einzelhandel gilt, mit seinen ca. 140 Terabyte (vgl. CW 2006) geradezu klein an. Die Betrachtung der Datenvolumina für die einzelnen logistischen Objekte zeigt zwei Auffälligkeiten: Zum einen stellt die Kennzeichnung auf Produktebene erwartungsgemäß den überwiegenden Großteil des verursachten Volumens dar. Zum anderen leisten insbesondere die Reader im Lager- und Regalbereich, die permanent den Bestand erfassen, einen signifikanten Beitrag zum hohen Datenvolumen. In diesen beiden Bereichen ist folglich das höchste Reduktionspotenzial bei der Datenaufbereitung zu suchen.

		Produkt	Box	Palette
Anzahl Passier-Erfassungspunkte (alle Objekt, Aggregations- und Transaktionsereignisse)	$E_{P,k}$	22	16	12
Anzahl Lager- bzw. Regalerfassungspunkte (Quantitätsergebnisse)	$E_{L,k}$	4	3	2
Speichergröße Datentupel: Produktinstanz	S_{PI}	23 B		
Speichergröße Datentupel: Produktklasse	S_{PK}	18,5 B		
Anzahl Erfassungen im Lesezyklus (Durchschnitt)	LZ	5		
Datenvolumen für ein logistisches Objekt (kB ¹)	$V_{O,k} = [(S_{PI} E_{P,k})(S_{PK} E_{L,k})]LZ$	523 kB	392 kB	262 kB
Anzahl logistischer Objekte pro Jahr	O_k	60 Mrd.	3 Mrd. (20 Produkte pro Box)	150 Mill. (20 Boxen pro Palette)
Gesamtes Datenvolumen (TB ²)	$V_{Gesamt,k} = V_{O,k} O_k$	29.213 TB	1.095 TB	37 TB
Gesamtes Datenvolumen über alle Kennzeichnungsebenen hinweg (TB)	$V_{Gesamt} = \sum_{k=1}^3 V_{Gesamt,k}$	30.345 TB		

¹ Kilobyte ² Terabyte

Tabelle 5-4: Datenvolumen im Beispielszenario

Datenqualität

Durch Reader erfasste RFID-Rohdaten sind in der Regel fehlerbehaftet (vgl. Derakhshan et al. 2007, S. 177 f.): Sie enthalten Leseanomalien, die insbesondere aufgrund der physikalischen Eigenschaften entstehen (vgl. Kapitel 3.1.1). Zum einen arbeiten die Lesegeräte bei der Erfassung autonom (im Gegensatz zu Barcode-Systemen, wo erfolgreiche Lesungen dem Mitarbeiter gewöhnlich durch ein akustisches Signal bestätigt werden) und zum anderen sind manuelle Kontrollen der erfassten Daten aufgrund des hohen Volumens nicht sinnvoll. Während also im Falle von Barcode-Systemen bei einer nicht erfolgten Lesung der Mitarbeiter einen weiteren Scanvorgang ausführen kann, müssen in RFID-Systemen Filtermechanismen installiert werden, um Fehler bei der Datenerfassung zu identifizieren und nach Möglichkeit zu beheben. Es muss also eine Verlagerung der (kostspieligen) manuellen Kontrolle aus der Phase der Datenerfassung in die automatische Filterung in der Phase der Datenaufbereitung stattfinden. Allgemein muss gewährleistet werden, dass die Rohdaten in fehlerfreie Daten überführt werden.

Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen

Eine weitere Herausforderung resultiert aus der Tatsache, dass es sich bei den RFID-Lesungen um Dreiertupel (Objekt-ID, Reader-ID, Zeitpunkt der Erfassung), also sog. primitive Ereignisse handelt, die aggregiert, verdichtet und mit Kontext angereichert werden müssen, um für Entscheidungsprozesse genutzt werden zu können. Hinzu muss der Aspekt Berücksichtigung finden, dass in RFID-Systemen in der Tendenz zum einen mehr Abfragen und zum anderen komplexere Abfragen als z. B. bei herkömmlichen Barcode-Systemen zu erwarten sind. Dies hängt unter anderem mit dem erhöhten Datenvolumen zusammen: Je mehr Daten vorhanden sind (und je detaillierter diese Datenbasis ist), desto häufiger finden in der Regel Datenabfragen statt, um aus dem vorhandenen Datenpool entscheidungsrelevante Informationen zu gewinnen (vgl. Tu/Piramuthu 2008, S. 63).

Im folgenden Kapitel werden Prinzipien vorgestellt, die die skizzierten Herausforderungen adressieren und folglich in dem Vorgehensmodell zur RFID-Datenaufbereitung Berücksichtigung finden sollen.

5.2.2 Prinzipien

Die folgenden Prinzipien wurden zum einen aus den Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf das Datenmanagement (vgl. Kapitel 3.1) und zum anderen aus der Literatur (vgl. Palmer 2004; Hanebeck 2004) abgeleitet. Sie finden Berücksichtigung in der Konzeption des Vorgehensmodells im nachfolgenden Abschnitt.

Prinzip 1: Vorverarbeitung nah an der Quelle

Um das Datenvolumen zu begrenzen, sollte die Vorverarbeitung der Daten nah an der Datenerfassungsquelle erfolgen. Lokale Edgeware-Komponenten¹¹⁹, die im Bereich der Reader-Infrastruktur angesiedelt sind, könnten diese Funktion übernehmen und damit zentrale Systeme entlasten (vgl. Chawathe et al. 2004, S. 1192). Dadurch würden nur die notwendigen Daten an die nächst höhere Verarbeitungsebene (in diesem Fall an die Middleware) weitergeleitet.

Prinzip 2: Flexibilität der Datenauswertung erhalten

Die unter Prinzip 1 genannte Vorfilterung der Daten sollte jedoch die Flexibilität der Datenauswertung nicht einschränken. Es ist also ein angemessenes Filterschema einzusetzen, welches einen Kompromiss zwischen der maximal möglichen Datenreduktion und der vollständigen Datenweiterleitung darstellt. Mit anderen Worten ist ein gewisses Maß an Datenredundanz erforderlich, um eine effiziente Datenauswertung zu gewährleisten. Dies soll nachfolgend anhand eines simplen Beispiels illustriert werden.

Flexibilität vs. vollständige Datenreduktion

Es wird in den nachfolgenden Abschnitten dargelegt, dass Daten z. B. durch die Aggregation mehrerer Erfassungsvorgänge zu einem Ereignis reduziert werden können. Eine solche Datenreduktion kann aber in einigen Fällen die Aufbereitungsflexibilität vermindern: Werden bspw. Objektbewegungen auf der Verkaufsfläche aggregiert, indem nur die Einlagerung eines Produkts in das Regal sowie dessen endgültige Entnahme vom Kunden als Ereignisse weitergeleitet werden (somit alle anderen Bewegungen als Anomalien aufgefasst werden), so können im Endeffekt die zwischen diesen beiden Ereignissen stattfindenden Entnahmen (Kunde nimmt das Produkt in die Hand, legt es aber wieder zurück) nicht dokumentiert werden. Diese Informationen könnten jedoch wichtig für die Analyse des Kaufverhaltens von Kunden sein. Hier entsteht also ein Konflikt zwischen dem Ziel der maximalen Datenreduktion und dem Ziel des Flexibilitätserhalts. RAO ET AL. (2006, S. 175 ff.) argumentierten daher, dass es nicht immer möglich ist alle Anomalien in der ersten Aufbereitungsphase zu beseitigen, und dass ferner die Datenaufbereitung sich an den Bedürfnissen der Datenkonsumenten orientieren muss. Bestimmte Aufbereitungsschritte sollten deshalb zur Abfragezeit vertagt werden.

Prinzip 3: Archivierung/Auslagerung älterer Daten

Um eine effiziente Verarbeitung der Daten zu garantieren, sollten ältere Datenbestände kontinuierlich ausgelagert werden. Diese auf den ersten Blick triviale Forderung ist im RFID-Umfeld vielschichtig, da RFID-Systeme als „Datengeneratoren“ für Backend-Systeme fungieren. Die von den angeschlossenen Systemen benötigte Datenaktualität ist dabei äußerst heterogen. Während bspw. Monitoring-Systeme

¹¹⁹ Aufgrund der dezentralen Verarbeitung („at the edge“) wird bei der Middleware, die nah an den Lesegeräten implementiert ist, von der sog. Edgeware gesprochen (vgl. Thiesse 2005).

in der Regel nur die aktuellsten Daten benötigen, sind z. B. SCM-Systeme an Vergangenheitsdaten interessiert.

Prinzip 4: Verstärkte Datenfilterung

Die in Kapitel 5.2.1 angesprochene niedrige Datenqualität von rohen RFID-Datenströmen macht eine verstärkte Datenfilterung notwendig. Die gefilterten Daten sollten dabei die realen Materialflüsse im Logistiknetzwerk möglichst detailgetreu und fehlerfrei abbilden. Durch die Filterung werden alle drei skizzierten Herausforderungen adressiert: Die Datenmenge wird durch die Beseitigung von fehlerhaften Datensätzen reduziert und dadurch die Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen erleichtert. Die größte Wirkung hat eine verstärkte Filterung jedoch auf die Datenqualität: Nach diesem Schritt sollten sich in der Regel nur noch fehlerfreie Daten im System befinden.

Prinzip 5: Simple Ereignisse in komplexe Ereignisse transformieren

Die von den Lesegeräten erfassten Dreiertupel stellen die Erfassung eines bestimmten Transponders an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit dar, besitzen daher bei einer isolierten Betrachtung wenig Aussagegehalt. Diese primitiven Lesungen müssen also zunächst zu komplexen Ereignissen aggregiert werden.

Beispiel für die Aggregation von RFID-Daten

Die Aggregation der mehrmaligen Erfassung eines Transponders kann bspw. zunächst zu dem Ereignis „Objekt im Lesefeld“ verdichtet werden. Die Verknüpfung der Lesungen einzelner Objekte kann dann z. B. zu dem Ereignis „Palette mit kompletten Inhalten gelesen“ und mehrere dieser Ereignisse können zu dem komplexen Ereignis „Palette ist nach einer Transportzeit von 27 Stunden am Wareneingangstor des Händlers eingetroffen“ aggregiert werden.

Prinzip 6: Kontext hinzufügen

Der begrenzte Aussagegehalt von RFID-Lesungen macht des Weiteren die Anreicherung mit Kontextdaten notwendig.¹²⁰ Diese Kontextdaten sollten in der Regel von der Middleware bereitgestellt werden, bei unternehmensübergreifendem RFID-Einsatz müssen zudem entfernte EPCIS-Datenbanken (siehe Erläuterung weiter unten im Text) eingebunden werden. Bspw. müssen bei einer dezentralen Datenorganisation Produktdaten aus dem EPCIS des Herstellers angefordert werden, um die eindeutige ID eines Produkts mit den korrespondierenden Produktmerkmalen zu verknüpfen.

¹²⁰ Es sei denn, es wird die Data-on-Tag-Variante der Datenorganisation eingesetzt und es können Kontextdaten direkt vom Transponder gelesen werden. Allerdings ist auch bei diesem Ansatz eine Kontextanreicherung notwendig, da sich auf dem Transponder lediglich objektbezogene Kontextdaten befinden und der Situationskontext hinzugefügt werden muss.

EPCIS

Die EPC Information Services (EPCIS) bilden im Rahmen des EPCglobal-Netzwerks (vgl. Kapitel 2) die RFID-Datenquellen (vgl. Ranasinghe et al. 2007, S. 59 ff.). Jeder Akteur in einem RFID-gestützten Logistiknetzwerk verfügt demnach über einen EPCIS, in dem EPC-basierte Daten gespeichert werden. Die EPCIS-Spezifikation (vgl. EPCGlobal 2007) definiert Schnittstellen zur Datenübertragung zwischen den beteiligten Unternehmen. EPCglobal bietet seit Anfang 2008 Dienste zur Visualisierung und Validierung der EPCIS-Datenbestände im Rahmen des sog. *EPCIS Validation Portal*¹²¹ an.

Prinzip 7: Anwendungsneutrale Aufbereitung von Daten

Die Daten sollten in den ersten Transformationsstufen anwendungsneutral aufbereitet werden, da – wie bereits bei Prinzip 3 („Archivierung/Auslagerung älterer Daten“) erwähnt – RFID-Systeme im Regelfall viele heterogene Backendsysteme mit Informationen versorgen. Eine auf bestimmte Systeme spezifisch zugeschnittene Aufbereitung der Daten sollte daher so spät wie möglich erfolgen.

Die nachfolgende Tabelle 5-5 zeigt abschließend, welche Relevanz die beschriebenen Prinzipien im Hinblick auf die Herausforderungen besitzen. Diese Zuordnung gilt es bei der Konzeption des Vorgehensmodells im nächsten Abschnitt zu berücksichtigen.

	Datenvolumen	Datenqualität	Generierung von Informationen
1. Vorverarbeitung nah an der Quelle	●	◐	○
2. Flexibilität der Datenauswertung erhalten	○	◐	●
3. Archivierung/Auslagerung älterer Daten	●	○	◐
4. Verstärkte Datenfilterung	◐	●	◐
5. Simple Ereignisse in komplexe Ereignisse transformieren	○	◐	●
6. Kontext hinzufügen	○	○	●
7. Anwendungsneutrale Aufbereitung von Daten	○	○	●

● - hoch ◐ - mittel ○ - niedrig

Tabelle 5-5: Relevanz der Datenaufbereitungs-Prinzipien im Hinblick auf die Herausforderungen

5.2.3 Vorgehensmodell zur Datenaufbereitung

Im nachfolgenden Abschnitt 5.2.3.1 wird auf das entwickelte Vorgehensmodell eingegangen, wobei zuvor konzeptionelle Vorüberlegungen erörtert werden. In den Kapiteln 5.2.3.2 (Datenbereinigung),

¹²¹ www.epcisvp.com/EVP/Public/Home.aspx

5.2.3.3 (Datenaggregation und -auswertung) sowie 5.2.3.4 (Datenweiterleitung und -verwendung) werden anschließend die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells ausführlich diskutiert.

5.2.3.1 Konzeptionelle Vorüberlegungen und Modelldarstellung

Der im Folgenden dargelegten Vorgehensweise liegen neben den in Kapitel 5.2.2 diskutierten Herausforderungen folgende Konzepte aus der Praxis bzw. einschlägigen Literatur zugrunde:

Einteilung der Ereignisse in vier Gruppen

Angelehnt an die EPCIS-Spezifikation (vgl. Nguyen et al. 2007; EPCGlobal 2007) werden nachfolgend vier Arten von Ereignissen in RFID-Systemen unterschieden. Diese Unterscheidung dient als Grundlage für die Konzeption von Methoden zur Datenkomprimierung und insbesondere zur Datenauswertung. Es handelt sich um die folgenden vier Ereignisarten:

- Das **Objektereignis** („Object Event“) kommt zur Anwendung, wenn die Erkennung eines Objekts – in der Regel durch das Auslesen der eindeutigen ID – im Vordergrund steht. Objektereignisse treten häufig an den Stellen im Prozess auf, wo das Objekt seinen Aufenthaltsort verändert, also etwa ein Reader-Gate zwischen zwei Lagerorten passiert (z. B. „Objekt X wurde zum Zeitpunkt t in das Produktionslager P eingelagert“).
- Das **Aggregationereignis** („Aggregation Event“) symbolisiert eine Aggregation (Zusammenfassung mehrerer Objekte zu einer Einheit) bzw. Disaggregation (Auflösung der Einheit in die elementaren Objekte) von logistischen Objekten (z. B. „Produkte X , Y , Z wurden zum Zeitpunkt t mit der Box B zu einer Einheit aggregiert“).
- Beim **Quantitätseignis** („Quantity Event“) wird die Anzahl der Instanzen einer bestimmten Objektklasse betrachtet. Hierbei ist lediglich die Klassen-ID – im Gegensatz zur Objekt-ID, die bei den drei anderen Ereignisarten erforderlich ist – von Interesse. Diese Ereignisart wird in der Regel bei der Erfassung von Lagerbeständen verwendet (z. B. „Zum Zeitpunkt t wurden 100 Einheiten des Produkts X im Lager L erfasst“).
- Das **Transaktionereignis** („Transaction Event“) beschreibt die Verknüpfung von Objekten mit Transaktionen (z. B. „Zum Zeitpunkt t wurden die Produkte X , Y , Z zum Auftrag A beim Händler eingeliefert“). In der Regel findet diese Ereignisart in Verbindung mit der Ereignisart Objektereignis statt.

Aufteilung der Systemkomponenten in drei Ebenen

Das Vorgehensmodell wird zusammen mit der dafür notwendigen Systemarchitektur vorgestellt. Die Systemkomponenten sind dabei in Anlehnung an ALT ET AL. (vgl. Alt et al. 2004, S. 40 ff.) in drei Ebenen eingeteilt (siehe Abbildung 5-2 in Anlehnung an Thiesse/Gross 2006, S. 181):

- Die **Infrastrukturebene** umfasst die Hardwarekomponenten der Systemarchitektur. Im Falle von RFID sind dies die Lesegeräte und Transponder.

- Die Middlewarekomponenten befinden sich auf der **Integrations-ebene**. Sie kommunizieren sowohl mit den Lesegeräten der Infrastruktur- als auch mit den Backendsystemen der Applikationsebene. Die Middleware teilt sich dabei wiederum in unterschiedliche Gruppen auf (bspw. bilden die Edgwarekomponenten eine Untergruppe).
- Auf der **Applikationsebene** befinden sich diverse Applikationskomponenten, die auf die von der Middleware weitergeleiteten Daten zugreifen.

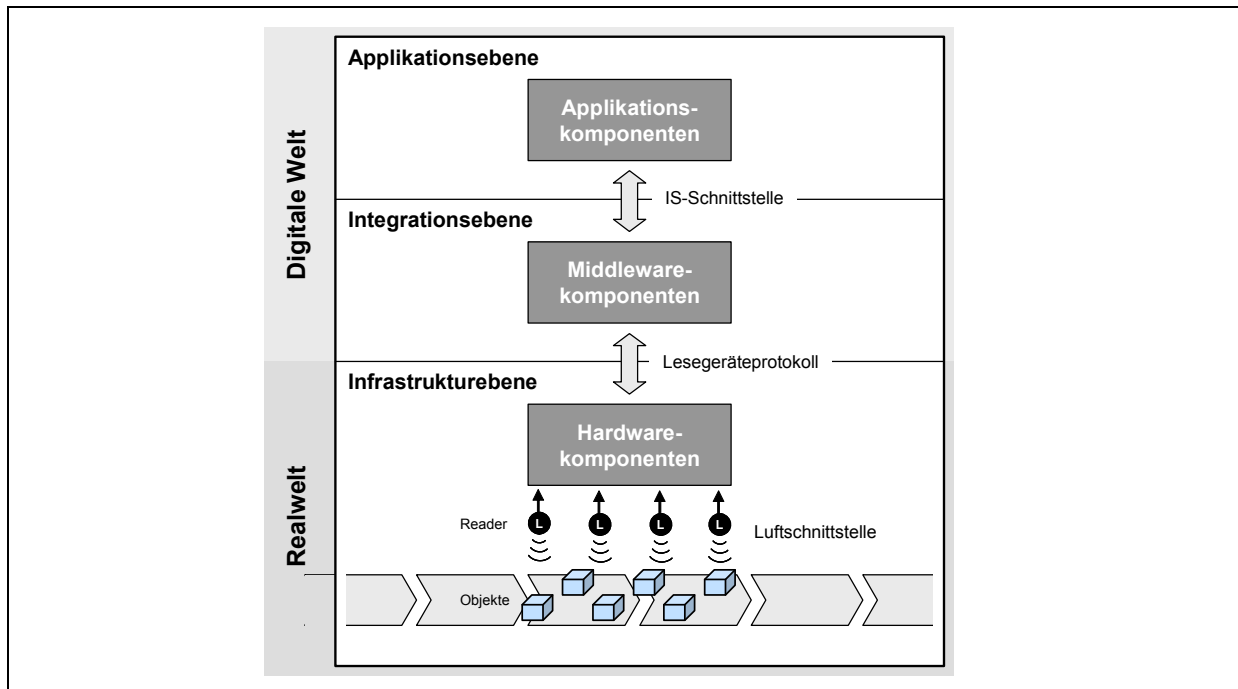


Abbildung 5-2: Architekturebenen eines RFID-Systems

Abbildung 5-3 bildet nun die Systemarchitektur des Vorgehensmodells zur RFID-Datenaufbereitung ab. Das Modell besteht aus drei Phasen: In der ersten Phase wird eine **Datenbereinigung** der durch Lesegeräte erfassten RFID-Daten durch die Edgware vorgenommen. Durch die Bereinigung soll zum einen gewährleistet werden, dass die nachfolgenden Phasen mit „sauberen“ Daten arbeiten (Modul „Datenfilterung“) und zum anderen die Datenmenge reduziert wird (Modul „Datenkomprimierung“). Das Ergebnis bilden aus den Rohdaten gewonnene primitive Ereignisse, die in die zweite Phase eingehen. In dieser wird eine **Datenaggregation und -auswertung** durch die zentrale Middlewarekomponente durchgeführt, indem die primitiven Ereignisse in komplexe Ereignisse mittels des *Complex Event Processing* (CEP)¹²² transformiert werden. Hierzu sind Transformationsregeln zu definieren und die RFID-Daten um relevante Kontextdaten zu ergänzen. Die primitiven und komplexen Ereignisse landen dabei einerseits in der Ereignisdatenbank, wo sie bei Bedarf für Abfragen durch Backend-Applikationen zur Verfügung stehen. Andererseits werden sie an das Modul „Ereignisnotifikation“ weitergeleitet, wo sie anschließend in der dritten Phase, der **Datenweiterleitung und -verwendung**, im Sinne des Supply

¹²² Das CEP-Konzept wird in Kapitel 5.2.3.3 näher erläutert.

Chain Event Managements (SCEM)¹²³ Warnfunktionen auslösen bzw. zur Entscheidungsunterstützung beitragen. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Methoden und Submodule der einzelnen Phasen detailliert erläutert.

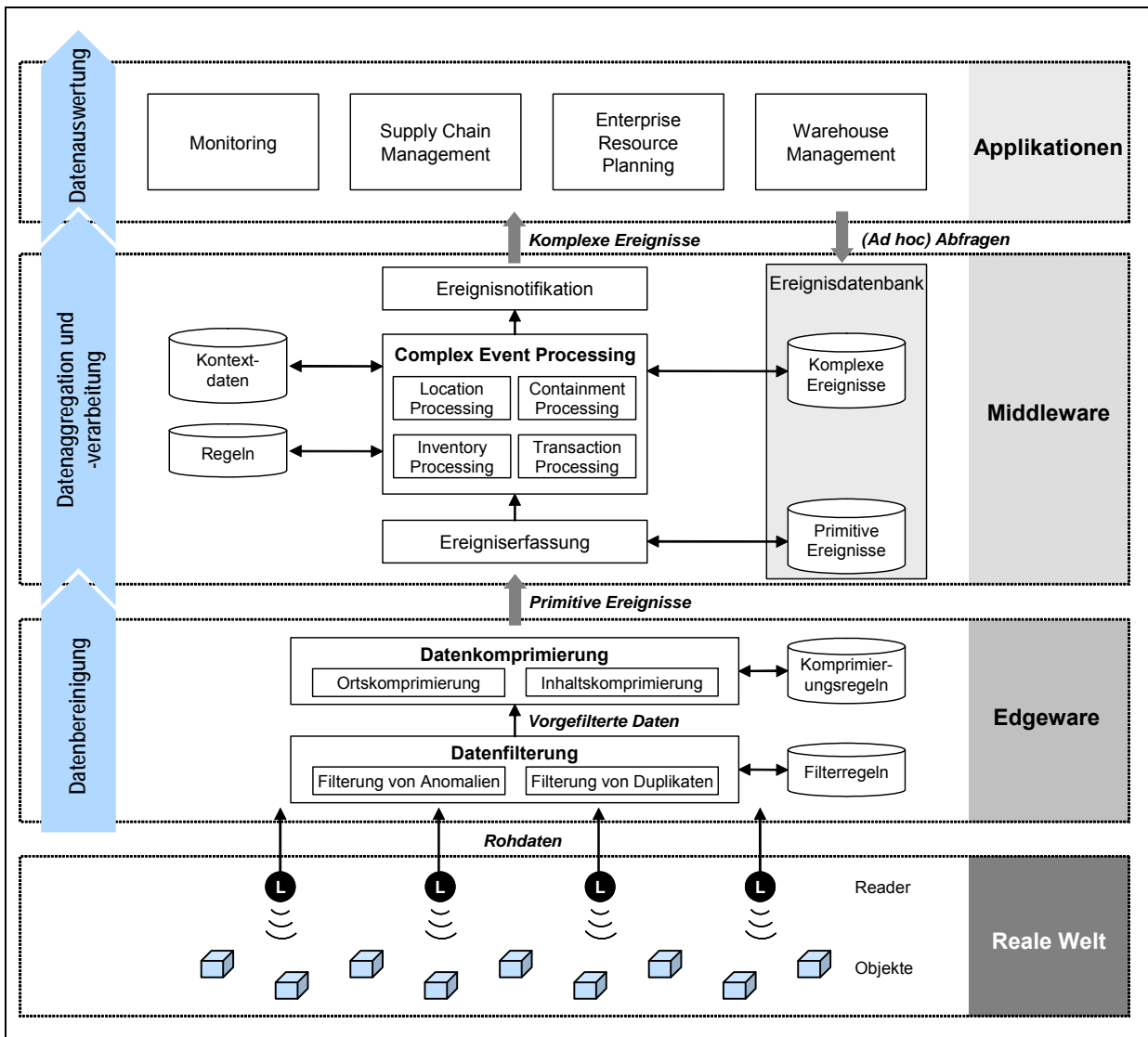


Abbildung 5-3: Idealtypische Systemarchitektur und Aufbereitungsschritte

5.2.3.2 Phase 1: Datenbereinigung

In Kapitel 2 wurde bereits dargestellt, dass es sich bei einer RFID-Lesung generell um ein Dreiertupel handelt. Die folgende Tabelle 5-6 zeigt eine exemplarische Liste mit erfassten Rohdaten für z. B. eine Palette, welche einen Teil der im Beispielszenario dargestellten Lieferkette – Erfassungspunkte beim Produzenten – durchläuft. Die Daten sind in dieser Form nicht aussagekräftig: Es existieren zum einen Leseanomalien (Datensatz Nr. 16 beinhaltet die Daten eines versehentlich erfassten Transponders, der zu einer anderen Palette gehört). Zum anderen enthält die Liste viele Duplikate (z. B. die Datensätze

¹²³ Auf das SCEM wird ebenfalls bei der Darstellung der relevanten Aufbereitungsschritte in Kapitel 5.2.3.3 eingegangen.

Nr. 3 bis 13). In der Realität ist die Komplexität solcher Listen aufgrund der Vielzahl an Produkten, die an den zahlreichen Erfassungspunkten häufig im Pulk gelesen werden, viel höher. Anhand dieses einfachen Beispiels wird jedoch bereits deutlich, dass die erfassten RFID-Daten in einem ersten Schritt gefiltert und komprimiert werden sollten, bevor eine weitere Aufbereitung erfolgt. Nachfolgend werden daher geeignete Konzepte in den beiden Bereichen Datenfilterung (Kapitel 5.2.3.2.1) und Datenkomprimierung (Kapitel 5.2.3.2.2) vorgestellt.

Nr.	Transponder-ID	Reader-ID	Timestamp
1	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E1	10/07/07 9:47
2	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E1	10/07/07 9:47
3	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E2	10/07/07 9:48
4	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E2	11/07/07 8:31
5	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E2	11/07/07 8:31
...
13	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E2	11/07/07 8:31
14	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E3	11/07/07 20:16
15	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E3	11/07/07 20:16
16	01.0184BB.0096A9.003033A5F	E4	11/07/07 20:16
17	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E4	11/07/07 20:16
18	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E4	12/07/07 20:17
...

Tabelle 5-6: Beispiel einer Liste mit erfassten RFID-Daten

5.2.3.2.1 Datenfilterung

Bei der Datenerfassung können in RFID-Systemen grundsätzlich folgende Probleme entstehen (vgl. Bai et al. 2006):

- **Negative Falschlesungen** treten auf, wenn ein sich im Lesebereich befindender Transponder nicht erfasst wird. Dies kann aufgrund von Kollisionen, Abschirmung oder Falschrichtung des Transponders geschehen. In aktuellen Pilotprojekten werden Leseraten (also der Anteil der Transponder, die sich im Lesebereich befinden und vom Reader auch erkannt werden) um 70 Prozent beobachtet (vgl. bspw. Sullivan 2005). Einer Studie von Wal-Mart zufolge wurden im Rahmen von praktischen Experimenten Leseraten von 90 Prozent auf Paletten- und Verpackungsebene, aber lediglich 66 Prozent auf Produktebene ermittelt (vgl. IDTechEx 2005).
- **Positive Falschlesungen** entstehen, wenn die Radiowelle eines entfernten Transponders versehentlich reflektiert wird. Dies führt zu unerwarteten Lesungen (sog. Störgeräuschen – „noise“).
- **Unvollständige bzw. falsche Daten** werden aufgrund von Störungen in der Datenübertragung erfasst. Die Ursachen dafür können zum einen Umgebungseinflüsse (Metall, Wasser), aber auch sich schnell bewegende Transponder sein.
- **Duplikate** entstehen, wenn mehrmals die gleichen Daten ausgelesen werden.

Abbildung 5-4 verdeutlicht die potenziellen Leseanomalien und Duplikate im RFID-Umfeld anhand einer Grafik. Dieser Abschnitt wird im Folgenden in zwei Aufgabenbereiche aufgeteilt, die jeweils ein unterschiedliches Ziel verfolgen: Die Filterung von Leseanomalien nimmt sich der fehlerhaften Daten (negative und positive Falschlesungen sowie Duplikate) an, während die Filterung von Duplikaten korrekte, aber redundante Datensätze beseitigt.

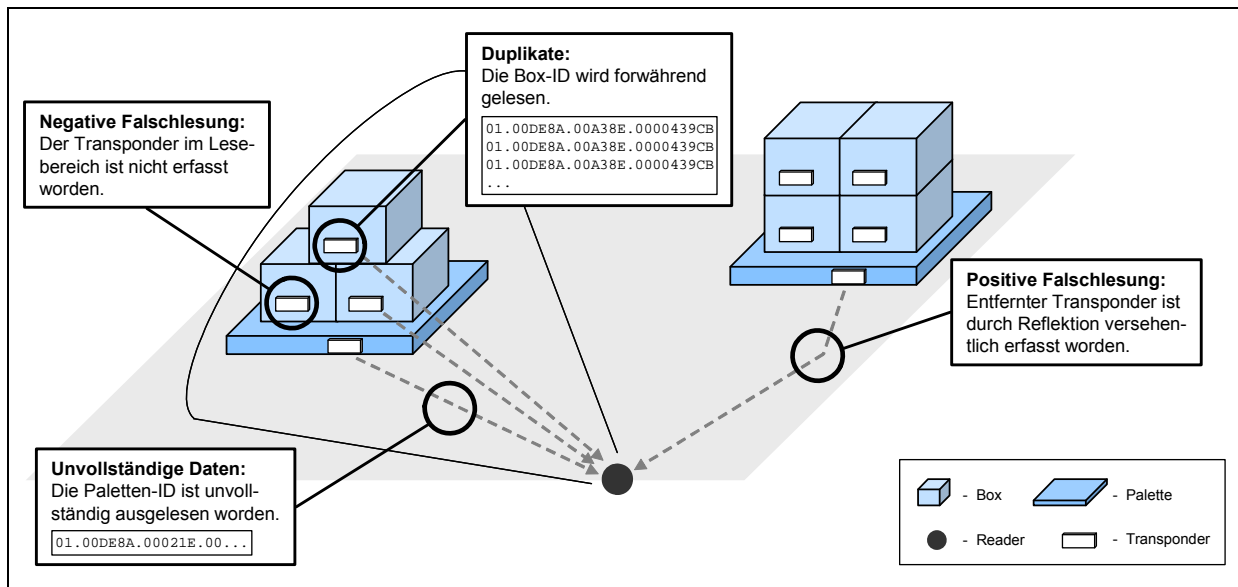


Abbildung 5-4: Leseanomalien und Duplikate im RFID-Umfeld

Filterung von Leseanomalien

Um die Anzahl der negativen Falschlesungen zu reduzieren, sollten mehrere Lesevorgänge an einem Objekt durchgeführt werden: Mit jedem zusätzlichen Lesevorgang steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Transponder im Lesefeld erkannt werden. Allerdings steigt mit dieser Maßnahme zum einen die Wahrscheinlichkeit positiver Falschlesungen. Diese treten jedoch vergleichsweise selten auf und können mit simplen Methoden¹²⁴ gefiltert werden. Zum anderen führt diese Vorgehensweise auch zum Anstieg der Duplikate (dieser Umstand führt zu wiederholten Einträgen in Tabelle 5-6) und verlangt nach geeigneten Methoden zur Reduzierung der Datenmenge.

Allgemein ist die Wahl des adäquaten Zeitfensters, welches die Anzahl der Lesevorgänge definiert, also problematisch (die Auswirkungen der Änderung des Zeitfensters sind in Abbildung 5-5 veranschaulicht). Ein zu großes Zeitfenster führt neben den schon erläuterten Problemen auch dazu, dass nicht alle Ereignisse erfasst werden können und somit keine detaillierte Abbildung der tatsächlichen Objektbewegungen möglich ist. In dynamischen Umgebungen, bei denen die logistischen Objekte permanent den Aufenthaltsort wechseln, sollten daher eher kürzere Lesezyklen stattfinden. Ein zu kleines Zeitfenster

¹²⁴ Diese Methoden basieren auf der Definition primitiver Ereignisse – es werden nur Lesungen mit einer signifikanten Wiederholungsrate in einem bestimmten Leseintervall berücksichtigt – und werden im Kapitel 5.2.3.2.1 ausführlicher behandelt.

zieht jedoch eine Vielzahl negativer Falschlesungen nach sich, die – nicht zuletzt aufgrund der höheren Eintrittswahrscheinlichkeit – in ihrer Wirkung verheerender als positive Falschlesungen sind.

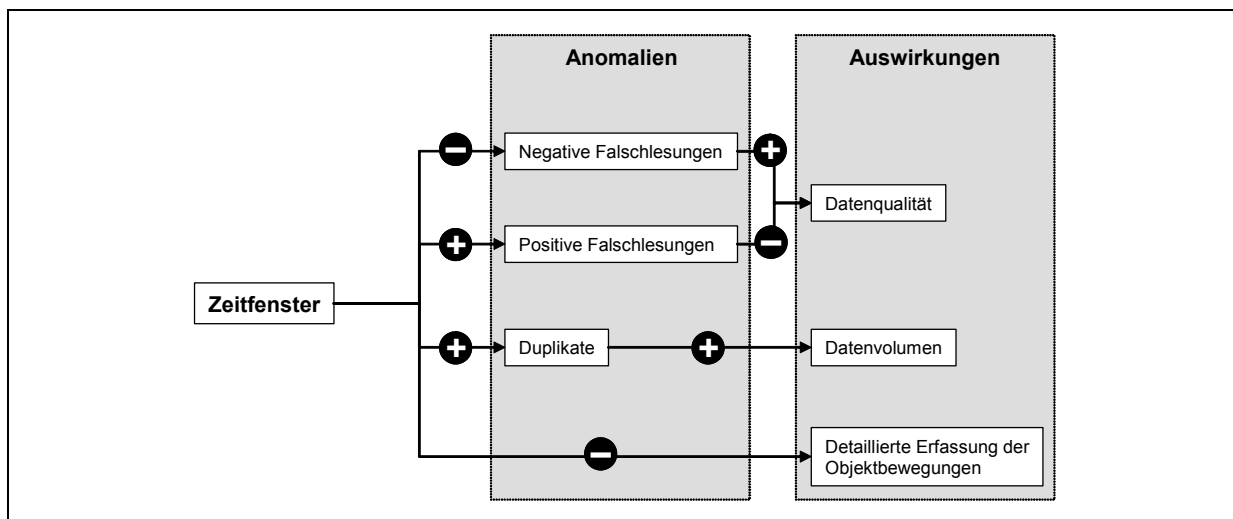


Abbildung 5-5: Auswirkungen der Wahl des Zeitfensters

Die unterschiedlichen Zeitfenster und Konsequenzen für die Erfassung eines Transponders sollen plastisch an einem Beispiel verdeutlicht werden (siehe Abbildung 5-6, in Anlehnung an Jeffery et al. 2006a). In dem Beispiel befindet sich das logistische Objekt in der Realität zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 sowie t_3 und t_4 im Lesefeld des Readers (oberste Balken). Zu dem Zeitpunkt t_2 wird es bspw. aus dem Regal entnommen und in t_3 wieder zurückgelegt. Die nächsten Balken in der Zeile „Rohe Lesungen“ verdeutlichen, dass das Objekt aufgrund von physikalischen Einflüssen vom Reader nicht permanent erfasst wird. Bei der Wahl eines kleinen Zeitfensters (angedeutet mit gestrichelten Pfeilen) kommt es nun zwischen t_1 und t_2 zu einer negativen Falschlesung sowie später teilweise zu geringfügigen positiven Falschlesungen. Bei einem großen Zeitfenster kommt es zu nicht erfassten Bewegungen, insbesondere zur signifikanten positiven Falschlesung im Bereich zwischen t_2 und t_3 , wodurch die Regalentnahme des Objekts im System nicht abgebildet wird.

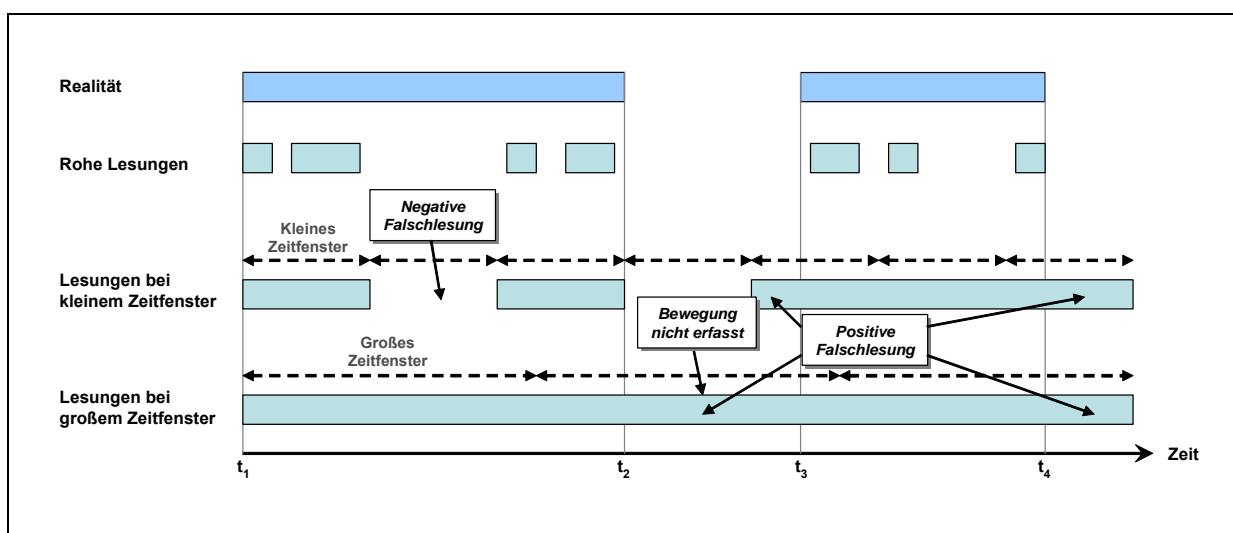


Abbildung 5-6: Beispiel für unterschiedliche Zeitfenster

Kleines vs. großes Zeitfenster in der Praxis

Ein kleines Zeitfenster bietet sich in denjenigen Fällen an, wo erstens jede einzelne Objektbewegung für den Informationskonsumenten wichtig ist und zweitens eine dynamische Umgebung vorliegt, in der eine Vielzahl von Objektbewegungen stattfindet. Ein Beispiel hierfür bildet die Installation von RFID-Lesegeräten in den Regalen auf der Verkaufsfläche zur Unterstützung von Empfehlensystemen (Recommender Systems) (vgl. Kim et al. 2008b). Solch innovative Empfehlensysteme sind an Informationen zu Regalentnahmen interessiert (welche Produkte werden vom Kunden häufig in die Hand genommen, aber selten gekauft, also häufig ins Regal zurückgelegt?) und benötigen daher feingranulare Daten zu den Objektbewegungen. Auf der anderen Seite bieten sich große Zeitfenster an, wenn nicht alle Objektbewegungen von Relevanz sind und eine eher statische Umgebung vorliegt. Dies kann bspw. in einem Lager der Fall sein, wo nicht jede Palettenbewegung genau nachverfolgt werden muss, sondern lediglich die Information, ob die Palette das Lager erreicht bzw. verlassen hat, von Interesse ist.

Um eine weitere Reduktion der Falschlesungen zu erreichen, können zusätzlich zur Verfügung stehende Daten Berücksichtigung finden. Wie bereits angedeutet wurde, bewegen sich logistische Objekte häufig im Pulk. In der Regel kann also davon ausgegangen werden, dass sich mehr als ein Objekt eines bestimmten Typs – und somit mehr als ein Transponder – gleichzeitig im Lesebereich des Readers befindet. Diese Eigenschaft kann genutzt werden, um die Effektivität der Lesungen zu steigern: Wird bspw. ein Produkt nicht erfasst, während andere Produkte, die zur gleichen übergreifenden Einheit (etwa einer Box) gehören, gelesen werden, kann daraus gefolgert werden, dass eine negative Falschlesung vorliegt. Erst bei einer signifikanten Wiederholrate sollte angenommen werden, dass das Produkt tatsächlich nicht mehr vorhanden ist (weil es z. B. aus der Box entnommen wurde). Tu und PIRAMUTHU (2008) haben einen entsprechenden Algorithmus getestet und nachgewiesen, dass auf diese Weise die Anzahl der Falschlesungen verringert werden kann. Die Autoren haben drei Algorithmen verglichen, wobei von zwei Readern R_1 und R_2 sowie zwei mit Transpondern ausgestatteten Objekten O_1 und O_2 ausgegangen worden ist (vgl. Abbildung 5-7):

- Algorithmus A: Dieser Algorithmus berücksichtigt nur die Lesungen des Objektes O_1 . Dieses wird erkannt, wenn beide Reader es erfassen. Wenn einer der Reader bzw. beide Reader das Objekt nicht erfassen, wird es als „nicht vorhanden“ gekennzeichnet.
- Algorithmus B: Dieser Algorithmus funktioniert wie A, jedoch wird nun ein gleitendes Zeitfenster von 15 Lesungen zur Beurteilung, ob sich Objekt O_1 im Lesefeld befindet, herangezogen. Gibt es in diesem Zeitfenster mehr positive als negative Lesungen, wird die Präsenz des Objekts bestätigt.
- Algorithmus C: Anders als A und B, nutzt dieser Algorithmus auch die Information über das Objekt O_2 , um Rückschlüsse auf das Objekt O_1 zu ziehen. Wird O_1 nur von einem Reader erkannt, prüft der Algorithmus, ob O_2 von einem der Reader erkannt worden ist. Falls ja, wird angenommen, dass sich O_1 auch im Lesefeld befindet. Ansonsten wird O_1 als „nicht vorhanden“ gekennzeichnet.

Die Ergebnisse der Tests von TU und PIRAMUTHU (2008, S. 64 ff., Details zum TestszENARIO finden sich in Abbildung 5-7) zeigen, dass die Variante mit der Berücksichtigung weiterer Lesungen (Algorithmus C) sich durch die niedrigste Anzahl von Falschlesungen auszeichnet (in Klammern ist jeweils die Standardabweichung angegeben).¹²⁵ Dementsprechend sind bei der Datenfilterung Kontextdaten über den Verbleib ähnlicher Objekte heranzuziehen, um den Anteil falscher Lesungen, die an die Middleware weitergeleitet werden, zu reduzieren.

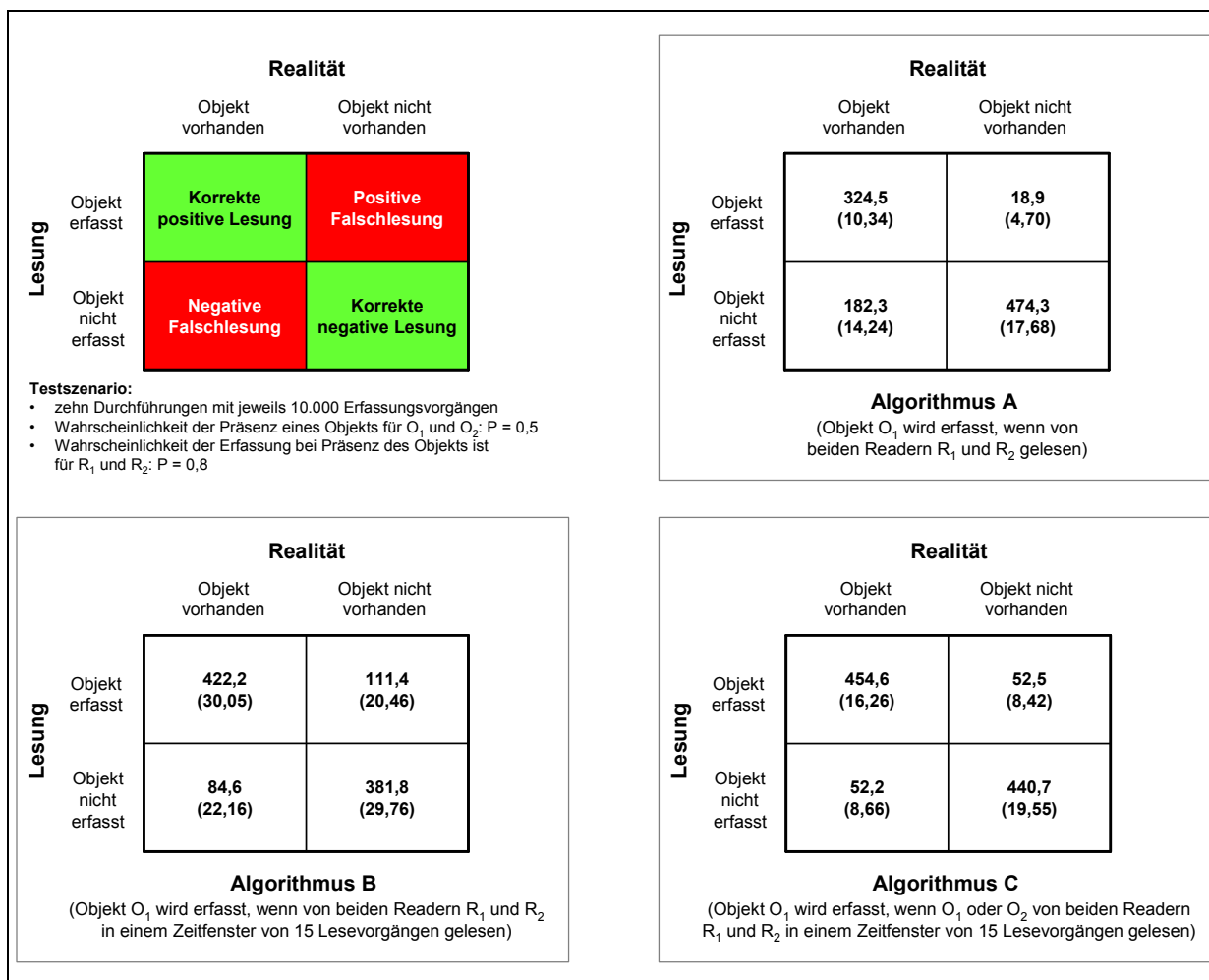


Abbildung 5-7: Ergebnisse der drei Algorithmen im Hinblick auf Falschlesungen

Filterung von Duplikaten

Die Daten sollten nach der Filterung von Leseanomalien keine Fehler mehr enthalten. Es befinden sich jedoch noch redundante Datensätze im Edgware-System, die vor der Weiterleitung an die Komponente Datenkomprimierung eliminiert werden sollten. Duplikate können dabei grundlegend auf dreierlei Ursachen zurückgeführt werden:

¹²⁵ Allerdings ist hierbei die Anzahl der positiven Falschlesungen höher als bei dem einfachen Algorithmus A. Dies resultiert aus dem Einsatz des höheren Zeitfensters, dessen Konsequenz eingangs in diesem Kapitel im Detail beschrieben wurde.

- (1) Der Transponder befindet sich für eine längere Zeit im Sichtfeld des Lesegerätes und wird in mehreren Zyklen gelesen. Dies ist die häufigste Ursache der Generierung von redundanten Daten und tritt insbesondere bei der Nutzung von Regallesern, die den Produktbestand überwachen, auf. Dies wurde bereits in der Berechnung des Datenvolumens in Kapitel 5.2.1 verdeutlicht.
- (2) Es werden mehrere Lesegeräte eingesetzt, wobei es Überschneidungen im Lesebereich gibt.
- (3) Es werden mehrere Transponder an dem gleichen Objekt angebracht, um die Leserate zu erhöhen (sog. Multi-Tag RFID).

Multi-Tag RFID

In der Literatur wird vorgeschlagen, zur Erhöhung der Leseraten in schwierigen Umgebungen (Metalle/Flüssigkeiten) mehrere Transponder an einem logistischen Objekt zu befestigen (vgl. Bolotnyy/Robins 2009). In praktischen Experimenten konnte bereits gezeigt werden, dass eine Erhöhung der Transponderanzahl pro Objekt stärker als die Installation zusätzlicher Reader die Zuverlässigkeit der Lesungen erhöht: „[...] we can see a dramatic double-digit improvement from adding a second tag to each object, and only a low single-digit improvement from adding a second reader“ (Bolotnyy et al. 2007, S. 104). Problematisch sind jedoch nach wie vor die Transponderpreise, die häufig den Einsatz solcher Multi-Tag RFID-Systeme nicht wirtschaftlich sinnvoll erscheinen lassen.

Die Ursachen (1) und (3) führen zu dem gleichen Phänomen: Es werden redundante Datensätze durch den Einsatz *eines* Lesegerätes erzeugt (Redundanz auf Datenebene). In der Regel sind dabei der erste (wann ist der Transponder zum ersten Mal gesichtet worden?) und letzte (wann hat der Transponder den Lesebereich verlassen?) Datensatz von Interesse. Im Allgemeinen sollten Lesegeräte Daten also nur dann an die Middleware weiterleiten, wenn durch diese Daten zusätzliche Informationen generiert werden können. Befinden sich Objekte also für eine längere Zeit im Sichtfeld eines Lesegerätes, werden fortwährend die gleichen Daten ausgelesen. Für den Anwender sind jedoch Informationen von Interesse darüber, wann bspw. das Objekt einen Ortswechsel vollzieht. Alle Lesungen, die zwischen diesen beiden Ereignissen (Events) auftreten, sind redundant, weil sie keine neuen Informationen über den Zustand des Objekts liefern. In dem Beispielszenario erlangt dieses Prinzip eine besondere Bedeutung bei den Lesungen im Regalbereich des Einzelhändlers („Smart Shelves“, E24 im Beispielszenario). In bestimmten Zeitintervallen werden hierbei permanent redundante Daten gelesen, wobei nur die Änderungen des Objektzustandes (z. B. „Produkt im Regal vorhanden“ und „Produkt nicht im Regal vorhanden“) an die nachgelagerten Stufen weitergeleitet werden sollten.

Zur Definition grundlegender RFID-Ereignisse soll ein einfaches Schema in Anlehnung an den von CHEONG und KIM entwickelten Ansatz vorgeschlagen werden (vgl. Cheong/Kim 2005, S. 562 f.). Das Schema beinhaltet die Zustände „Objekt erkannt“, „Objekt erfasst“ und „Objekt verschwunden“ sowie die dazugehörigen Ereignisse (siehe Abbildung 5-8). Je nach Anwendungsfall kann das Eintreten des Ereignisses „Objekt erfasst“ unterschiedlich definiert werden. Beispielsweise tritt dieses Ereignis nur dann ein, wenn eine bestimmte Anzahl Lesezyklen durchlaufen wird und sich das Objekt stets im Lesefeld befindet. Ansonsten wird davon ausgegangen, dass es sich um eine falsche Lesung handelt

(etwa aufgrund der versehentlich reflektierten Radiowelle eines entfernten Transponders) und es wird lediglich das Ereignis „Objekt erkannt“ ausgelöst. Im dargestellten Beispiel wird erst bei zwei konsekutiven positiven Lesungen ($Anzahl_Lesezyklen > 1$) ein Objekt als erkannt deklariert. Wird bei einem der weiteren Lesezyklen das Objekt nicht mehr identifiziert ($Anzahl_Lesezyklen(t) = Anzahl_Lesezyklen(t-1)$), erhält es den Status „Objekt verschwunden“.

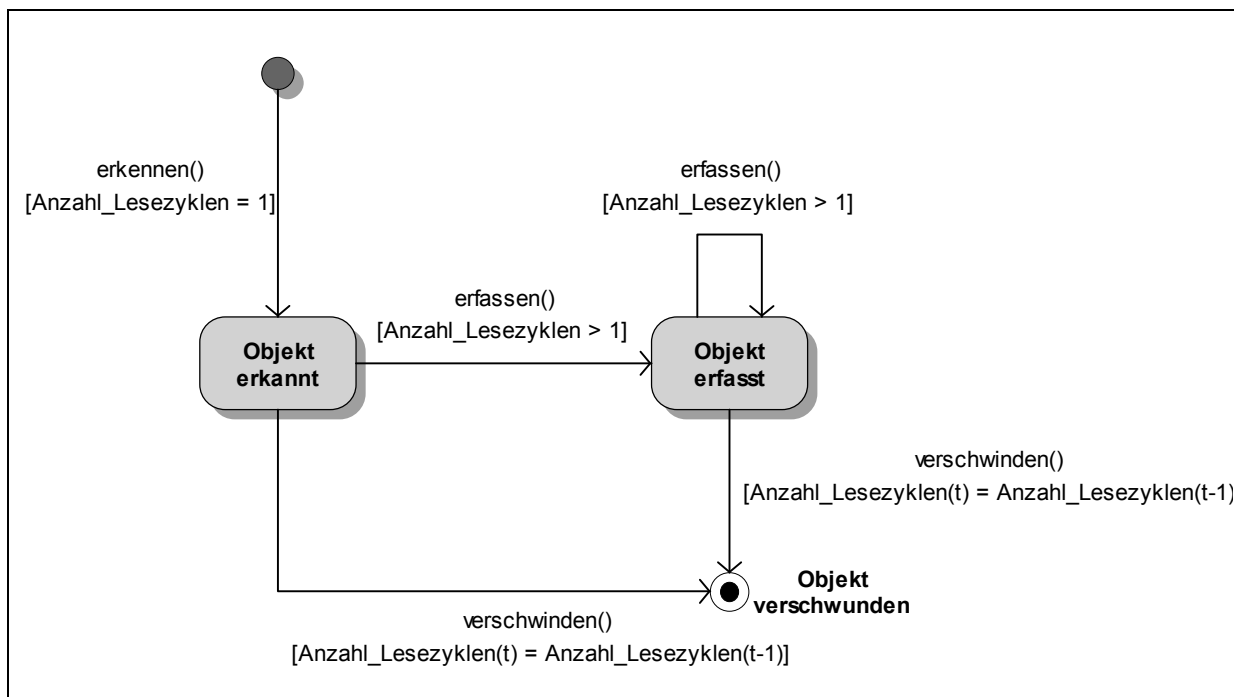


Abbildung 5-8: Beispiel für grundlegende Zustände und Ereignisse in RFID-Systemen

An die nachgelagerte Stufe sollten nur die beiden primitiven Ereignisse weitergeleitet werden, die zum Zustand „Objekt erfasst“ und „Objekt verschwunden“ führen. Alle weiteren Lesungen werden verworfen. Als Ergebnis dieser Datentransformation wird eine Liste mit den eingetretenen Ereignissen generiert, die keine redundanten Lesungen enthält (siehe Tabelle 5-7).

Nr.	Transponder-ID	Reader-ID	timestamp	Ereignis
1	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E1	10/07/07 9:47	erfasst
2	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E1	10/07/07 9:48	verschwunden
3	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E2	11/07/07 8:31	erfasst
4	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E2	11/07/07 8:31	verschwunden
5	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E3	11/07/07 20:16	erfasst
6	01.0184BB.0096A9.003033A5F	E3	11/07/07 20:16	erkannt
8	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E3	12/07/07 20:16	verschwunden
9	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E4	12/07/07 20:17	erfasst
10	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E4	12/07/07 20:18	verschwunden
...

Tabelle 5-7: Beispiel einer Liste mit Ereignissen nach Filterung von Duplikaten

Anstatt die Ereignisse „Objekt erfasst“ und „Objekt verschwunden“ einzeln aufzufassen, sollte eine letzte Transformation erfolgen – die Zusammenfassung dieser beiden Ereignisse zu einem einzigen Passier-Ereignis. Damit könnten die doppelten Datensätze (jeweils eine Lesung zum Eintrittszeitpunkt und eine weitere zum Austrittszeitpunkt des Objektes) als ein Ereignis bestehend aus dem Vierertupel Transponder-ID, Reader-ID, Eintritts- und Austrittszeitpunkt des Transponders (*time_in*, *time_out*) aufgefasst werden (siehe Tabelle 5-8). Dieser Aufbereitungsschritt hat somit eine weitere Reduzierung der Datensätze um die Hälfte zur Folge.

Nr.	Transponder-ID	Reader-ID	time_in	time_out
1	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E1	10/07/07 9:47	10/07/07 9:48
2	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E2	11/07/07 8:31	11/07/07 8:31
3	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E3	11/07/07 20:16	11/07/07 20:16
4	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E4	11/07/07 20:17	12/07/07 20:18
5	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E5	12/07/07 08:24	12/07/07 08:26
6	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E6	12/07/07 08:45	12/07/07 23:58
7	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E7	12/07/07 09:42	12/07/07 09:42
8	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E8	12/07/07 09:50	13/07/07 12:53
9	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E9	13/07/07 12:59	13/07/07 12:59
10	01.00DE8A.00A38E.0000439CB	E10	13/07/07 13:19	NULL

Tabelle 5-8: Beispiel einer Liste mit Passier-Ereignissen¹²⁶

Bei der Ursache (2) entstehen die redundanten Lesungen durch den Einsatz *multipler* Lesegeräte (Redundanz auf Lesegeräte-Ebene). Solche Szenarien sind nicht unüblich: Um die Leserate zu erhöhen sowie einem eventuellen Hardware-Ausfall vorzubeugen, werden häufig mehrere Lesegeräte eingesetzt, die einen bestimmten Bereich abdecken.¹²⁷ Die redundanten Daten könnten wiederum durch geeignete Komprimierungsverfahren, wie sie für die Filterung von Duplikaten bei der Redundanz auf Datenebene vorgestellt worden sind, gefiltert werden. Viel eleganter und insbesondere effizienter, da es die Entstehung von Duplikaten verhindert, ist jedoch eine Lösung des Problems auf der Lesegeräte-Ebene. Hierzu haben CARBUNAR ET AL. (2005) einen Algorithmus entwickelt, der redundante Lesegeräte identifiziert und temporär abschaltet. Der RRE-Algorithmus (Redundant-Reader-Elimination) ermittelt dabei in einem ersten Schritt die Anzahl der Transponder, die sich im Bereich der jeweiligen Lesegeräte befinden. Die Anzahl der Transponder wird anschließend gemeinsam mit der Reader-ID auf die Transponder geschrieben. Jeder Transponder speichert dabei nur die Anzahl und ID des Lesegerätes mit der höchsten Anzahl an Transpondern im Lesebereich, wobei dieses Lesegerät als der „Besitzer“ dieses Transponders deklariert wird. Im zweiten Schritt fragt der Algorithmus den „Besitzer“ für jeden Transponder ab: Lesegeräte, die keinen Transponder „besitzen“, werden dabei temporär abgeschaltet. Für die in Abbildung 5-9 dargestellte Situation (Monitoring des Inhalts von Lagerregalen) würde das Lesegerät L3 temporär abgeschaltet werden, da der Transponder T1 Lesegerät L1, die Transponder T2 bis T4 Lesegerät L2 und der Transponder T5 Lesegerät L4 zugeordnet sind.

¹²⁶ Da sich in dem Beispiel das Objekt noch im Warenausgang befindet, ist der Wert für den Austrittszeitpunkt mit „NULL“ belegt.

¹²⁷ Zum Thema „RFID dense reader environment“ vgl. Kapitel 3.2.1.

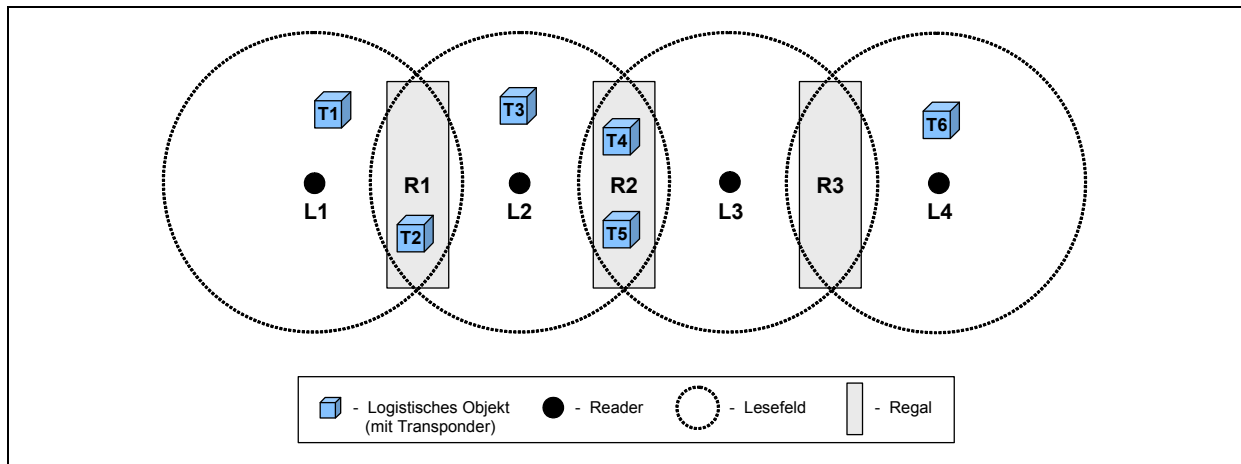


Abbildung 5-9: Beispielszenario für den Einsatz multipler Lesegeräte

Problematisch bei diesem Algorithmus ist zum einen die Tatsache, dass Informationen auf den Transponder geschrieben werden. Beim Einsatz von kostengünstigen Transpondern, die lediglich ihre ID speichern und nicht wiederbeschrieben werden können, ist die Anwendung des Verfahrens deshalb nicht möglich. Einen Ausweg könnte hier die Speicherung der Transponder-Anzahl im Cache-Speicher der Edgware-Komponente bieten, wobei dies wiederum zusätzliches Datenvolumen generieren würde. Zum anderen wird für den Algorithmus eine statische Umgebung vorausgesetzt. Diese ist zwar für Lesegeräte in der Regel vorhanden (insbesondere bei stationären Readern), jedoch nicht immer für die Transponder gewährleistet (diese tauchen häufig in unterschiedlichen Bereichen des Lesefelds auf). Um dieses Problem zu umgehen, sollten in regelmäßigen Abständen alle Lesegeräte reaktiviert und der RRE-Algorithmus erneut ausgeführt werden.

Der Einsatz multipler Lesegeräte führt zu einer weiteren Herausforderung für das Datenmanagement: Wird ein Transponder von mehreren Lesegeräten gleichzeitig erkannt, muss der genaue Aufenthaltsort des Objekts bestimmt werden. In dem in Abbildung 5-9 dargestellten Szenario stellt sich also die Frage, in welchem Regal die erfassten logistischen Objekte eingelagert sind. Z. B. befinden sich in dem Lesefeld des Lesegerätes L2 die Regale R1 und R2 und eine Zuteilung der relevanten Objekte (T2 bis T4) ist auf Basis der erfassten Daten dieses Lesegerätes nicht möglich. Hierbei können auf der Mengentheorie basierende Algorithmen (vgl. Pupuwiwat 2007) angewendet werden, um den genauen Aufenthaltsort zu bestimmen. Hierfür ist die Betrachtung von Schnitt- und Differenzmengen von Relevanz (siehe Tabelle 5-9).

Begriff	Symbol	Definition
Schnittmenge (A und B)	\cap	$A \cap B := \{ x \mid (x \in A) \wedge (x \in B) \}$
Differenzmenge (A ohne B)	\setminus	$A \setminus B := \{ x \mid (x \in A) \wedge (x \notin B) \}$

Tabelle 5-9: Relevante Definitionen aus der Mengenlehre¹²⁸

Die im Regal R1 eingelagerten Objekte bilden bspw. die Schnittmenge der von den Lesegeräten L1 und L2 erfassten Objekte (im Beispiel trifft dies auf T2 zu):

$$R1 = \text{Lesegerät } L1 \cap \text{Lesegerät } L2 \quad (1)$$

Analog zu (1) werden Objekte Regal 2 zugeordnet, wenn sie in der Schnittmenge der Lesegeräte L2 und L3 auftauchen:

$$\text{Regal } R2 = \text{Lesegerät } L2 \cap \text{Lesegerät } L3 \quad (2)$$

Schließlich können alle Objekte, die von Lesegerät L2 erfasst, jedoch sowohl von Lesegerät L1 und L3 nicht erfasst wurden, der Fläche zwischen den Regalen R1 und R2 zugeordnet werden und bspw. den Status „Einlagerung in R1 oder R2“ erhalten:

$$\begin{aligned} \text{Einlagerung in } R1 \text{ oder } R2 = & (\text{Lesegerät } L2 \setminus \text{Lesegerät } L1) \wedge \\ & (\text{Lesegerät } L2 \setminus \text{Lesegerät } L3) \end{aligned} \quad (3)$$

Auf diese Weise kann eine eindeutige Zuordnung von Objekten zu Geschäftslokationen gewährleistet werden.

5.2.3.2.2 Datenkomprimierung

Diese Phase der Datenbereinigung arbeitet nun mit fehler- und redundanzfreien Daten. Vor der Weiterleitung an die Middleware sollten im Sinne des ersten Prinzips („Vorverarbeitung nah an der Quelle“, vgl. Kapitel 5.2.2) noch weitere Möglichkeiten der Datenreduktion geprüft werden. Nachfolgend werden diesbezüglich zwei Komponenten eingeführt, die eine sinnvolle Komprimierung der Daten vornehmen.

Ortskomprimierung

Logistische Objekte werden auf ihrem Weg durch die Lieferkette in dem Beispielszenario an 27 Erfassungspunkten identifiziert. Die einzelnen Erfassungspunkte bestehen häufig – wie bereits in dem vorherigen Abschnitt angedeutet – aus mehreren Lesegeräten. Die hierarchisch strukturierten Ortsinformationen (siehe Abbildung 5-10) bieten dabei einen Ansatzpunkt zur Komprimierung der Daten. Die ersten Stufen der potenziellen Komprimierung wurden bereits bei der Datenfilterung erläutert: Aus Rohlesungen wurden Ereignisse, die anschließend zu Passiervorgängen verdichtet werden konnten. Weitere Möglichkeiten der Generalisierung ergeben sich, wenn nun die Lesegeräte zu sog. virtuellen Readern zusammengefasst werden. Der virtuelle Reader wird von einer Edgware-Komponente verwaltet und bildet einen bestimmten Bereich ab (z. B. die Lagerfläche). Virtuelle Reader können weiterhin zu einem

¹²⁸ Als vertiefende Quelle zum Thema Mengenlehre siehe EBBINGHAUS (2003).

Unternehmensbereich und schließlich mehrere Unternehmensbereiche zu einer Organisation verdichtet werden.

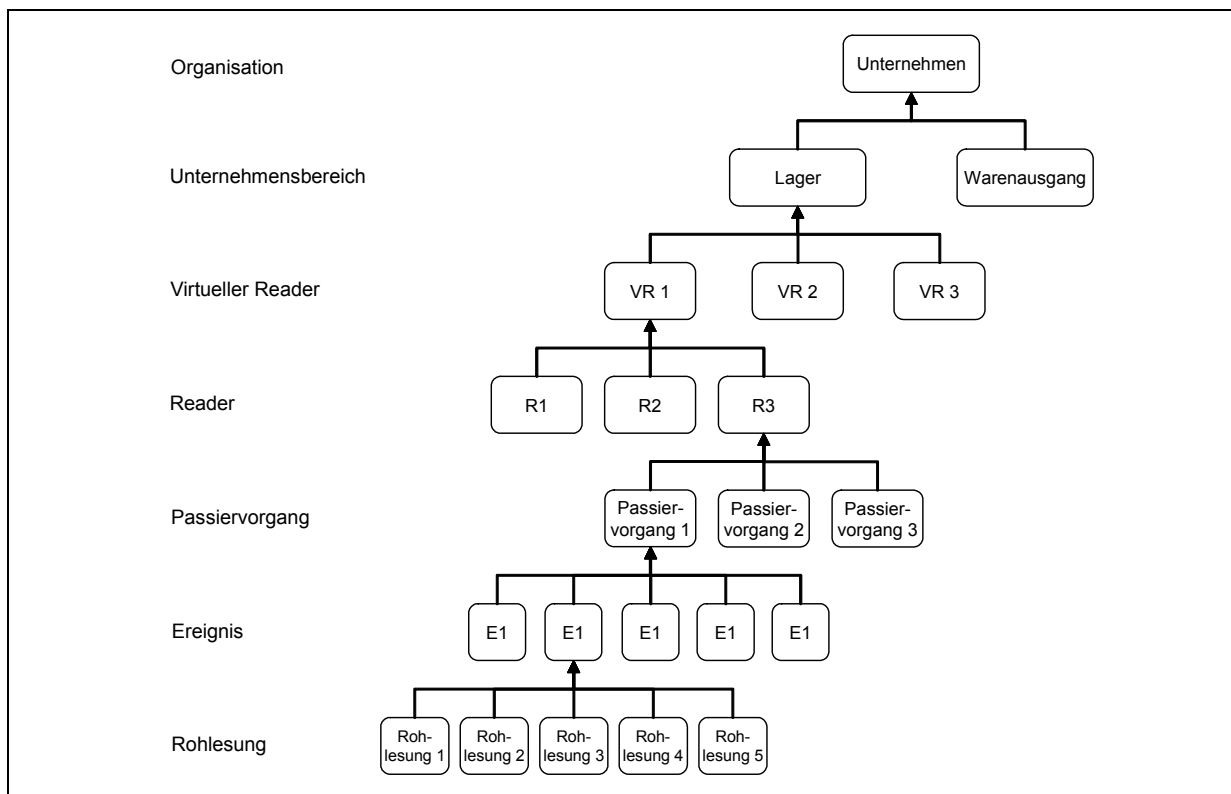


Abbildung 5-10: Generalisierungsebenen von Ortsinformationen

Die RFID-Daten können nun entsprechend der geforderten Ortsgranularität verdichtet werden. Überwachen bspw. mehrere Reader in einer Smart Shelf-Anwendung ein Verkaufsregal, so kann in der Regel auf die Information, an welcher Stelle des Regals das Produkt genau positioniert ist, verzichtet werden. Es ist vielmehr von Interesse, ob sich ein bestimmtes Produkt in einem bestimmten Regal befindet oder nicht. Somit können die Erfassungen der einzelnen Lesegeräte zu einer einzigen Erfassung auf der Ebene „Virtueller Reader“ verdichtet werden.

Inhaltskomprimierung

Für eine effiziente Datenreduktion kann die Eigenschaft herangezogen werden, dass logistische Objekte häufig im Pulk transportiert werden (vgl. Gonzales et al. 2006a, S. 3 f.; Cocci et al. 2007, S. 4 f.). Objektbewegungen auf Produktebene müssen daher nur in den frühen Stufen beim Produzenten – im Beispielszenario in der Produktion (E1) sowie Qualitätskontrolle (E3) – und der letzten Stufe des Händlers – im Beispielszenario auf der Verkaufsfläche (E23 bis E27) – abgebildet werden. Ansonsten kann die Abbildung der Materialflüsse vorwiegend auf der Verpackungs- bzw. Palettenebene und vereinzelt auch auf höheren Ebenen, wie hier im Beispiel auf LKW-Ebene im Falle des zwischenbetrieblichen Transports, erfolgen (siehe Abbildung 5-11).

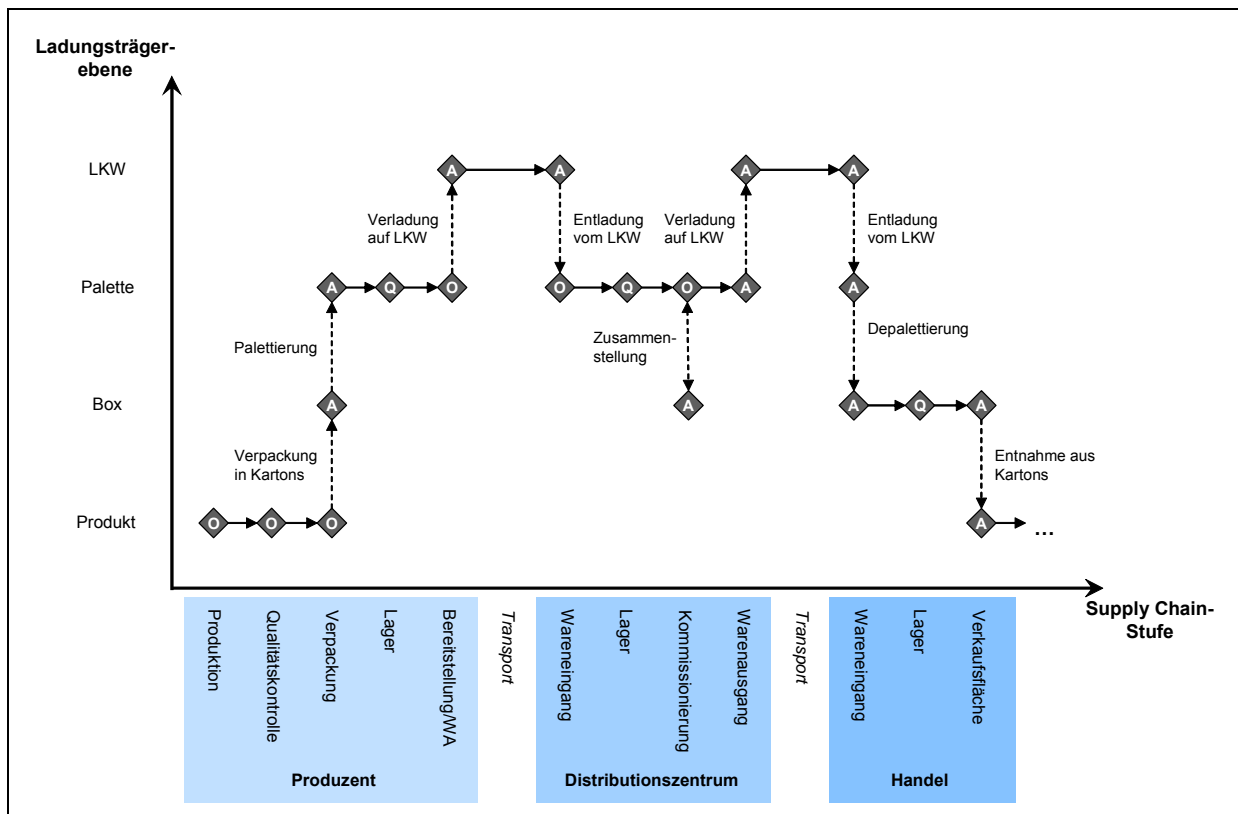


Abbildung 5-11: Unterschiedliche Ladungsträgerebenen im Beispielszenario

Um beide Konzepte zur Datenkomprimierung anwenden zu können, müssen in der Regel die Hierarchie der logistischen Entitäten sowie die Ortsinformationen im System abgebildet werden. An dedizierten Erfassungspunkten sollte festgelegt werden, dass sich z. B. die Inhaltsbeziehung zwischen Objekten ändert. In dem Beispielszenario sollte bspw. am Erfassungspunkt E5 die Aggregation von Produkten zu einer Box und am Leseort E19 eine Disaggregation von Boxen und der dazugehörigen Palette vorgenommen werden. Bei der Aggregation muss dabei gewährleistet werden, dass sich zum Zeitpunkt der Zusammenfassung von untergeordneten Objekten (z. B. Produkten) zu einem übergeordneten Objekt (z. B. Box) jeweils nur die relevanten Objekte im Lesefeld befinden. Werden bspw. vom Lesegerät zwei Boxen erfasst, ist eine eindeutige Zuordnung der Produkte zu diesen nicht möglich. Um dieses Problem zu adressieren, erscheint es demnach sinnvoll, ein Zeitfenster für Aggregationsvorgänge zu deklarieren und alle in dieser Zeit erfassten Objekte zusammenzufassen. Erfolgt die Aggregation automatisiert, etwa am Ende der Fließbandfertigung, ist die Einhaltung des vorgegebenen Zeitfensters unproblematisch. Um bei einer manuellen Zusammenfassung die Eindeutigkeit der Zuordnung zu gewährleisten, könnte dagegen im Vorfeld eine vordefinierte Liste mit den relevanten Objekten erzeugt werden und eine Gegenprüfung erfolgen. Eine alternative Möglichkeit, die Inhaltsbeziehung von logistischen Objekten in Erfahrung zu bringen, schlagen COCCI ET AL. (2008, S. 1446 f.) vor: Mittels eines auf der Graphentheorie basierenden Algorithmus („*Time-Varying Colored Graph Model*“), welcher aktuelle Informationen über den Verbleib von Objekten sowie historische Daten über gemeinsam erfasste logistische Entitäten auswertet, können für jedes Objekt probabilistische Werte im Hinblick auf dessen genauen Standort und Inhalt ermittelt werden.

Durch die in der Location Compression und Containment Compression vorgenommene Komprimierung der Daten kann das Volumen beträchtlich reduziert werden. Die nachfolgende Abbildung 5-12 zeigt das Potenzial der Datenreduktion anhand der Komprimierung von Rohlesungen zu virtuellen Readern (ortsbezogene Komprimierung) und Produkte zu Boxen (objektbezogene Komprimierung). Auf diese Weise können im Extremfall 4.000 Datensätze zu einem einzigen verdichtet werden.

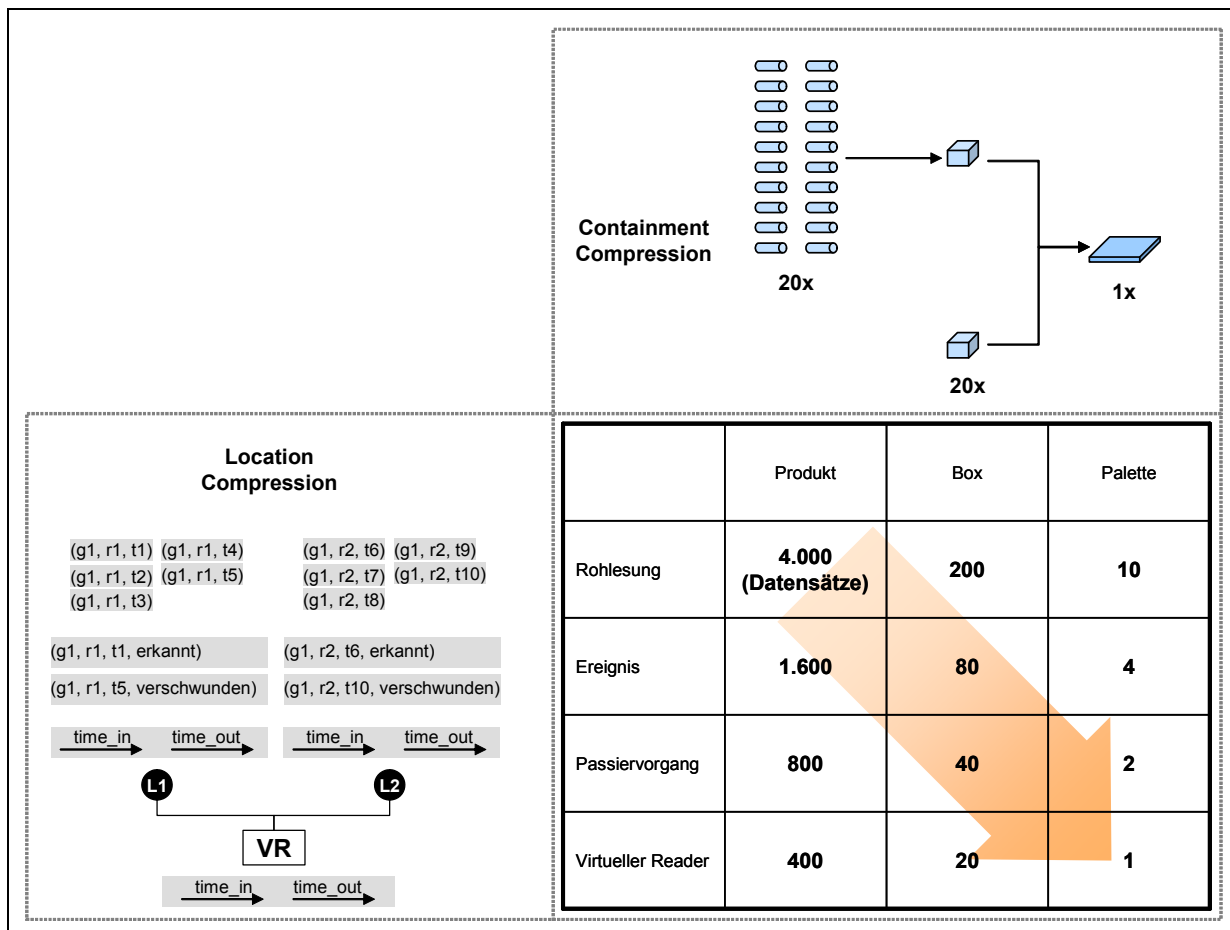


Abbildung 5-12: Potenzial der Datenkomprimierung zur Reduktion des Datenvolumens

Neben dem Beitrag zur Senkung des Datenvolumens führt eine sinnvolle Datengeneralisierung auf Objekt- und Ortsebene auch zur effizienteren Datenauswertung in der nächsten Aufbereitungsphase, da die Daten dann bereits aggregiert vorliegen. Denn für die Generierung von komplexen Ereignissen sind nicht Informationen vom Typ „Objekte O_1, O_2, \dots, O_n von Reader R_1 erfasst“, sondern Ereignisse in der Form „Palette P_1 ist im Wareneingang eingetroffen“ von Bedeutung. In dem nachfolgenden Abschnitt werden diesbezüglich geeignete Konzepte und Vorgehensweisen erörtert.

5.2.3.3 Phase 2: Datenaggregation und -auswertung

Die Phase der Datenaggregation und -auswertung bekommt aus der vorhergehenden Phase primitive Ereignisse als Input. Diese simplen Ereignisse signalisieren, dass sich der Status eines Objekts (Ort, Inhalt etc.) geändert hat. Die Daten sind aufgrund der Vorverarbeitung fehlerfrei und auf das notwendige Minimum reduziert. Sie müssen nun mit Kontext angereichert, zu komplexen Ereignissen aggregiert

und ausgewertet werden, bevor eine Weiterleitung an die angeschlossenen Backend-Systeme erfolgt. Im Folgenden wird zunächst auf die Kontextdaten und Regeln eingegangen, bevor dann Beispiele für die Auswertung der Daten im Rahmen des Complex Event Processing dargestellt werden.

5.2.3.3.1 Kontextdaten und Regeln

Grundlegend können komplexe Ereignisse generiert werden, indem eine Reihe von primitiven Ereignissen mit vordefinierten Mustern verglichen wird (vgl. Son et al. 2007, S. 3). Weisen diese Ereignisse ungewöhnliche Muster auf, handelt es sich um Prozessanomalien, die näher untersucht werden sollten bzw. bei denen vordefinierte Aktionen ausgelöst werden (im Sinne des „Management by Exception“, vgl. Heinrich 2005, S. 44 f.). Bspw. sind die internen Bewegungspfade der logistischen Objekte im Regelfall vorgegeben. Im Beispielszenario müssen die logistischen Objekte beim Produzenten sequentiell die Orte „Produktion“, „Qualitätskontrolle“, „Verpackung“, „Lager“ und „Bereitstellung /Warenausgang“ in einem bestimmten Zeitfenster durchlaufen, bevor sie an die nächste Stufe der Supply Chain, das Distributionszentrum, transportiert werden. Diese Tatsache besitzt Relevanz für die Datenaufbereitung: Komplexe Ereignisse können auf Basis von Abweichungen von dieser festgelegten Route erfolgen.¹²⁹ Verlässt ein Objekt das Lesefeld eines Readers, ist also grundsätzlich die Menge der Reader bekannt, in deren Lesefeld das Objekt demnächst auftauchen sollte. Tritt dies nicht ein, kann nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit eine Alarmmeldung ausgelöst werden bzw. eine Benachrichtigung des zuständigen Personals erfolgen.

In dem dargestellten Beispiel bilden die hinterlegten Pfadinformationen die Kontextdaten. Die dazugehörige Regel löst eine Alarmmeldung/Benachrichtigung aus. Nachfolgend werden weitere Beispiele für Kontextdaten und Regeln dargestellt. Hierzu bietet es sich an, die Ausführungen an den Ereignisarten (Objekt-, Aggregations-, Quantitäts- und Transaktionsereignis, vgl. Kapitel 5.2.3.1) zu systematisieren.

Objekt ereignis

Das Objekt ereignis signalisiert einen Ortswechsel der logistischen Entität. Daher sollten zunächst die objektbezogenen Ortsinformationen aktualisiert werden. Anschließend gilt es zu überprüfen, ob im Falle eines Ladungsträgers (im Beispiel entweder eine Palette oder Box) der Objektinhalt noch vollständig ist. Hierzu sind die Kontextdaten über Inhaltsbeziehungen heranzuziehen, die z. B. Auskunft darüber geben, welche Boxen-IDs welcher Paletten-ID zugeordnet sind. Bei einem Objekt ereignis sollte darüber hinaus – wie in dem Beispiel eingangs des Kapitels erwähnt – auch der Pfad der logistischen Entität überprüft werden.

¹²⁹ Im Hinblick auf die logistische Visibilität (Supply Chain Visibility – SCV) stellt FRANCIS (2008, S. 183) fest: „[...] *actual and planned dates/times for events are necessary to provide context and the basis for subsequent evaluation of the implications for SCV, notably whether the message represents a normal occurrence or an anomalous event.*“

Aggregationsereignis

Hier muss zunächst in Abhängigkeit von dem Erfassungspunkt geklärt werden, ob es sich um eine Aggregation oder Disaggregation von Objekten handelt, woraufhin die entsprechende Aktualisierung der Inhaltsbeziehungen vorgenommen werden kann. Dabei sind Regeln sowohl für den Aggregationsvorgang (werden die richtigen Objekte zusammengefasst?) als auch für den Disaggregationsvorgang (werden die richtigen Entitäten entladen?) zu formulieren. Hierzu muss die Hierarchie der logistischen Entitäten hinterlegt werden (vgl. diesbezüglich die Ausführungen zur Datenkomprimierung in Kapitel 5.2.3.2.2).

Quantitätsereignis

Im Falle eines Quantitätsereignisses wird der Bestand im Lesebereich ermittelt. Die Kontextdaten bilden hier die Parameter der Bestellpolitik: Werden z. B. Meldebestände erreicht, sollten Bestellungen ausgelöst werden.

Transaktionsereignis

Transaktionsereignisse treten im Beispielszenario im Bereich der Warenannahme bzw. des Warenversands auf. In der Warenannahme sollten die ausgelesenen Objekt-IDs automatisch mit dem Lieferavis abgeglichen werden. Bei einer unvollständigen Lieferung kann das Personal benachrichtigt werden. Im Falle des Warenversands wird ein Lieferavis generiert. Ein Abgleich mit den Kontextdaten (Bestelldaten) gibt Aufschluss darüber, ob die Auslieferung der richtigen Waren erfolgt. Bei Abweichungen können wiederum Alerts ausgelöst werden.

Abbildung 5-13 fasst die Ausführungen in einem Entscheidungsbaum zusammen. Auf Basis der formulierten Regeln und hinterlegten Daten kann ein Event-Management-System für die Verarbeitung von RFID-Ereignissen aufgesetzt werden. Hierzu werden im nachfolgenden Abschnitt das Konzept des Complex Event Processing erläutert und anschließend Beispiele für die vier Ereignisarten dargestellt.

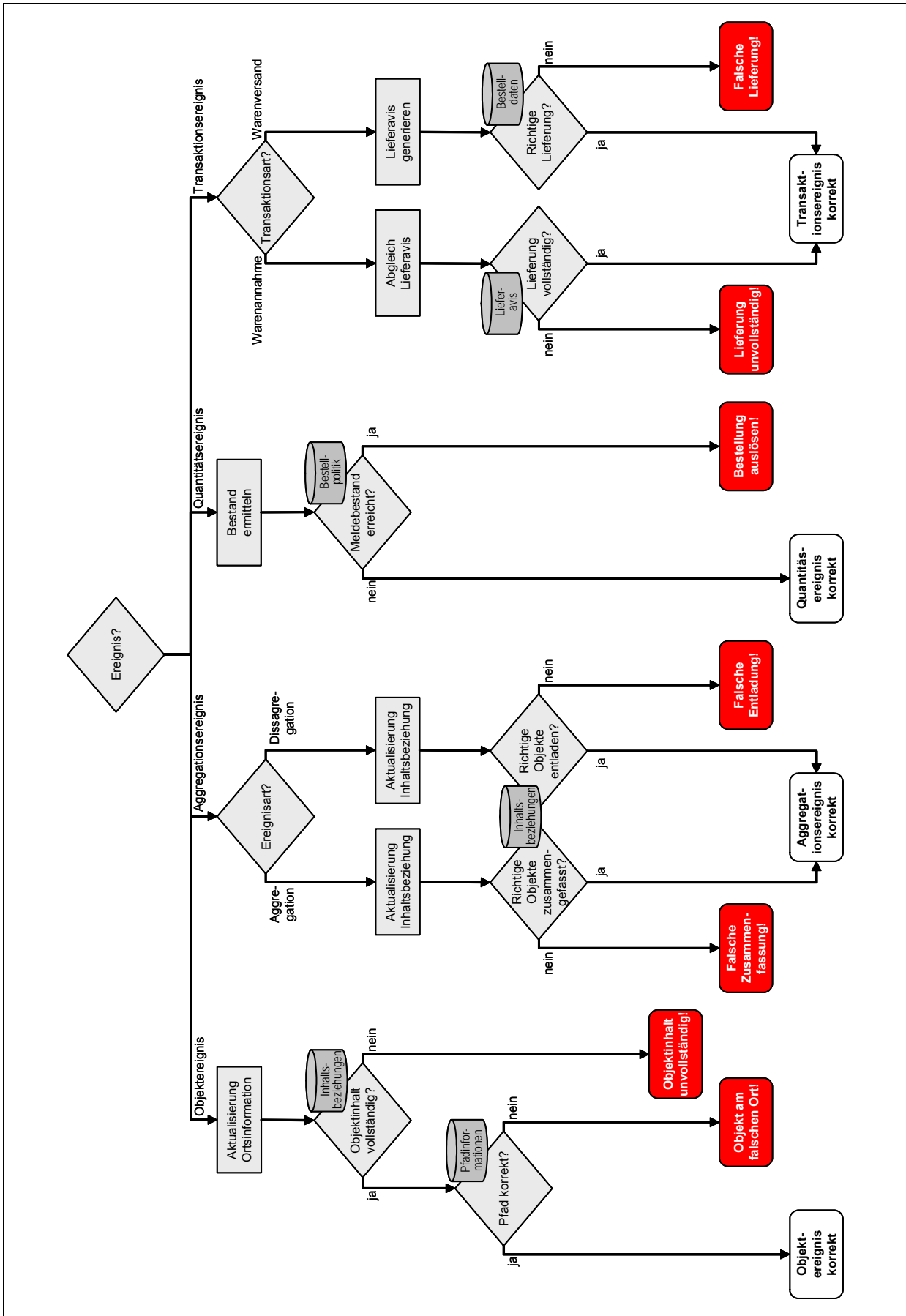


Abbildung 5-13: Entscheidungsbaum des RFID-Event-Managements

5.2.3.3.2 Complex Event Processing

Das **Complex Event Processing** (CEP) ist eine relativ neue Methode der Aggregation und Verarbeitung großer Datenmengen mit dem Ziel der Generierung von komplexen Ereignissen. Sie wurde von LUCKHAM (2002) entwickelt und stößt derzeit auf großes Interesse im Rahmen der Erforschung ereignisbasierter Systeme. So existiert eine Reihe von Forschungsprojekten, die sich mit dem CEP-Thema beschäftigen, bspw. die Projekte *Aurora* (vgl. Abadi et al. 2003), *Cayuga* (vgl. Brenna et al. 2007) oder *PIPES* (vgl. Krämer/Seeger 2004). Ein weiteres Projekt mit dem Akronym *SASE* (*Stream-based And Shared Event processing*, vgl. Agrawal et al. 2008) adressiert explizit die Verarbeitung von komplexen Ereignissen mittels CEP im RFID-Umfeld.¹³⁰

CEP basiert auf der sog. *Event Query Language* (EQL)¹³¹. Im Gegensatz zur Datenbanksprache *Structured Query Language* (SQL), die Datenattribute wie Größe, Name, Produkttyp etc. zur Analyse der Beziehungen zwischen den relationalen Datenbankeinträgen nutzt, bedient sich die EQL zu diesem Zweck Ereignissen, Zeitangaben und Kausalitäten (vgl. Luckham/Palmer 2004). Die CEP-Methode wurde dabei entwickelt, um eine große Anzahl von echtzeitnahen Ereignissen zu bearbeiten. Bspw. wird die Methode im Finanzbereich zur Identifikation von Betrugsversuchen unter Millionen von Kreditkartentransaktionen angewendet (vgl. Rozsnyai et al. 2007; Widder et al. 2009).

Die grundlegende Funktionsweise von CEP stellt sich folgendermaßen dar: Aus simplen Ereignissen (wie z. B. „Objekt A im Lagerbereich L identifiziert“) werden auf Grundlage von Regeln (sog. *event processing rules*, z. B. Zuordnung Objekte → Lagerbereiche) komplexe Ereignisse (z. B. „Objekt A wurde falsch eingelagert“) generiert. Das Ziel ist es also, aus der Fülle der Daten die entscheidungsrelevanten Informationen abzuleiten (oder wie es LUCKHAM und PALMER (2004) treffend beschreiben „[...] *CEP separates the wheat from the chaff*“).

Für die Formulierung der Events im CEP-Modul des Vorgehensmodells wird nachfolgend das ECA-Modell (Event-Condition-Action) verwendet, welches seine Ursprünge in der Erforschung von Active Database Management-Systemen (ADBMS) hat.

¹³⁰ Weitere Forschungsarbeiten zur Adaption der CEP-Methode für den RFID-Einsatz liefern KU ET AL. (2008) und ZANG ET AL. (2008).

¹³¹ Vertiefende Informationen zum Thema EQL finden sich bei ROMERO/RODRIGUEZ (2007).

ADBMS und RFID

Dem Thema ADBMS wurde in der Literatur in den vergangenen Jahren eine hohe Aufmerksamkeit beigemessen. Der Definition von DITTRICH ET AL. nach handelt es sich bei ADBMS um Datenbankmanagementsysteme „[...] with the possibility to specify **reactive behaviour**“¹³² (Dittrich et al. 1995, S. 4). Damit besitzen aktive im Gegensatz zu traditionellen passiven DBMS die Fähigkeit, regelbasiert Ereignisse auszuwerten und darauf basierend Maßnahmen (z. B. Benachrichtigungen) zu ergreifen. Durch diese Eigenschaft besitzt die ADBMS-Forschung Relevanz für RFID-Systeme, die auch ereignisbasiert arbeiten. Es existieren dabei folgende Unterschiede zwischen ADBMS und RFID-Systemen (vgl. Dutta et al. 2007a, S. 235):

- Die Anzahl der Ereignisse ist in RFID-Systemen viel höher als in den herkömmlichen ADBMS (die Ursachen hierfür wurden in Kapitel 5.2.1 ausführlich erläutert).
- Die Ereignisse sind in RFID-Systemen komplexer, da hier insbesondere viele primitive Ereignisse zu verarbeiten sind, die nicht nur von RFID-Lesegeräten übermittelt werden (z. B. Temperatursensoren etc.).
- RFID-Systeme erfordern im Gegensatz zu vielen ADBMS echtzeitnahe Antworten (real-time responses) auf Ereignisse.

Aufgrund dieser Eigenschaften von RFID ist eine Übertragung der Konzepte aus der ADBMS-Praxis nicht ohne weiteres möglich. Um den Problemen, die aus der hohen Anzahl an Daten entstehen (Übersicht kann schnell verloren gehen, Gefahr der Deadlocks etc.), zu begegnen, sind Anpassungen und Erweiterungen notwendig.

Die generelle Notation im ECA-Modell besteht aus drei Elementen: Wenn ein Ereignis eintritt (*Event*) und die Bedingung erfüllt ist (*Condition*), dann führe eine Aktion aus (*Action*). Die relevanten Operatoren sind in Tabelle 5-10 aufgeführt. Für jede der vier Ereignisarten wird nachfolgend ein Beispiel in der ECA-Notation dargestellt.

Operator	Symbol	Definition	Beispiel
AND	\wedge	Konjunktion zweier Ereignisse E_1 und E_2 tritt ein, wenn E_1 und E_2 eintreten (die Reihenfolge ist dabei nicht relevant).	$E_1 \wedge E_2$
OR	\vee	Disjunktion zweier Ereignisse E_1 und E_2 tritt ein, wenn entweder E_1 oder E_2 eintritt.	$E_1 \vee E_2$
SEQ	\Rightarrow	Sequenz zweier Ereignisse E_1 und E_2 tritt ein, wenn E_2 nach E_1 eintritt.	$E_1 \Rightarrow E_2$
NOT	\neg	Negation des Ereignisses E_1 ereignet sich, wenn E_1 nicht eintritt.	$\neg E_1$

Tabelle 5-10: Operatoren im ECA-Modell

¹³² Hervorhebung im Original.

Objekt ereignis – Diebstahlsicherung

Die Reihenfolge der primitiven Ereignisse kann zur Generierung von komplexen Ereignissen herangezogen werden. Folgt diese nicht dem vorgegebenen Schema, können bspw. Alerts ausgelöst werden. Lesegeräte an Ausgängen (allen voran in der Einzelhandelsfiliale) können in diesem Zusammenhang zur Diebstahlsicherung verwendet werden. Hierzu werden Regeln definiert, die auf der Reihenfolge der zu bearbeitenden Schritte beruhen. Im folgenden Beispiel wird ein Alarm ausgelöst, wenn ein Objekt mit der gegenwärtigen Geschäftslokation Regal („Shelf“, E24 im Beispielszenario) am Ausgang („Exit“, E26) gelesen wird, obwohl keine Lesung an der Kasse („CheckOut“, E25) stattgefunden hat (siehe Abbildung 5-14).

```

ON
  DEFINE E1 = observation(g = "EPC", r = "Shelf", t = t1)
  DEFINE E2 = observation(g = "EPC", r = "CheckOut", t = t2)
  DEFINE E3 = observation(g = "EPC", r = "Exit", t = t3)

  IF (E1 ∧ ¬E2 ∧ E3) AND (t1 < t3)
    DO send alert

```

Abbildung 5-14: Notation des komplexen Ereignisses „Diebstahl“

Quantität ereignis – Bestandsmanagement

Auf Basis der RFID-Daten können Lagerbestände automatisch aktualisiert und kontrolliert werden. Eine Besonderheit des Bestandsmanagements im Vergleich zu anderen Anwendungsszenarien bildet die Tatsache, dass in der Regel Daten auf Objektklassenebene ausreichend sind. Die eindeutige ID ist für die Ermittlung der Quantität nicht notwendig. Neben der Objektklasse ist die gegenwärtige Geschäftslokation, in der sich das Objekt befindet, von Relevanz. Aktuelle Informationen über Bestände in der SC erleichtern die Erstellung von Bedarfsprognosen und tragen damit zur Reduktion des Bullwhip-Effektes bei. In dem in Abbildung 5-15 dargestellten Beispiel wird auf Basis der Zählung eines bestimmten Artikels (hierzu verfügt das Ereignisobjekt über eine entsprechende Zählfunktion – „count“) die aktuelle Menge ermittelt und mit dem Meldebestand („reorder_level“) verglichen. Bei Unterschreitung dieser Grenze wird das Lagerpersonal benachrichtigt oder es erfolgt alternativ eine automatische Bestellung des Artikels.

```

ON DEFINE E1 = observation(g = "product_type", r = "Shelf", t = t1)
  IF (E1.g.count < reorder_level)
    DO notify backroom

```

Abbildung 5-15: Notation des komplexen Ereignisses „Nachbevorratung anstossen“

Aggregationsereignis – Palettierung

Bei der Palettierung findet eine Aggregation der Boxen zu einer Palette statt. Dies betrifft die Erfassungspunkte E6 und E15 im Beispielszenario. Hierfür müssen die Box-IDs („EPC_tag1“ und „EPC_tag2“) der entsprechenden Paletten-ID zugeordnet werden („EPC_palett“). Die Aggregation findet statt, wenn alle relevanten IDs in einem bestimmten Zeitfenster erfasst werden („time_window“).

```

ON
  DEFINE E1 = observation(g = "EPC_palett", r = "palletisation", t = t1)
  DEFINE E2 = observation(g = "EPC_tag1", r = "palletisation", t = t2)
  DEFINE E3 = observation(g = "EPC_tag2", r = "palletisation", t = t3)

  IF (E1 ∧ E2 ∧ E3) AND (t3 - t1 ≤ time_window)
    DO aggregate (E2.g, E3.g) → E1.g

```

Abbildung 5-16: Notation des komplexen Ereignisses „Palettierung“

Transaktionsereignis – Wareneingang und -ausgang

Durch die Installation von Lesegeräten an Laderampen bzw. in LKWs kann eine automatische Kontrolle der Verladung erfolgen. Im Mittelpunkt steht hier die Frage, ob die richtige Ware auf den richtigen LKW verladen wird. Zu den benötigten Kontextdaten zählen dabei Auftrags- und Transportdaten. Im Wareneingang wird bspw. die Lieferung mittels RFID erfasst und mit dem Lieferavis abgeglichen. Bei Diskrepanzen kann eine automatische Benachrichtigung erfolgen. Wird, wie in Abbildung 5-17 dargestellt, die Palette „EPC_pallet“ mit unvollständigem Inhalt erfasst (es fehlen die Objekte „EPC_tag1“, „EPC_tag2“ oder „EPC_tag3“), erfolgt eine Benachrichtigung des Personals. In einem nächsten Schritt können die so ermittelten Fehlerquoten zur Lieferantenbeurteilung herangezogen werden (dies wird in dem Abschnitt 5.2.3.4.2 ausführlicher behandelt).

```

ON
  DEFINE E1 = observation(g = "EPC_pallet", r = "incoming_goods", t = t1)
  DEFINE E2 = observation(g = "EPC_tag1", r = "incoming_goods", t = t2)
  DEFINE E3 = observation(g = "EPC_tag2", r = "incoming_goods", t = t3)
  DEFINE E4 = observation(g = "EPC_tag3", r = "incoming_goods", t = t4)

  IF E1 AND (¬E2 ∨ ¬E3 ∨ ¬E4) AND (t4 - t1 ≤ time_window)
    DO notify staff

```

Abbildung 5-17: Notation des komplexen Ereignisses „Vergleich Lieferung – Lieferavis“

Das Produkt dieser Phase bilden komplexe Ereignisse, die einerseits an die angeschlossenen Backend-Systeme weitergeleitet werden. Andererseits stehen sie in der Event Repository, wo auch primitive Ereignisse gespeichert werden, für Ad-hoc-Abfragen bereit. Die Weiterleitung und Verwendung

wird in dem nachfolgenden Abschnitt im Rahmen der dritten und letzten Phase der Datenaufbereitung behandelt.

5.2.3.4 Phase 3: Datenweiterleitung und -verwendung

Eine wichtige Aufgabe der RFID-Middleware besteht in der Weiterleitung der richtigen Daten an die richtigen Applikationen (vgl. Cheong/Kim 2005, S. 564). Dabei sind allgemein zwei Modelle möglich (vgl. bspw. Fasolo et al. 2006): Das Push-Modell, bei dem die Daten über vordefinierte Kanäle an die relevanten Backend-Systeme weitergeleitet werden und das Pull-Modell¹³³, bei welchem die Applikationen spezifizieren, welche Daten wann benötigt werden und diese bei Bedarf abfragen. Die Komponente „Complex Event Notification“ ist in dem vorgestellten Vorgehensmodell für die Distribution der vom CEP-Modul übermittelten komplexen Ereignisse zuständig.

Die Backend-Systeme im Bereich des Supply Chain Managements lassen sich dabei grundsätzlich in **transaktionale/operative** und **analytische/strategische** Systeme unterteilen (vgl. Shapiro 2001). Während die ersteren zur Erfassung, Verarbeitung und Weiterleitung der Daten genutzt werden (bspw. ERP-Systeme), werden die letzteren zur Formulierung und Analyse von SC-Modellen eingesetzt. Die analytischen Systeme beziehen dabei in der Regel ihre Daten aus den transaktionalen Systemen. Beide Systemgruppen liefern den Entscheidern wertvolle Informationen auf unterschiedlichen Ebenen: Sowohl das Wissen darüber, was in der Vergangenheit passiert ist (analytische IT) als auch darüber, was gerade passiert (transaktionale IT) kann zur Steuerung und Optimierung von Prozessen in Logistiknetzwerken eingesetzt werden. Die folgende Tabelle 5-11 gibt einen exemplarischen Überblick zu den jeweiligen Prozessen, die insbesondere durch den Einsatz von RFID unterstützt werden können (in Anlehnung an Shapiro 2001; Schmidt 2006). Die Datenverwendung im Rahmen der Systeme wird in den nachfolgenden Abschnitten an ausgewählten Beispielen dargestellt.

Transaktionale/operative IT	Analytische/strategische IT
Bestands- und Regalmanagement	Analyse der Materialflüsse
Diebstahlsicherung	Qualitätssicherung
Tracking (Monitoring)	Lieferantenbeurteilung
Tracing (Rückverfolgbarkeit)	

Tabelle 5-11: Beispiele für Prozesse der transaktionalen und analytischen IT

5.2.3.4.1 Operative Systeme

Die Prozesse im Bereich der operativen Systeme geben in der Regel ein Abbild der Realität zu einem definierten Zeitpunkt wieder. Im Sinne des SCEM (kurze Beschreibung des Konzeptes folgt weiter unten) werden dabei von der RFID-Middleware kritische Ereignisse an die Applikationen weitergeleitet.

¹³³ Das Pull-Modell wird auch als „publish/subscribe“-Konzept bezeichnet (vgl. Flörkemeier et al. 2007, S. 3 ff.).

SCEM

Unter dem Begriff SCEM (Supply Chain Event Management) wird ein „kurzfristiges Planungs- und Steuerungskonzept“ (Steven/Krüger 2004, S. 179) verstanden. Zu den Aufgaben des SCEM zählen die Erfassung, Überwachung und Behandlung von Störereignissen in Logistiknetzwerken (vgl. Nissen 2002, S. 431). Hierzu gilt es die Daten aus heterogenen Informationssystemen der SC-Akteure zusammenzuführen und integriert zu verarbeiten, um „das Auftreten von Störungen, Abweichungen und anderen außerplanmäßigen Ereignissen [zu] erkennen, Prozessverantwortliche (Nutzer) [zu] informieren und in Bezug auf die zu treffenden Entscheidungen [...] [zu] unterstützen“ (Schreiber/Krybus 2007). Nach STEVEN und KRÜGER (2004, S. 183 ff.) sind SCEM-Systeme aus drei elementaren Bestandteilen aufgebaut: *Informationserhebung* (Bereitstellung von Informationen für das SCM), *Informationsanalyse und -bewertung* (Überwachung der Ereignisse und Benachrichtigung der Prozessverantwortlichen) sowie *Aufbereitung und Auswertung* (Datenauswertung zwecks Verbesserung bestehender Prozesse).

Bestands- und Regalmanagement

Wie bereits mehrfach erwähnt, können durch die Installation von RFID-Lesegeräten im Lagerbereich bzw. in den Regalen am POS Bestände permanent überwacht werden. Für Monitoringzwecke bieten sich hierbei neuartige visuelle Tools an, die bspw. die aktuellen Lagerbestände und den genauen Aufenthaltsort der Waren und Ladungsträger grafisch darstellen. Auf diese Weise erhalten die Mitarbeiter ein echtzeitnahes Abbild der Realität (vgl. Gross 2005, S. 10). Damit wird zum einen Out-of-Stock-Situationen vorgebeugt und zum anderen können Pufferbestände gesenkt werden (da die Bestände in den einzelnen Stufen des Logistiknetzwerks bekannt sind). Denkbar wäre hier etwa ein Monitoring-Tool, bei dem unterschiedlich eingefärbte Flächen die momentanen Bestände der Produkte in den einzelnen Lagerbereichen anzeigen.

Diebstahlsicherung

Durch den RFID-Einsatz entfällt ein zusätzlicher Diebstahlschutz, da – wie im Beispiel für Objekteignisse bereits dargestellt (vgl. Kapitel 5.2.3.3.2) – Lesegeräte an den Ausgängen (im Lager oder am POS) einen Alarm auslösen, wenn die Ware nicht an der Kasse bezahlt worden ist. RFID kann hier also die Aufgabe der EAS übernehmen (vgl. Bald 2004, S. 99).¹³⁴ Es ist auch eine andere Art der RFID-basierten Diebstahlsicherung, die nicht auf der Auswertung der Reihenfolgen von RFID-Ereignissen, sondern auf der Auswertung der Kontextdaten beruht, vorstellbar. Hierzu ist es erforderlich, dass sowohl Waren und Werkzeuge als auch autorisierte Nutzer mit RFID-Transpondern ausgestattet werden. Diebstahlvorgänge könnten demnach identifiziert werden, wenn Objekterfassungen an Ausgängen

¹³⁴ Die Firma Gillette ist diesbezüglich einen Schritt weitergegangen und hat eine (aus der Perspektive der Zeit fragwürdige) RFID-basierte Diebstahlsicherung in einem Pilotprojekt bei Tesco installiert. Es sollten Rasierkliegen, die zu den am häufigsten vom Diebstahl betroffenen Produkten gehören, geschützt werden. Dabei wurde von jedem Kunden, der eine mit Transpondern versehene Rasierkliegenpackung in die Hand nahm, ein Foto gemacht. Nach einem Boykott der Verbraucher stellte Gillette den Versuch allerdings ein (vgl. Kull/Kamieth 2004, S. 15).

ohne die dazugehörige Auslesung eines korrespondierenden RFID-Transponders, der zu einem autorisierten Nutzer gehört, stattfinden. Dies würde signalisieren, dass Objekte von einer nicht autorisierten Person aus dem Gebäude transportiert werden. An diesem Beispiel wird noch einmal die Bedeutung der Zeitkomponente für RFID-Ereignisse deutlich: Erst die Auswertung des zeitlichen Abstands zweier Ereignisse (Erfassung der Objekt-ID und Erfassung der ID des autorisierten Nutzers muss innerhalb eines vorgegebenen Intervalls erfolgen) ermöglicht in dem beschriebenen Fall die Feststellung, dass es sich um ein kritisches Ereignis (Diebstahl) handelt.

Tracking & Tracing

In Logistiknetzwerken werden häufig Tracking & Tracing-Systeme (T&T, Rückverfolgbarkeitssysteme) verwendet, um den gesetzlichen Vorgaben, Kundenwünschen und Anforderungen der Geschäftspartner im Bezug auf die Rückverfolgbarkeit¹³⁵ von logistischen Objekten zu genügen. Tabelle 5-12 illustriert, wie die Ausgabe von T&T-Informationen in einem Rückverfolgbarkeitssystem aussehen könnte. Zum einen erlauben die RFID-basierten Informationen den aktuellen Status des Produkts zu verfolgen (Tracking), zum anderen können die bereits traversierten Orte mit den genauen Zeiten rückverfolgt werden (Tracing).

Supply Chain Visualizer

An der ETH Zürich haben ILIC ET AL. (2009) eine Applikation zur Visualisierung von T&T-Daten entwickelt. Der *Supply Chain Visualizer* stellt die SC-Struktur grafisch dar und analysiert potenzielle Problembereiche. Die Autoren definieren hierzu Konsistenzregeln. Bei Inkonsistenzen (z. B. Abweichungen von vorgegebenen Materialflüssen) werden entsprechende Fehlermeldungen an dem grafischen Element (z. B. an der Kante, die den Materialfluss symbolisiert) dem Anwender angezeigt.

¹³⁵ Nach der DIN EN ISO 8402:1995-08 ist unter Rückverfolgbarkeit die Möglichkeit zu verstehen, „*Werdegang, Verwendung oder den Ort einer Einheit anhand aufgezeichneter Kennzeichnungen verfolgen zu können*“ (Gampel 2006, S. 13). Die Rückverfolgbarkeit umfasst laut dieser Definition die Herkunft von Material sowie Teilen, die Verarbeitungsgeschichte der Ware, die Verteilung und den Verbleib nach ihrer Auslieferung.

Box-ID	Paletten-ID	Produktion	QK	Verpackung	Lager	WA	Status
01.00DE8A.00C331.000043931	01.00DE8A.0015B1.0000AA34C	10/05/09 9:47	10/05/09 11:31	10/05/09 14:15	10/05/09 15:13	-	Eingelagert
01.00DE8A.00C331.000046A57	Keine Zuordnung	11/05/09 13:33	11/05/09 13:38	-	-	-	Qualitätskontrolle
01.00DE8A.000B2F.00004B667	Keine Zuordnung	12/05/09 9:15	-	-	-	-	Produziert
01.00DE8A.00C331.0000596DE	01.00DE8A.0015B1.0000AA34C	10/05/09 9:48	10/05/09 11:31	10/05/09 14:15	10/05/09 15:13	-	Eingelagert
01.00DE8A.00C331.000084733	01.00DE8A.0015B1.0000AA34C	10/05/09 9:48	10/05/09 11:32	10/05/09 14:16	10/05/09 15:13	-	Eingelagert
01.00DE8A.000B2F.00009A53B	01.00DE8A.0015B1.0002B22A8	10/05/09 16:13	10/05/09 16:44	10/05/09 17:31	-	-	Verpackt
01.00DE8A.000B2F.00004311F	01.00DE8A.0015B1.000064241	10/05/09 11:30	10/05/09 12:03	10/05/09 14:51	10/05/09 15:20	-	Eingelagert
01.00DE8A.00C331.0000094F1	Keine Zuordnung	12/05/09 9:03	-	-	-	-	Produziert
01.00DE8A.00C331.000034984	01.00DE8A.0015B1.000009C56	09/05/09 16:15	10/05/09 8:03	10/05/09 8:59	10/05/09 9:24	11/05/09 20:27	Ausgeliefert

Tabelle 5-12: Beispiel der Ausgabe von internen Tracking & Tracing-Informationen des Produzenten

5.2.3.4.2 Analytische Systeme

Bei den im Folgenden beschriebenen Szenarien werden Analysen über einen bestimmten Zeitraum hinweg durchgeführt. Hierbei sind insbesondere Bewegungspfade sowie Informationen zu der Dauer bestimmter Aktivitäten (z. B. Verweildauer in einer Geschäftslokation, Transportdauer) von besonderer Wichtigkeit. Um die grundsätzlichen Möglichkeiten der Verwertung von RFID-basierten Informationen im Bereich der analytischen Systeme zu erläutern, werden nachfolgend analytische Fragestellungen aufgegriffen. Die Ausführungen basieren, wie in den vorigen Abschnitten auch, auf dem Modell des Logistiknetzwerks aus Kapitel 5.2.3.1.

Analyse der Materialflüsse

RFID-Systeme generieren bei einem unternehmensübergreifenden Einsatz vollständige Bewegungspfade der logistischen Objekte. Es besteht dabei die Möglichkeit, die umfangreichen Daten zu Materialflüssen nach bestimmten Mustern auszuwerten. Die Analyse-Ergebnisse können anschließend in einer Optimierung der Materialflüsse münden (vgl. Gonzales et al. 2006b). Bspw. ist es auf Basis der RFID-Daten möglich, Wahrscheinlichkeiten zu berechnen, mit denen bestimmte Bewegungspfade entlang des Logistiknetzwerks bestritten werden. Diese können mit den Verweildauern in den jeweiligen Stufen der Supply Chain verknüpft werden. Dem in Abbildung 5-18 dargestellten Szenario liegt die folgende Frage zugrunde:

Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die gelieferten Produkte direkt vom Wareneingang in das Regal und nicht in das Zwischenlager des Einzelhändlers eingelagert werden, wenn der Transport vom Distributionszentrum länger als 24 Stunden gedauert hat?

Hierzu müssen zunächst die Lesungen der Erfassungspunkte E10 (Warenausgang des Produzenten) und E18 (Wareneingang des Händlers) miteinander verglichen werden, die Differenz der Zeitstempel (timestamp) ergibt die Dauer des Transports. Anschließend erfolgt eine Überprüfung der Erfassungen

in den Punkten E21 (Lager) und E24 (Regal auf der Verkaufsfläche), um die Wahrscheinlichkeiten für die unterschiedlichen Einlagerungsstrategien zu berechnen. Die auf diese Weise generierten Kennzahlen ermöglichen bspw. die Optimierung von Transportwegen und Lagerhaltungs-Modellen.

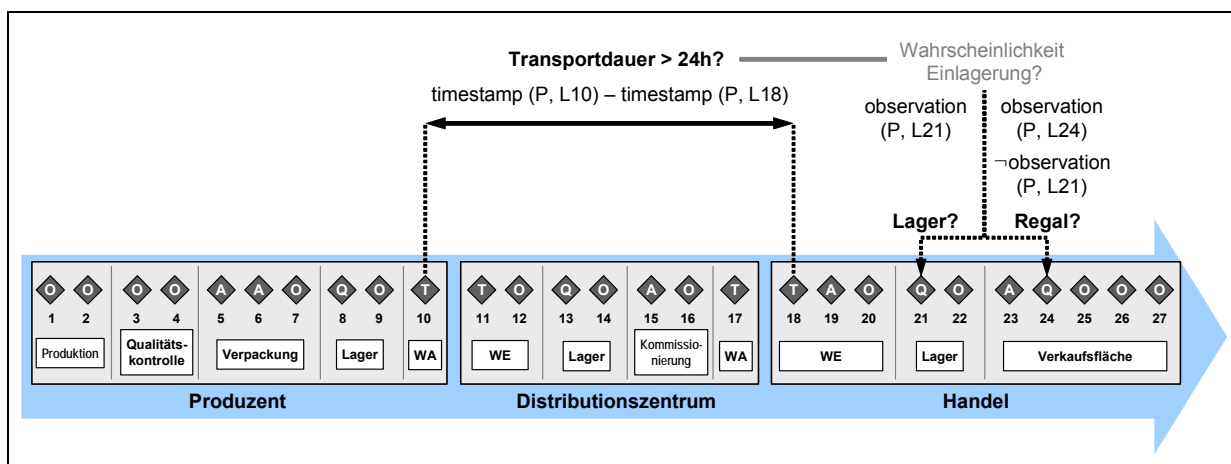


Abbildung 5-18: Analytisches Anwendungsszenario: Analyse der Materialflüsse

Qualitätssicherung

Die Auswertung der RFID-Daten kann einen Beitrag zum Erhalt bzw. zur Erhöhung der Produktqualität leisten. Insbesondere Schwankungen in der Zeitdauer von Lieferungen und abweichende Materialflüsse können Aufschlüsse über eventuelle Ursachen für Qualitätsprobleme geben (vgl. Gonzales et al. 2006b). Im folgenden Beispiel (siehe Abbildung 5-19) wird die Frage beantwortet:

Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Rückgabequote von Produkten und der Zeitdauer, die diese Produkte in der Qualitätskontrolle des Herstellers verbringen?

Dabei werden Lesungen aus der Retouren-Zone des Einzelhändlers (E27, Produktstatus „retourniert“) mit der Zeitdauer des Verbleibs in der Qualitätskontrolle des Produzenten (Zeitstempel der Erfassungen an den Übergängen E2 und E4) verglichen. Kann ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Dauer der Qualitätskontrolle und Rückgabequoten ermittelt werden, sollten z. B. vom Produzenten Maßnahmen zur besseren Qualitätssicherung getroffen werden.

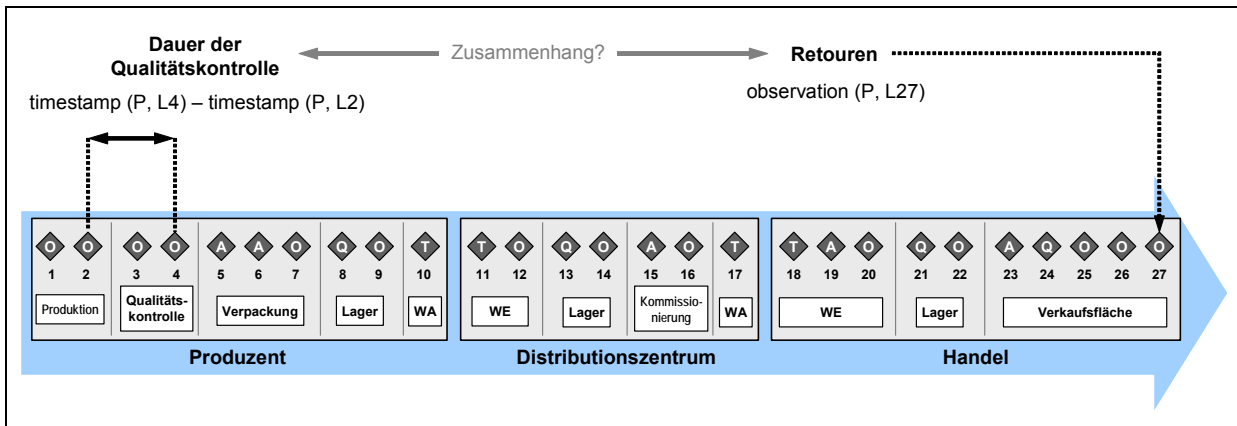


Abbildung 5-19: Analytisches Anwendungsszenario: Qualitätssicherung

Lieferantenbeurteilung

RFID-Informationen können vom Händler des Weiteren zur Generierung alternativer Beurteilungskriterien für Lieferanten herangezogen werden. Vorteilhaft sind hierbei vor allem die exakten Daten über Bewegungen der Produkte einzelner Lieferanten. Es kann bspw. festgestellt werden, wie sich die „Netto-Lieferzeit“ darstellt, indem RFID-Lesungen am Warenausgang des Lieferanten (E10) mit den Lesevorgängen am Wareneingang des Händlers (E18) verknüpft werden (siehe Abbildung 5-20). Oder es kann die Dauer von der Herstellung des Produkts (E2) bis zur Regaleinlagerung (E23) berechnet werden. Damit können z. B. folgende Fragen beantwortet werden:

Wie schnell bewegen sich Produkte eines bestimmten Lieferanten durch die SC im Vergleich zu den Produkten aller Lieferanten? Wie lang beträgt die Zeitspanne zwischen der Produktherstellung und Regaleinlagerung für ausgewählte Produkte/Lieferanten?

Auf Grundlage dieser detaillierten Informationen kann die Lieferantenbeurteilung im Rahmen des Lieferantenmanagements um neue Kennzahlen erweitert werden.

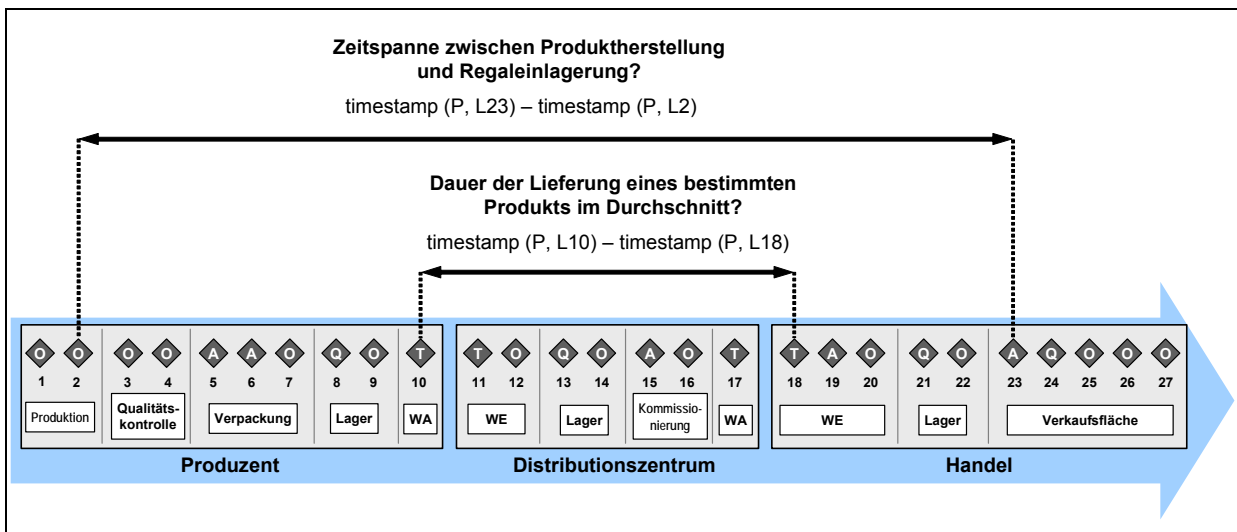


Abbildung 5-20: Analytisches Anwendungsszenario: Lieferantenbeurteilung

Die Ausführungen in diesem Kapitel haben verdeutlicht, welche Möglichkeiten der Verwendung von RFID-Daten in operativen und analytischen Backend-Systemen bestehen. Damit sind alle Phasen des Vorgehensmodells der Datenaufbereitung dargestellt worden. Nachfolgend erfolgt eine Evaluation des vorgestellten Modells anhand des Beitrags zur Bewältigung der eingangs identifizierten Herausforderungen.

5.2.4 Beurteilung des Vorgehensmodells

Das Vorgehensmodell zur Datenaufbereitung wurde mit dem Ziel der effizienten Datenreduktion, erhöhten Datenqualität und vereinfachten Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen konzipiert. Neben der Beachtung der abgeleiteten Prinzipien (vgl. Kapitel 5.2.2) wurden an geeigneten Stellen relevante Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Datenmanagements in die Konzeption einbezogen. In diesem Abschnitt wird des Vorgehensmodells nun dahingehend evaluiert, inwieweit die gesteckten Ziele erreicht werden können. Die in Kapitel 5.2.1 identifizierten Herausforderungen mit den abgeleiteten Prinzipien bilden die Kriterien der Evaluation.

Beitrag zur Reduzierung des Datenvolumens

Die Datenreduktion erfolgt im Modell in der Phase der Datenbereinigung. Die Filterung und Komprimierung der Daten wird von der Edgeware vorgenommen. Damit wird dem *ersten Prinzip* („Vorverarbeitung nah an der Quelle“) Rechnung getragen, da die Edgeware nah an der Lesegeräte-Hardware angesiedelt ist (sie ist in der Regel für einen virtuellen Reader zuständig). Die nachfolgenden Aufbereitungsstufen arbeiten daher mit fehlerfreien und – was für die Datenreduktion im RFID-System insbesondere wichtig ist – nur noch mit den notwendigen Daten. In der Phase der Datenbereinigung erfolgt dabei keine Ereignisverarbeitung, weshalb die an das CEP-Modul übermittelten Daten im Sinne des *zweiten Prinzips* („Flexibilität der Datenauswertung erhalten“) volle Flexibilität bei der Auswertung ermöglichen.

Um das Potenzial der Datenreduktion auf Basis der vorgestellten Konzepte zu analysieren, wird die Beispielrechnung aus Kapitel 5.2.1 aufgegriffen. Dort wurde unter den getroffenen Annahmen ein Datenvolumen in Höhe von 30.345 TB pro Jahr für das Logistiknetzwerk berechnet. Durch die Datenfilterung kann das Datenvolumen zunächst um 80 Prozent auf 6.069 TB reduziert werden. Diese Reduktion beruht auf der Filterung der Duplikate: Bei einer durchschnittlichen fünfmaligen Erfassung der logistischen Entitäten an jedem Erfassungspunkt, können jeweils vier Datensätze (dies entspricht 80 Prozent) herausgefiltert werden.

Nach der Datenkomprimierung beträgt das Datenvolumen lediglich 1.544 TB, was eine weitere Reduktion um ca. 75 Prozent bedeutet. Dieser Reduktionsvorgang basiert auf dem Prinzip der Containment Compression, die in Kapitel 5.2.3.2.2 erläutert wurde. Die Daten werden jeweils auf der höchsten Aggregationsebene erfasst. Im Beispielszenario ist dies neun Mal die Produktebene (E1-E5, E23-E26), acht Mal die Boxebene (E5, E6, E15, E19-E23) und 14 Mal die Palettenebene (E6-E19) (vgl. hierzu das Modell in Abbildung 5-1). Damit ergibt sich im Vergleich zur Ausgangssituation (26 Erfassungen auf Produkt-, 19 Erfassungen auf Box- und 14 Erfassungen auf Palettenebene) die annähernd 75%-ige

Datenreduktion. Insgesamt kann das Datenvolumen damit um ca. 95 Prozent verringert werden (siehe Abbildung 5-21).

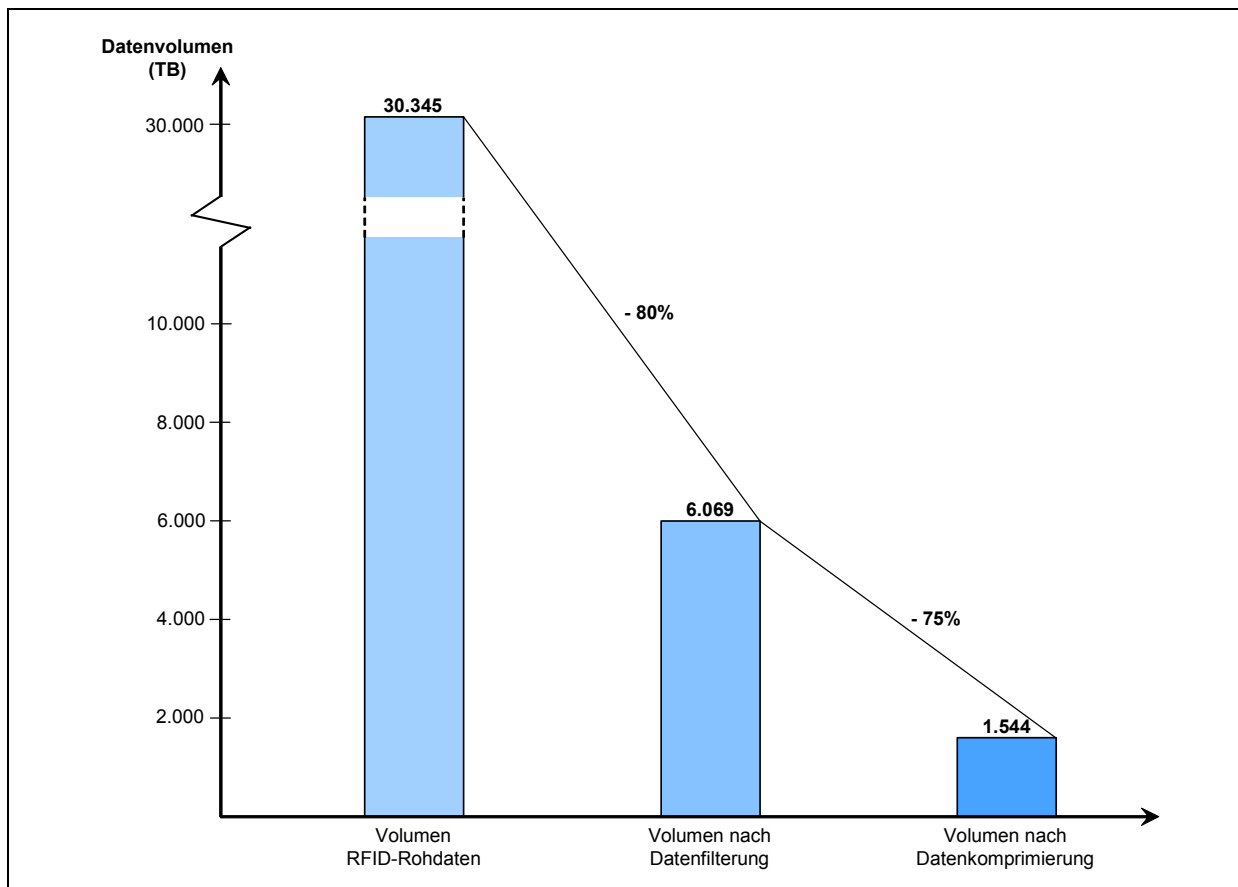


Abbildung 5-21: Potenzial zur Reduzierung des Datenvolumens im Beispielszenario

Um die Effizienz der Datenverarbeitung unter der Beachtung des *dritten Prinzips* („Archivierung/Auslagerung älterer Daten“) zu garantieren, werden die temporären Daten des CEP-Moduls in die Event Repository ausgelagert und diese wiederum in bestimmten Intervallen entsprechend einer individuell festzulegenden Archivierungsstrategie in die Archiv-Datenbanken übertragen.

Beitrag zur Erhöhung der Datenqualität

Die umfangreiche Filterung der Daten in der Datenbereinigungsphase adressiert das *vierte Prinzip* („Verstärkte Datenfilterung“) der Datenaufbereitung in RFID-Systemen. Dabei werden bereits früh neben der Filterung der Duplikate auch evtl. entstandene Anomalien berücksichtigt. Damit wird gewährleistet, dass die Phase der Datenaggregation und -auswertung nur noch mit fehlerfreien Daten arbeitet und die Prozesse der Realwelt nach Weiterleitung der Daten in den angeschlossenen Systemen korrekt abgebildet werden.

Beitrag zur Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen

Das vorgeschlagene Vorgehensmodell kann als eine Art „Wertschöpfungskette der RFID-Informationen“¹³⁶ aufgefasst werden: Mit jedem Verarbeitungsschritt wird der Wert der RFID-Daten für die Entscheidungsträger gesteigert (siehe Abbildung 5-22). Mit anderen Worten werden die Rohdaten über die Zwischenstufen fehlerfreie Daten, primitive und komplexe Ereignisse schließlich zu Informationen „veredelt“, die als Grundlage für Entscheidungen bzw. zur Wissensgenerierung dienen.

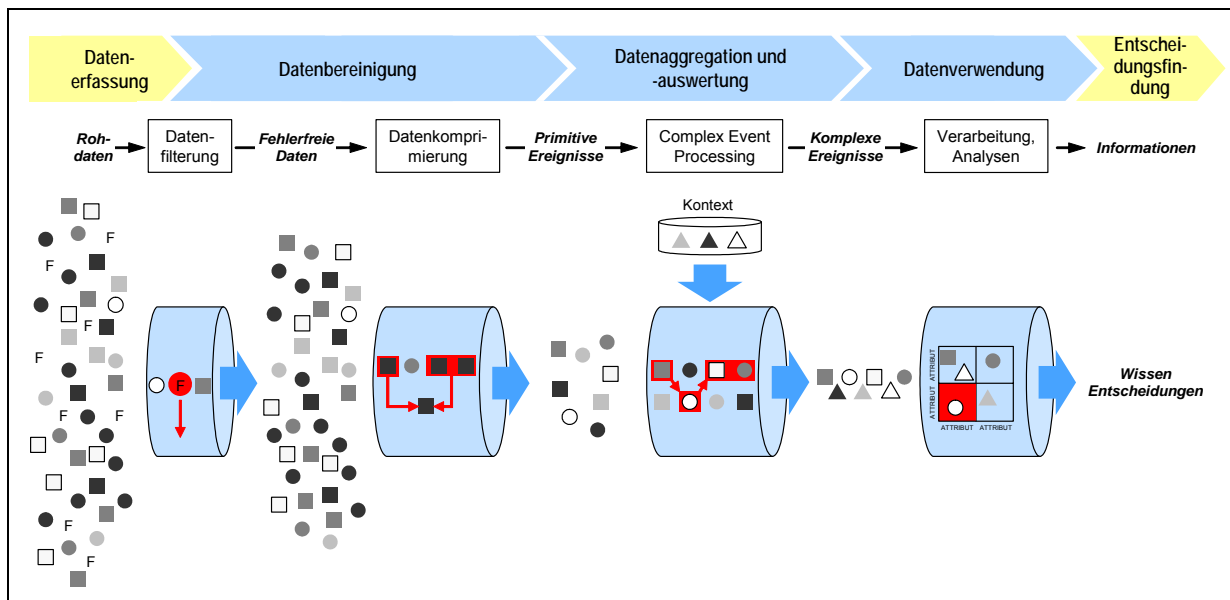


Abbildung 5-22: Wertschöpfungskette der RFID-Informationen

Das zentrale CEP-Modul übernimmt dabei die Transformation primitiver Ereignisse in komplexe Ereignisse und wird damit der Forderung im Rahmen des *fünften Prinzips* („Simple Ereignisse in komplexe Ereignisse transformieren“) gerecht. Hierzu wendet das Modul vordefinierte Regeln an und reichert die reinen RFID-Daten, denen es isoliert an Aussagekraft fehlt, mit Kontextdaten an. Hiermit wird dem *sechsten Prinzip* („Kontext hinzufügen“) Rechnung getragen. Schließlich wurden bei der Entwicklung des Vorgehensmodells auch Prämissen des *siebten Prinzips* („Anwendungsneutrale Aufbereitung von Daten“) beachtet. Die RFID-Daten werden in der ersten Phase des Vorgehensmodells neutral aufgearbeitet. Der Output der Datenbereinigung, die primitiven Ereignisse, ist anwendungsneutral und wird erst durch das CEP zum spezifischen Output, nämlich zu den komplexen Ereignissen für die relevanten Backend-Systeme, verarbeitet.

¹³⁶ CHEONG und KIM (2005, S. 560) verwenden einen ähnlichen Begriff („RFID Information Value Chain“) in ihrem Modell. Die Autoren konzentrieren sich bei ihren Ausführungen jedoch stärker auf die Systemarchitektur und stellen das Vorgehen nur rudimentär dar.

5.3 Beitrag von RFID-basierten Informationen zur Visibilitätserhöhung in Logistiknetzwerken

In dem vorhergehenden Kapitel wurde die Aufbereitung von RFID-Daten thematisiert. Im Vorfeld der Datenaufbereitung muss zunächst geklärt werden, welche Daten notwendig sind, um den Informationsbedarf der logistischen Aufgaben zu decken. Dabei ist die Wirtschaftlichkeit der Erfassung zusätzlicher Daten in Betracht zu ziehen, da sich mit einer umfassenden Datenerfassung die Visibilität erhöht, aber auf der anderen Seite auch die Kosten steigen. Es ist daher zu hinterfragen, welchen Beitrag die aus den RFID-Daten gewonnenen Informationen unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten zur Visibilitätserhöhung leisten. Hierzu werden zunächst in Kapitel 5.3.1 die Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf die Datengranularität betrachtet. Anschließend erfolgt die Klärung des Visibilitätsbegriffs im logistischen Kontext (5.3.2). In dem zentralen Kapitel 5.3.3 wird dann der Beitrag von RFID-basierten Informationen zur Visibilitätserhöhung anhand eines Kosten-Nutzen-Modells analysiert. Abschließend werden die Implikationen der Untersuchung diskutiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet (5.3.4).

5.3.1 Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf die Datengranularität

Der Einsatz von RFID-Systemen wirkt sich auf die Datengranularität¹³⁷ aus. Dabei kann die Datengranularität anhand von fünf Dimensionen beschrieben werden (vgl. Fleisch et al. 2005). Die Datengranularitätsdimensionen sind in der Abbildung 5-23 mit typischen Ausprägungen dargestellt (in Anlehnung an Dittmann 2006, S. 25). Sie werden nachfolgend im Detail besprochen.

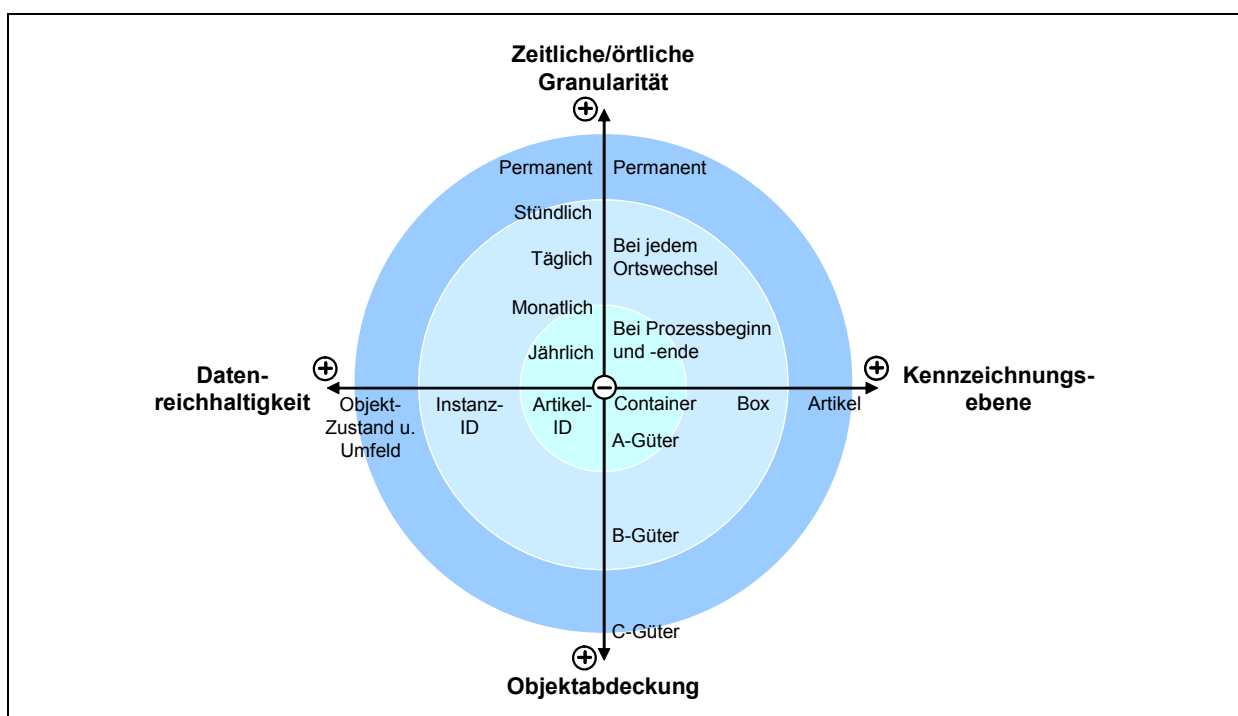


Abbildung 5-23: Dimensionen der Datengranularität

¹³⁷ Die Datengranularität entspricht dem Detaillierungsgrad der Daten. In der betrieblichen Informationsverarbeitung nimmt die Datengranularität mit den komplexer werdenden Aufgaben zu (vgl. Österle et al. 1992, S. 24).

Örtliche Granularität

Eine Erhöhung der örtlichen Granularität kann durch die Errichtung zusätzlicher Erfassungspunkte entlang des Liefernetzwerks vorgenommen werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Daten häufiger gelesen werden, ergibt sich eine genauere Abbildung der realen Materialflüsse in Informationssystemen. Wie eingangs erwähnt, werden auf diese Weise wichtige Prozessschritte abgebildet (bspw. „Produkt X befindet sich in Produktionsstufe Y“) und damit insbesondere ein Beitrag zur Prozesssicherheit geleistet. Fehler können zeitnah aufgedeckt und demzufolge Fehlerfolgekosten minimiert werden, wie das nachfolgende Praxisbeispiel verdeutlicht.

Praxisbeispiel Lemmi Fashion

Der Bekleidungshersteller Lemmi Fashion verkauft in der Regel komplette Kollektionen an den Handel. Fehlt auch nur ein Teil, kann die gesamte Kollektion nicht mehr abgesetzt werden (vgl. CIO 2008). Da Lemmi Fashion Produktionsstätten in Asien unterhält, ist die Ware auf dem Seeweg ca. fünf Wochen unterwegs, bevor sie in den Distributionszentren in Deutschland eintrifft. Bisher herrschte in dieser Zeit Ungewissheit darüber, ob die Kollektionen vollständig eintreffen: Die Barcode-Scans waren nicht immer zuverlässig, da ab und zu Kleidungsstücke versehentlich (und in einigen Fällen auch absichtlich, um eine höhere Produktionsmenge vorzutauschen) mehrmals gescannt wurden. Mit dem Einsatz von RFID ist seit 2006 eine genauere Planung und Steuerung auf Basis detaillierter Lieferlisten möglich (vgl. Konrad 2006). Es ist also bereits fünf Wochen im Voraus bekannt, welche Waren aus Asien nach Deutschland unterwegs sind. Im Falle von unvollständigen Kollektionen kann nun schneller reagiert werden, indem bspw. die fehlenden Teile per Luftfracht nachgeliefert werden.

Zeitliche Granularität

Durch den „always on“-Charakter von RFID werden Objektbewegungen in Echtzeit erfasst. Sobald ein mit einem RFID-Transponder versehenes Objekt das Lesefeld eines Readers betritt, werden seine Daten erfasst und an die entsprechenden Systeme weitergeleitet. Wie in Kapitel 5.2.3.2 gezeigt, ist eine ständige Erfassung von Objekten nicht immer erwünscht. Die zeitliche Granularität kann hierbei durch die Wahl der Länge eines Intervalls variiert werden (z. B. Lesung jede fünf Sekunden, jede Minute usw.). Der Visibilitätsgewinn begründet sich hierbei in der Tatsache, dass Änderungen der Realwelt (Zustand, Position) sofort sichtbar sind. Damit stehen dem Management bei Entscheidungen aktuelle Informationen zur Verfügung.

Kennzeichnungsebene

RFID ermöglicht die eindeutige Kennzeichnung auf allen Ladungsträger-Ebenen (Palette, Box, Produkt). Vor allem die Kennzeichnung auf Produktebene führt zu einer bisher mittels traditioneller Auto-ID-Verfahren nicht realisierbaren Datengranularität. Das Management bekommt Informationen zu den Bewegungen eines jeden einzelnen Objekts, anstatt wie bisher im Regelfall nur die übergeordneten Ladungsträger zu verfolgen. Für die wirtschaftlich sinnvolle Kennzeichnung von Produkten ist der Produktwert zum Transponderpreis in Relation zu setzen.

Objektdeckung

Die Objektdeckung betrachtet den Anteil der mit RFID-Transpondern versehenen Objekte. Die Datengranularität steigt hierbei, je mehr der im Logistiknetzwerk vorhandenen Objekte mit Transpondern versehen werden. Eine 100%-ige Objektdeckung liefert folglich Daten zu allen logistischen Objekten der Supply Chain. In diesem Fall erstreckt sich die *Visibilität*¹³⁸ auf alle potenziellen Materialflüsse und ermöglicht ein umfassendes Monitoring der Abläufe.

Datengranularitätsdimensionen und Diffusion von RFID-Anwendungen

Die *Objektdeckung* sowie die bereits behandelten Dimensionen *Örtliche Granularität* und *Kennzeichnungsebene* können im Sinne der Diffusionstheorie¹³⁹ als drei Diffusionsrichtungen betrachtet werden (vgl. 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)¹⁴⁰. Schließlich kann die Integrationsreichweite eines RFID-Systems erhöht werden, indem mehr aufeinander folgende Prozessschritte einer Wertschöpfungskette – ausgehend von innerbetrieblichen, geschlossenen Systemen bis hin zu zwischenbetrieblichen, offenen Systemen – unterstützt werden. Die folgende Abbildung 5-25 verdeutlicht diesen Sachverhalt grafisch (in Anlehnung an Strassner/Fleisch 2005, S. 52).

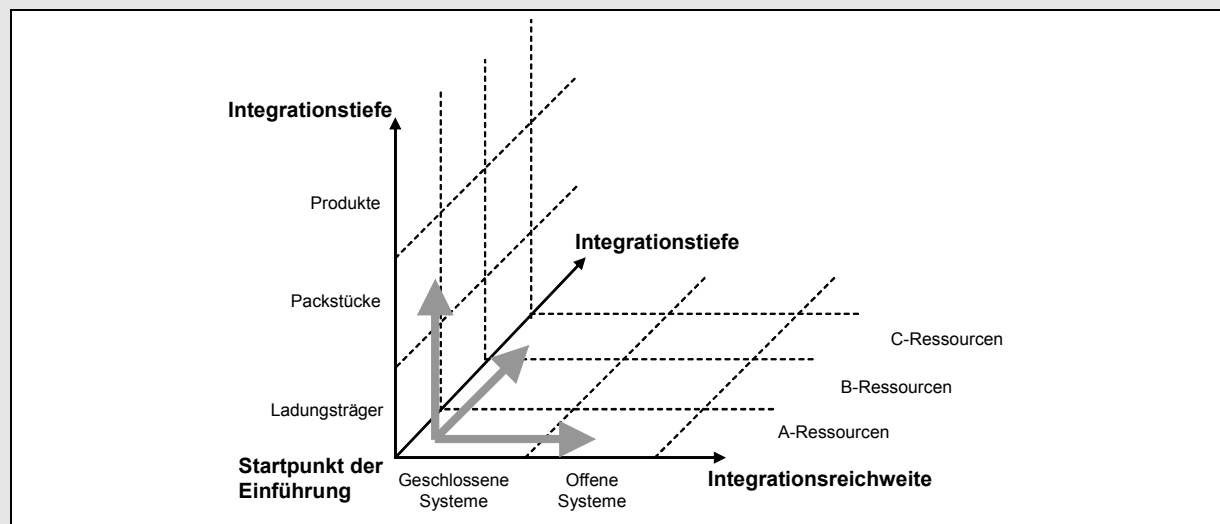


Abbildung 5-24: Diffusion von RFID-Anwendungen

¹³⁸ Eine Definition des *Visibilitäts*begriffs findet sich in Kapitel 5.3.2.

¹³⁹ Für eine detaillierte Betrachtung der Diffusionstheorie siehe bspw. ZERDICK ET AL. (2001).

¹⁴⁰ 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).

Datenreichhaltigkeit

Diese Dimension der Datengranularität steigt mit der Erfassung und Speicherung zusätzlicher Daten zu dem Objekt. Dies können – wie in Kapitel 4 ausführlich betrachtet – bspw. spezifische Produktmerkmale oder Zustands- und Umgebungsdaten (Sensordaten) sein. Diese umfassenden Informationen tragen zur Visibilitätssteigerung bei, da Management-Entscheidungen auf einer größeren Datenbasis beruhen. Es werden mehr Problemvariablen einbezogen, bspw. sind neben dem Aufenthaltsort die produktindividuellen Eigenschaften sowie der genaue Status eines Objekts bekannt.

5.3.2 Visibilität im logistischen Kontext

Zunächst wird in diesem Kapitel der Begriff „Logistische Visibilität“ definiert. Anschließend erfolgt eine Diskussion der RFID-Visibilitätspotenziale und Visibilitätsbedarfe in Logistiknetzwerken sowie eine kurze Herleitung der optimalen Visibilität.

Definition: Logistische Visibilität

Der Begriff „Logistische Visibilität“ bzw. „Supply Chain Visibility“ (SCV)¹⁴¹ wird häufig durch Logistikdienstleister und Anbieter von SCM-Software¹⁴² verwendet, wobei dessen genaue Bedeutung durch die Definitionsvielfalt unklar ist: „*The term ‚visibility‘ lacks a common definition. There is confusion between capabilities of existing supply chain systems and the need for visibility systems*“ (Briggs/Cecere 2003, zitiert nach Francis 2008, S. 181). Insbesondere fehlt es in der Literatur an einer Systematisierung von spezifischen Eigenschaften der SCV. FRANCIS (2008, S 180) konstatiert folgerichtig: „*Lacking heretofore has been a precise definition of SCV which captures its salient characteristics*“. Der Autor kommt nach der Analyse gängiger SCV-Definitionen zu einer umfassenden Begriffsbestimmung: „*Supply chain visibility is the **identity, location and status of entities** transiting the supply chain, captured in timely **messages about events**, along with the **planned and actual dates/times** for these events*“ (Francis 2008, S. 182).¹⁴³ Anhand dieser Definition wird nachfolgend die Kausalbeziehung zwischen dem Ausmaß der Datenerfassung und der Effizienz der Datenanalyse auf der einen Seite (beides kann durch den RFID-Einsatz optimiert werden), sowie der verbesserten Entscheidungsfindung und erhöhten Prozesseffizienz auf der anderen Seite, analysiert.

¹⁴¹ Im Folgenden wird die Abkürzung SCV für die logistische Visibilität verwendet.

¹⁴² Eine kürzlich durchgeführte Studie zur Verwendung des Begriffs SCV in Zeitschriften, wissenschaftlichen Beiträgen, Unternehmensportalen und Newslettern kommt zu dem Ergebnis, dass „*most of the entries are from vendors claiming to have or to provide SCV, often adding adjectives such as total SCV, global SCV, end-to-end SCV and real-time SCV*“ (Francis 2008, S. 180).

¹⁴³ Hervorhebungen im Original.

Visibilitätspotenzial und Visibilitätsbedarf

Vor dem Hintergrund der Entwicklungen auf dem Gebiet der Logistik, insbesondere der erhöhten Komplexität der heutigen Logistiknetzwerke, werden die häufig fehlende SCV von SC-Managern als eine große Herausforderung angesehen (vgl. bspw. Auramo et al. 2002; Lee 2004; Schoenthaler 2003) und Möglichkeiten der IT zur Visibilitätserhöhung verstärkt thematisiert (vgl. etwa Wei/Wang 2007). Immer wieder wird dabei die in den meisten Fällen schlechte Datenqualität – sowohl unternehmensintern als auch bei dem unternehmensübergreifenden Informationsaustausch – als eine Hauptursache für die geringe Visibilität genannt (vgl. z. B. McCrea 2005).

Im Rahmen des Supply Chain Managements können anhand der Prozesse des SCOR-Modells (vgl. Kapitel 2.3) unterschiedliche **Visibilitätsbedarfe** identifiziert werden. Bei dem *Beschaffungsprozess* besteht bspw. ein Visibilitätsbedarf bezüglich der Feststellung, ob Lieferungen vollständig (auch mit den kompletten Dokumenten) und rechtzeitig angekommen sind. Im *Auslieferungsprozess* bestehen z. B. Visibilitätsbedarfe bezüglich der Kommissionierung: Hierbei ist es wichtig, dass die bestellten Produkte in der richtigen Menge kommissioniert werden. RFID stellt in diesem Zusammenhang eine Technologie zur Befriedigung dieser Visibilitätsbedarfe dar, die im Regelfall ein höheres **Visibilitätspotenzial** gegenüber herkömmlichen Technologien bietet.

Anhand der hervorgehobenen Eigenschaften der Visibilitätsdefinition von FRANCIS (siehe Abschnitt „Definition: Logistische Visibilität“) wird nachfolgend dargestellt, wie RFID – gemäß den in Kapitel 5.3.1 dargestellten Potenzialen bezüglich der Datengranularität – im Vergleich zu Barcode-Systemen die SCV erhöhen kann:

- Durch die individuelle Kennzeichnung von Produktinstanzen kann eine eindeutige **Identität** auf Produktebene jederzeit gewährleistet werden. Barcodes liefern dagegen lediglich Informationen zu der Objektklasse.
- Durch die Installation einer feinmaschigen RFID-Lesegeräteinfrastruktur kann der **Ort** des logistischen Objekts genau lokalisiert werden. Bei Barcode-Systemen werden aufgrund der teuren manuellen Erfassung die Objekte seltener erfasst und können daher in der Regel nur grob lokalisiert werden.
- Der **Status** von Objekten kann mittels Sensoren erfasst werden, da RFID-Transponder im Gegensatz zu den Barcodes die Möglichkeit der dynamischen Ergänzung von Daten bieten.
- Die genannten feingranularen Informationen können beim RFID-Einsatz aufgrund der Möglichkeit, produktindividuelle IDs zu vergeben, für alle möglichen logistischen **Entitäten** erhoben werden.

Wie die Ausführungen verdeutlichen, hat die RFID-Technologie das Potenzial, ein genaueres und aktuelleres Abbild der Realwelt in der digitalen Welt als alternative Auto-ID-Technologien zu erzeugen und damit einen höheren Grad der SCV zu ermöglichen. Der Grad der SCV definiert dabei die Informationsbasis (je höher die SCV, desto umfangreicher und detaillierter die vorhandenen Informationen), die dem Entscheidungsprozess unterliegt, der bspw. durch das SCEM (vgl. Kapitel 5.2.3.4.1) automatisiert werden kann.

Optimale Visibilität

Eine Investition in die RFID-Technologie zur Erhöhung der Visibilität in Logistiknetzwerken stellt eine strategische Entscheidung dar, welcher eine genaue Planung insbesondere hinsichtlich der Transponderwahl, Anzahl und Platzierung der Lesegeräte sowie Installation einer geeigneten Middleware vorausgehen sollte. Dabei muss die Wirtschaftlichkeit der Visibilitätssteigerung gewährleistet werden. Führt eine Erhöhung der Visibilität nicht zu einer effizienteren Abwicklung der logistischen Prozesse, dann ist sie entweder unter Kosten-Nutzen-Aspekten nicht gerechtfertigt oder im Hinblick auf die entstehende Informationsflut („Information Overload“)¹⁴⁴ nicht sinnvoll. Den angemessenen Grad an Visibilität stellt daher das Gleichgewicht zwischen dem Visibilitätsbedarf im SCM und dem Visibilitätspotenzial von RFID dar. Die folgende Abbildung 5-25 veranschaulicht, dass dieses Gleichgewicht sich in dem Punkt befindet, wo zusätzliche Visibilitätskosten (ergo: Kosten der RFID-Investition) die zusätzlichen Nutzenpotenziale (ergo: Kostenvermeidung und Umsatzerhöhung) übersteigen.

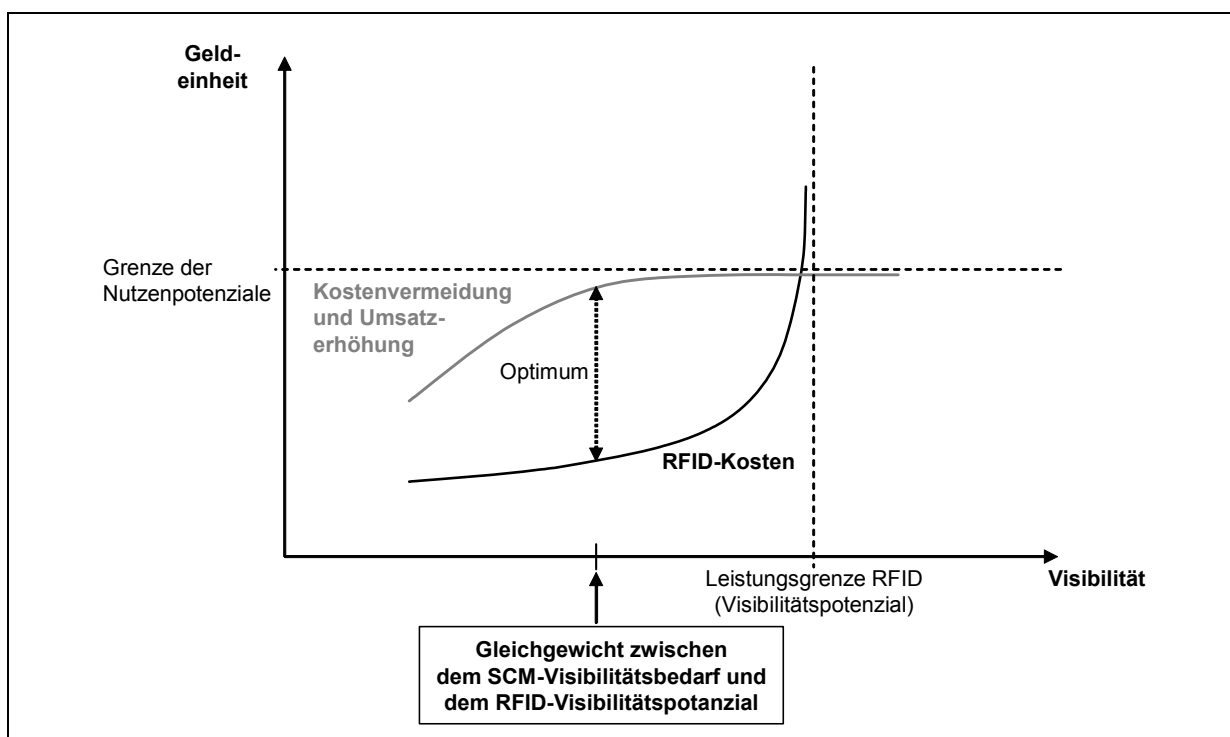


Abbildung 5-25: Optimale Visibilität durch den RFID-Einsatz

Diese Betrachtung ist idealtypisch und nimmt an, dass beide Dimensionen kontinuierlicher Natur sind. In der Realität wird es aber eher diskrete Visibilitätsstufen geben (quasi Visibilitäts-sprünge), denen sich Nutzenpotenziale zuordnen lassen. Nachfolgend werden Kosten-Nutzen-Betrachtungen auf Basis eines bewusst einfach gehaltenen Modells einer dreistufigen Logistikkette (vgl. Beispielszenario aus Kapitel 5.1) durchgeführt, um den angemessenen Grad an Visibilität zu untersuchen, der durch den RFID-Einsatz unter den aktuellen Bedingungen (insbesondere der derzeitigen Technologiereife und -kosten) erreicht werden kann.

¹⁴⁴ Der Begriff *Information Overload* bezeichnet allgemein „stress induced by reception of more information than is necessary to make a decision (or that can be understood and digested in the time available) and by attempts to deal with it with outdated time management practices“ (vgl. Business Dictionary 2009).

5.3.3 Kosten-Nutzen-Modell

In diesem Kapitel werden anhand eines Kosten-Nutzen-Modells¹⁴⁵ die Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf die logistische Visibilität analysiert. Zunächst werden hierzu konzeptionelle Vorüberlegungen angestellt, in denen Annahmen getroffen sowie das Wirkungs- und Prozessmodell vorgestellt werden (Kapitel 5.3.3.1). Anschließend werden Herausforderungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung in RFID-Projekten diskutiert sowie Kosten und Nutzenpotenziale systematisiert (Kapitel 5.3.3.2). Daran schließt sich die Analyse der für das Modell relevanten RFID-Wirkungen im Bereich der Kosten (Kapitel 5.3.3.3) und im Bereich der Nutzenpotenziale (Kapitel 5.3.3.4) an. Anhand eines konkreten Anwendungsfalls wird in Kapitel 5.3.3.5 schließlich der Beitrag von RFID zur Visibilitätserhöhung untersucht und interpretiert.

5.3.3.1 Konzeptionelle Vorüberlegungen

In diesem Abschnitt folgt zunächst die Diskussion der Modellannahmen (Kapitel 5.3.3.1.1). Danach wird zur Veranschaulichung der Zusammenhänge im System auf das Wirkungs- und Prozessmodell eingegangen (5.3.3.1.2).

5.3.3.1.1 Modellannahmen

In dem nachfolgend formulierten Modell werden die Datengranularitätsdimensionen „Örtliche Granularität“ und „Kennzeichnungsebene“ betrachtet. Durch Variation dieser Dimensionen werden Auswirkungen auf die Visibilität analysiert und in einem simpel gehaltenen Kosten-Nutzen-Modell quantifiziert. Diese Dimensionen wurden für die vorliegende Untersuchung gewählt, da hier zum einen der Einfluss der Akteure auf diese Parameter eindeutig gegeben ist: Durch die Investition in die Lesegeräteinfrastruktur wird die Ortsgranularität erhöht und durch die Wahl der zu kennzeichnenden Objekte die Dimension der Kennzeichnungsebene bestimmt (vgl. Abbildung 5-26). Zum anderen kann die kausale Beziehung zwischen diesen Datengranularitätsdimensionen und den Kosten (diese steigen an mit der höheren Granularitätsstufe) sowie Nutzenpotenzialen (steigen mit höherer Visibilität) hergeleitet werden.¹⁴⁶ Die Kosten und Nutzenpotenziale der Visibilitätserhöhung lassen sich demnach bestimmen.

¹⁴⁵ Relativ einfach gehaltene Kosten-Nutzen-Modelle werden häufig in der Literatur verwendet, um die Wirtschaftlichkeit von RFID zu untersuchen. Bspw. stellen DECKER ET AL. (2008) ein solches Modell auf, um zu analysieren, „[...] what Smart Item technology should be favored in a concrete application in order to implement the Internet of Things most suitable“ (Decker et al. 2008, S. 155).

¹⁴⁶ Bspw. lassen sich bei der Dimension der zeitlichen Granularität die Effekte der Visibilitätserhöhung schwieriger bestimmen und sind u. U. nicht nur vom RFID-System abhängig, sondern schließen die Informationsversorgung der SC-Akteure untereinander ein.

	Gering	Mittel	Hoch
Örtliche Granularität	Prozessstart und –ende (z. B. Warenein- und Warenausgang)	Zustandsänderungen innerhalb eines LN-Akteurs	Alle relevanten Zustandsänderungen
Zeitliche Granularität	Wöchentliche Datenaktualisierung	Tägliche - stündliche Datenaktualisierung	Permanente Datenaktualisierung
Kennzeichnungsebene	Palette	Box	Produkt
Objektdeckung	Geringer Anteil der mit RFID-Transpondern versehenen Objekte	Mittlerer Anteil der mit RFID-Transpondern versehenen Objekte	Hoher Anteil der mit RFID-Transpondern versehenen Objekte
Datenreichhaltigkeit	Eindeutige ID	Zusätzliche objektbezogene Daten	Objektstatus und Umgebungsdaten

- variable Datengranularitätsdimension
 - vorgegebene Datengranularitätsdimension

Tabelle 5-13: Variable und vorgegebene Datengranularitätsdimensionen im Modell

Nachfolgend werden die beiden relevanten Dimensionen „Örtliche Granularität“ und „Kennzeichnungsebene“ im Detail besprochen.

Dimension „Örtliche Granularität“

Die örtliche Granularität erhöht sich mit der Anzahl der Erfassungspunkte entlang der Lieferkette. Je mehr Erfassungspunkte vorhanden sind, desto genauer können Materialflüsse abgebildet werden und desto höher ist folglich die dadurch geschaffene Visibilität einzuschätzen. Die Entscheidung über die Ausgestaltung der Leseinfrastruktur kann jeder Akteur selbständig treffen. Es sind also Szenarien möglich, bei denen der Produzent eine niedrige und der Händler eine hohe örtliche Granularität aufweist. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Datengranularitätsstufen dieser Dimension anhand möglicher Zustände erläutert.

Bei einer niedrigen örtlichen Granularität werden lediglich Lesegeräte an den Warenein- und Warenausgängen installiert. Somit werden nur die Zustände „Transport“, „Distributionslager“ und „Zwischenlager (des Händlers)“ im System abgebildet (siehe Abbildung 5-27). RFID-Informationen zu innerbetrieblichen Prozessen sind in dieser Stufe der Datengranularität nicht verfügbar.

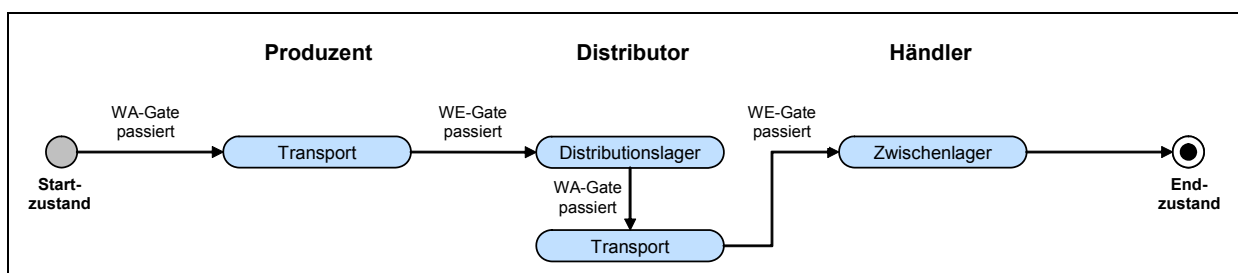


Abbildung 5-27: Niedrige Ortsgranularität – Zustände

Eine mittlere örtliche Granularität bildet neben den bereits erwähnten Zuständen, die Zustände „Produktionslager“, „Kommissionierbereich (beim Distributor)“ und „Verkaufsfläche (beim Händler)“ ab (siehe Abbildung 5-28). Hierzu sind weitere Erfassungspunkte an den relevanten Übergängen bei den Akteuren notwendig.

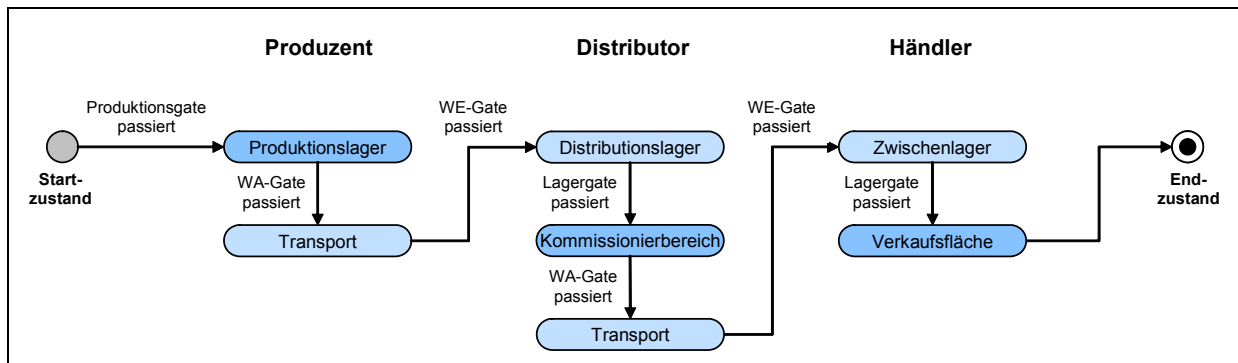


Abbildung 5-28: Mittlere Ortsgranularität – Zustände

Um eine hohe Ortsgranularität zu erreichen, müssen weitere Erfassungspunkte eingerichtet werden. Hierbei ist insbesondere die Installation von Regallesegeräten im Lagerbereich (alle Akteure) sowie auf der Verkaufsfläche (Händler) zur Überwachung der Lagerbestände zu nennen. Insgesamt können neben den bereits diskutierten Zuständen die Einlagerungs- und Auslagerungsprozesse im System abgebildet werden (siehe Abbildung 5-29). Auf diese Weise wird eine hohe Visibilität der Materialflüsse gewährleistet, da in dieser Granularitätsstufe alle relevanten Prozessänderungen durch das RFID-System erfasst werden. Dabei gilt, dass mit der Vollständigkeit und Aktualität des Prozessabbilds die Prozessbeeinflussung steigt und insbesondere kurzfristige Reaktionen auf unvorhergesehene Ereignisse, wie z. B. Störungen, möglich sind (vgl. Neumann 2006, S. 7).

Dimension „Kennzeichnungsebene“

Die Kennzeichnungsebene kann im Gegensatz zu der örtlichen Granularität nicht von jedem Akteur individuell bestimmt werden, sondern wird für das gesamte Logistiknetzwerk festgelegt. Je nach Verhandlungsmacht der Teilnehmer können dominante Unternehmen die Kennzeichnungsebene festsetzen oder es wird – im Falle, dass sich kein dominierender Teilnehmer herauskristallisiert – gemeinsam darüber entschieden. Mit jeder sukzessiven Datengranularitätsstufe (Palette – Box/Verpackung – Produkt) erhöhen sich einerseits die Kosten für die Transponderanschaffung (da mehr Objekte mit diesen versehen werden müssen), andererseits steigen die realisierbaren Nutzenpotenziale aufgrund der Möglichkeit, jedes einzelne Produkt auf seinem Weg durch die Lieferkette zu verfolgen.

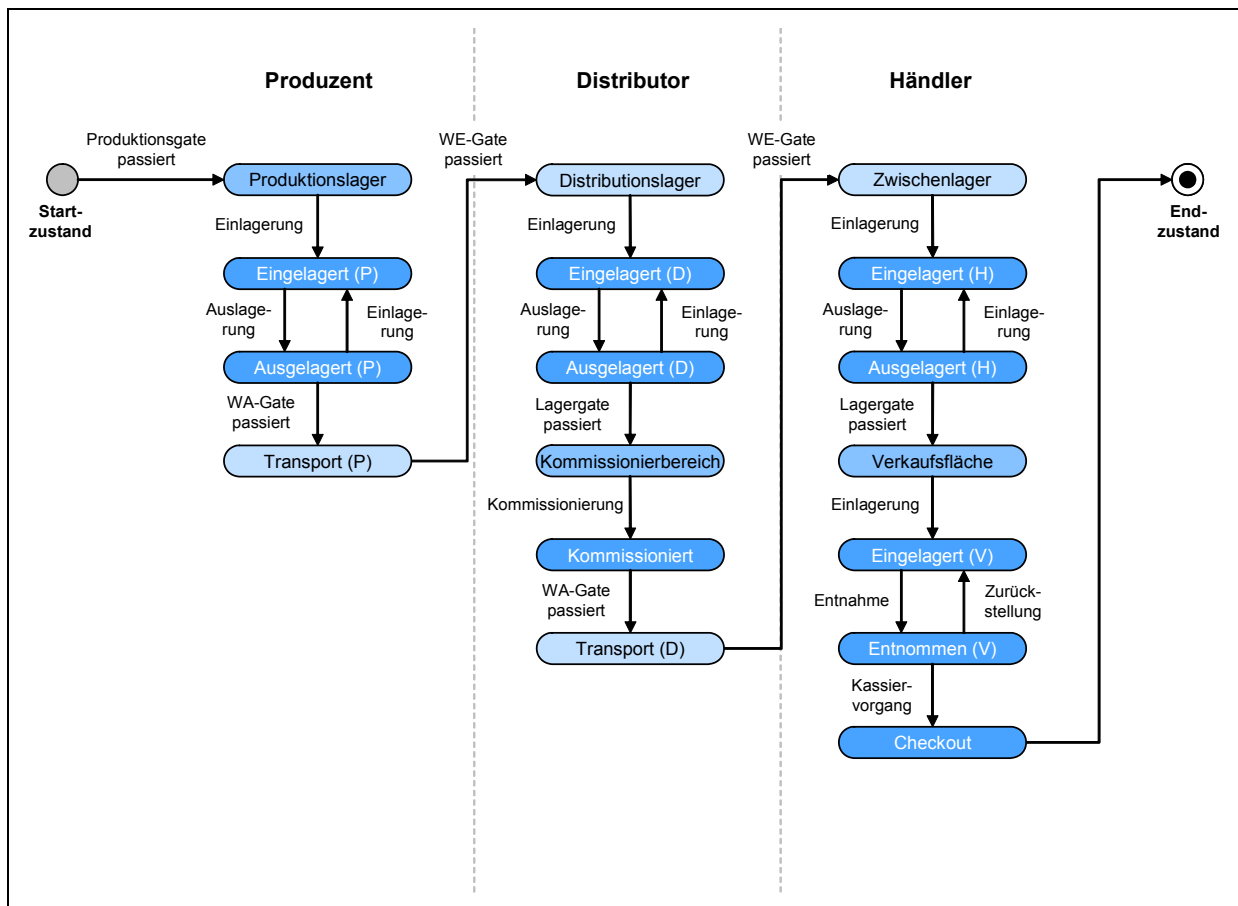


Abbildung 5-29: Hohe Ortsgranularität – Zustände

5.3.3.1.2 Wirkungs- und Prozessmodell

Um den Zusammenhang zwischen dem RFID-Einsatz und der logistischen Visibilität darzustellen, wird nachfolgend ein Wirkungsmodell entwickelt, welches im Sinne der Komplexitätsreduktion die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Systemelementen darstellt.¹⁴⁷ Anschließend wird auf das dem Wirkungsmodell zugrunde liegende Prozessmodell eingegangen.

Wirkungsmodell

Den Ausgangspunkt des Modells stellt die Datengranularität dar, die anhand der Dimensionen „Örtliche Granularität“ und „Kennzeichnungsebene“ variiert werden kann und somit die Ursache bzw. den Hebel für die Wirkungen in dem kausalen Zusammenhang darstellt. Auf abstrakter Ebene kann die Auswirkung der Datengranularitätserhöhung in zwei Bereichen betrachtet werden: Zum einen steigt die logistische Visibilität, zum anderen erhöhen sich auch die Anforderungen an das einzusetzende RFID-

¹⁴⁷ Wirkungsmodelle stellen Systemelemente und die Beziehungen zwischen diesen Elementen dar. Sie beantworten daher die Fragen: „Wie wirkt ein Element auf die anderen?“ (Behrendt et al. 2003, S. 3). Die Beziehungen zwischen den Systemelementen werden in einem Wirkungsmodell mittels Pfeilen dargestellt. Sie können unterschiedliche Richtungen und Stärken haben. Wirkungsmodelle sind traditionell insbesondere in der Pädagogik, Medizin und Politikevaluation anzutreffen, finden jedoch seit Jahren vermehrt Anwendung in der betriebswirtschaftlichen Managementforschung, wo sie zur Problemerkennung und Identifikation von Handlungsalternativen eingesetzt werden (vgl. bspw. Gomez/Probst 1997).

System. Auf der monetären (ergo: quantifizierbaren) Ebene führt die Erhöhung der Visibilität zu Nutzenpotenzialen in Form von Kostensenkung und Umsatzerhöhung. Die erhöhten RFID-Anforderungen schlagen sich in höheren einmaligen Investitionskosten sowie wiederkehrenden RFID-Kosten nieder. Schließlich entfalten die Nutzenpotenziale positive und die Kosten negative Wirkung auf den Barwert bzw. ROI der RFID-Implementierung. Je nach Stärke der Wirkungen werden diese Kennzahlen positiv oder negativ und könnten so Aufschluss über den auf Basis von RFID zu erreichenden optimalen Visibilitätsgrad geben. Das beschriebene Wirkungsmodell ist zur besseren Veranschaulichung in Abbildung 5-30 dargestellt.

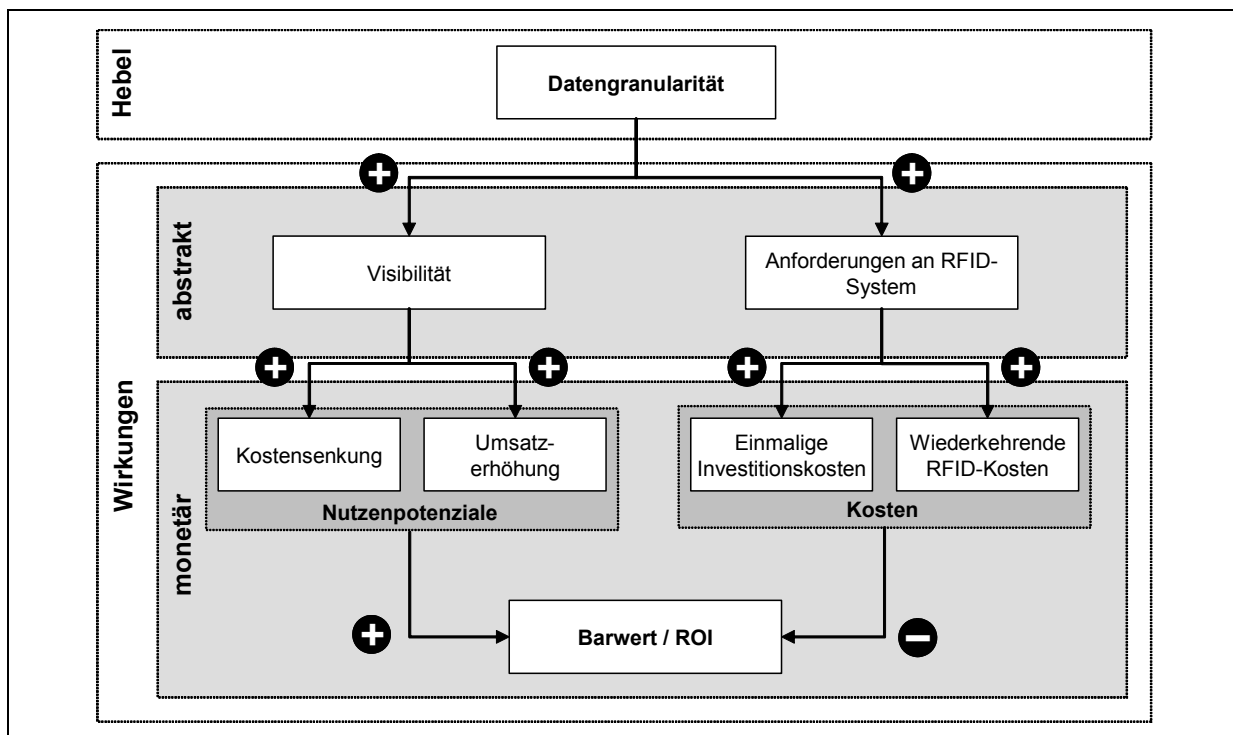


Abbildung 5-30: Wirkungsmodell

Prozessmodell

Um die RFID-Wirkungen analysieren zu können, wird das in Abbildung 5-31 dargestellte Prozessmodell eingeführt. Es basiert auf den SCOR-Prozessen (vgl. Kapitel 2) und ist in die drei Bereiche Auslieferung, Beschaffung sowie Lager- und Regalmanagement aufgeteilt. Die beiden erstgenannten Bereiche gliedern sich in die einzelnen Prozesselemente auf, die in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert werden. Der Bereich des Lager- und Regalmanagements beinhaltet die Betrachtung der Auswirkungen des RFID-Einsatzes auf die Out-of-Stock- und Schwundquote sowie auf die Kapitalbindung.

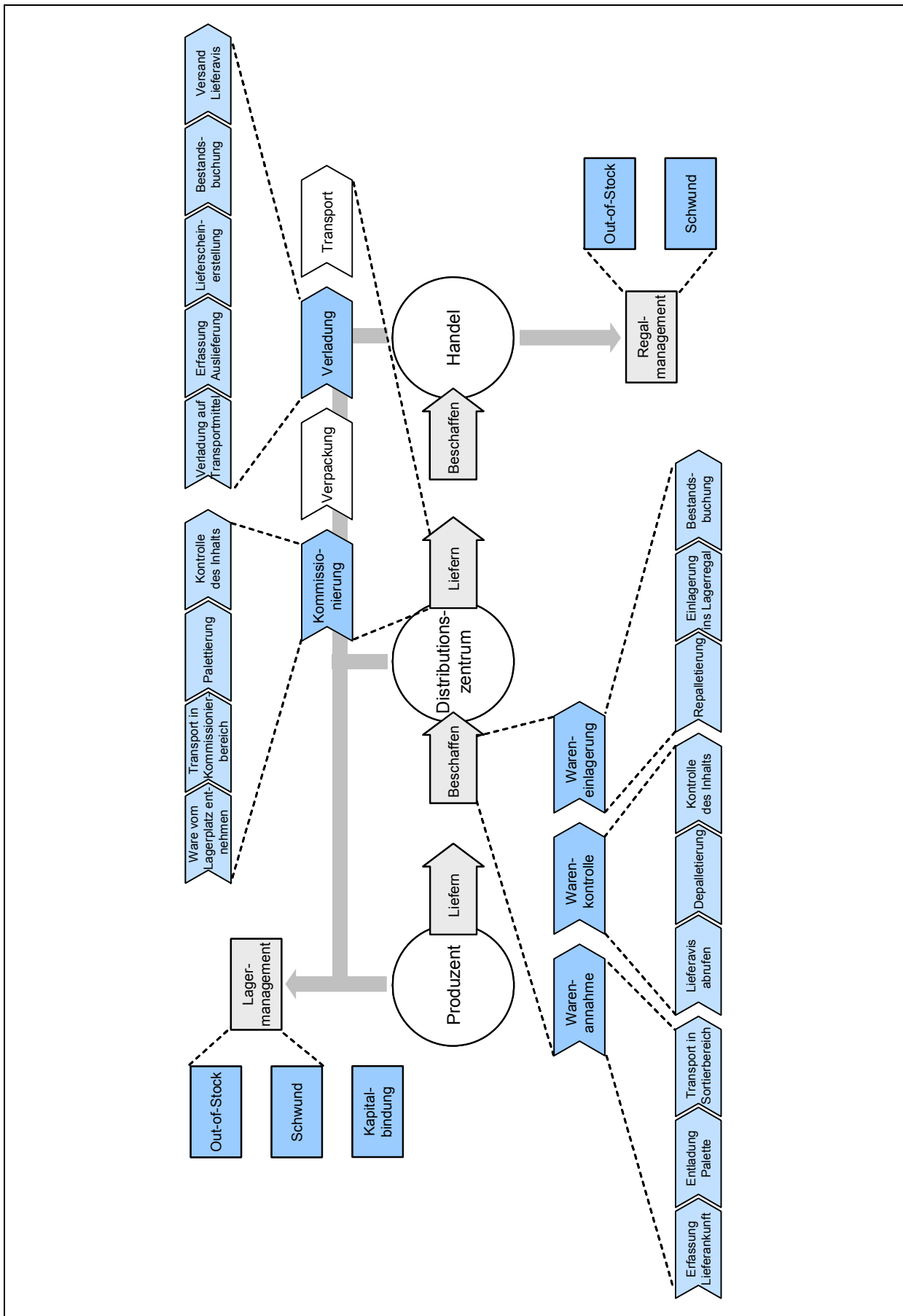


Abbildung 5-31: Relevante Prozesse des Kosten-Nutzen-Modells

5.3.3.2 Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes

Unter der Wirtschaftlichkeit einer RFID-Investition wird in dieser Arbeit das Verhältnis zwischen dem erzielten RFID-Nutzen und den dafür entstehenden RFID-Kosten verstanden (vgl. zur allgemeinen Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von IT-Systemen Schumann 1992, S. 53 ff.; für spezifische Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von RFID-Systemen vgl. Jansen/Mannel 2005, S. 86; Vilkov 2007, S. 214). Zunächst werden Herausforderungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung in RFID-Projekten thematisiert (Kapitel 5.3.3.2.1). Abschnitt 5.3.3.2.2 widmet sich der allgemeinen Quantifizierung des RFID-Nutzens. Schließlich werden die konkreten Kostenelemente und Nutzenpotenziale systematisiert (5.3.3.2.3).

5.3.3.2.1 Herausforderungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung in RFID-Projekten

Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer IT-Investition ist traditionell nicht einfach zu beantworten (vgl. Schumann 1992, S. 66), RFID-Projekte verfügen darüber hinaus über eine weitere Besonderheit: Da der Großteil der Investitionssumme den Datenerfassungskomponenten (Transponder und Lesegeräte) zugeschrieben wird, handelt es sich bei RFID um eine Infrastruktur-Technologie. Die Nutzenpotenziale werden jedoch in den angeschlossenen Applikationen generiert. Dies erschwert die Berechnung des Return on Investment (ROI). Noch komplexer stellt sich der Sachverhalt dar, wenn die Anschaffung der RFID-Komponenten zu einer umfangreichen Infrastrukturmaßnahme zählt, die zukünftig für weitere RFID-Anwendungen verwendet werden soll (vgl. Koch/Deiters 2007, S. 198).¹⁴⁸

Nicht zuletzt aufgrund dieser Besonderheit hat sich eine einheitliche Systematik zur RFID-Wirtschaftlichkeitsbewertung bisher noch nicht durchgesetzt, obwohl die Wirtschaftlichkeit von RFID-Systemen immer mehr in den Vordergrund von entsprechenden Praxisprojekten tritt. In der Literatur wird häufig die Anwendung erprobter Instrumente – mit geeigneten Anpassungen bzw. Erweiterungen – propagiert. Generell wird die folgende Vorgehensweise zur Beurteilung von RFID-Investitionen vorgeschlagen (vgl. Subirana et al. 2003; Sander/Stieler 2006, S. 65 ff.; Brown 2007, S. 226 ff.; Giltert/Hansen 2007, S. 79 ff.; Scholz-Reiter et al. 2007):

- 1) **Beschreibung des Ist-Zustands:** Das betrachtete Anwendungsszenario wird zunächst in einzelne Schritte zerlegt. Die identifizierten Haupt- und Teilprozesse werden modelliert und den Prozessen werden Performance-Metriken zugeordnet (z. B. durchschnittliche Personal- und Materialkosten).
- 2) **Definition des Soll-Zustands:** Hier erfolgen die Identifikation von Prozessschritten, die durch den RFID-Einsatz beeinflusst werden, und Darstellung des RFID-gestützten Szenarios mitsamt den angepassten Performance-Metriken. Hierbei müssen Annahmen zum einen über die technischen Voraussetzungen (bspw. welche Leserate wird benötigt?) und zum anderen über die Auswirkungen des RFID-Einsatzes (da im Gegensatz zum Ist-Prozess bspw. keine Zeitnahmen möglich sind) getroffen werden.

¹⁴⁸ Traditionelle betriebswirtschaftliche Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung stoßen allgemein bei neuen und diskontinuierlichen Technologien wie RFID an ihre Grenzen. BROWN konstatiert folgerichtig: „*There is simply no certain way to quantify the results of something that will change the way a business performs*“ (Brown 2007, S. 170).

- 3) **Analyse der Kosten und Nutzenpotenziale:** In diesem Schritt werden die Kosten des RFID-Systems ermittelt und die Nutzenpotenziale identifiziert. Die Nutzenpotenziale lassen sich in drei Kategorien einteilen: *Qualitative Nutzenpotenziale*, wie z. B. Imageverbesserungen, können nur schwer quantifiziert und müssen unter Formulierung geeigneter Annahmen geschätzt werden. *Kosteneinsparungen* sind in der Regel das primäre Ziel einer RFID-Implementierung und können durch Prozessverbesserungen (z. B. durch Automatisierung von repetitiven Tätigkeiten) sowie Beseitigung von Fehlerquellen (falsche Dateneingaben, Schwund) erzielt werden. Die dritte Kategorie bilden *Erlössteigerungen*, die etwa durch die Reduktion von Fehlmengen (Out-of-Stock) erzielt werden können.
- 4) **Ermittlung von Kennzahlen:** Hier kann z. B. der Barwert oder der ROI der Investition für den gewählten Zeithorizont berechnet werden. Zusätzlich wird in der Literatur vorgeschlagen, den risikoadjustierten ROI (vgl. hierzu bspw. Brown 2007, S. 243 ff.) zu ermitteln, der aufgrund des innovativen Charakters der RFID-Technologie eine realistischere Prognose abgibt.

5.3.3.2.2 Quantifizierung des RFID-Nutzens

Bevor die einzelnen RFID-Wirkungen auf die Kosten und Nutzenpotenziale analysiert werden, sollen zunächst die allgemeinen finanziellen Aspekte des RFID-Einsatzes diskutiert werden. Hierzu werden die in Tabelle 5-14 dargestellten Variablen eingeführt.

i	Stufe des Logistiknetzwerks
t	Jahr
T	Zeithorizont für die Jahre $t = 1, \dots, T$
$P_{RFID,i,t}$	RFID-induzierter Profit für Stufe i in Jahr t
N_t	Nachfrage in Jahr t
$N_{RFID,t}$	Nachfrage beim Einsatz von RFID in Jahr t
$S_{i,t}$	Stückgewinn für Stufe i in Jahr t
$S_{RFID,i,t}$	Stückgewinn beim Einsatz von RFID für Stufe i in Jahr t
$K_{RFID,i,t}$	Gesamte Kosten des RFID-Systems für Stufe i in Jahr t
n_{RFID}	Nachfrageerhöhung durch den Einsatz von RFID [Prozent]
$m_{RFID,i}$	Erhöhung des Stückgewinns durch den RFID-Einsatz (aufgrund effizienterer Prozesse etc.) für Stufe i [Prozent]
$WK_{RFID,i,t}$	Wiederkehrende Kosten für Stufe i in Jahr t
$KINV_{RFID,i}$	RFID-Investitionskosten für Stufe i
r	Kalkulationszinsfuß

Tabelle 5-14: Allgemeine Modellvariablen

Die RFID-Kosten spalten sich in Investitionskosten $KINV_{RFID,i}$ (diese fallen einmalig im ersten Jahr an) und wiederkehrende Kosten $WK_{RFID,i,t}$ (die genaue Zusammensetzung der Kostenkomponenten wird in Kapitel 5.3.3.3 behandelt):

$$K_{RFID,i,T} = KINV_{RFID,i} + \sum_{t=1}^T WK_{RFID,i,t} \quad (1)$$

Auf der Seite der Nutzenpotenziale kann zunächst davon ausgegangen werden, dass durch den RFID-Einsatz die Nachfrage aufgrund der Vermeidung von Umsatzverlusten („lost sales“) um den Prozentsatz n_{RFID} steigen kann (dies wird in Kapitel 5.3.3.4 ausführlicher begründet). Somit ergibt sich für die RFID-induzierte Nachfrage:¹⁴⁹

$$N_{RFID,t} = N_t (1 + n_{RFID}) \quad (2)$$

Neben der Nachfrageerhöhung ist auch davon auszugehen, dass der Stückgewinn aufgrund der geringeren operativen Kosten um den Prozentsatz $m_{RFID,i}$ erhöht werden kann:

$$S_{RFID,i,t} = S_{i,t} (1 + m_{RFID,i}) \quad (3)$$

Unter den getroffenen Annahmen berechnet sich der RFID-induzierte Profit $P_{RFID,i,t}$ aus der neuen Nachfrage multipliziert mit dem höheren Stückgewinn vermindert um die entstandenen RFID-Kosten:¹⁵⁰

$$P_{RFID,i,t} = N_{RFID,t} S_{RFID,i,t} - K_{RFID,i,t} \quad (4)$$

Der Barwert¹⁵¹ über einen Zeithorizont T kann demzufolge mit der nachfolgenden Formel berechnet werden:

$$BW_{RFID,i} = -KINV_{RFID,i} + \sum_{t=1}^T P_{RFID,i,t} (1 + r)^{-t} \quad (5)$$

Das finanzielle Nutzenpotenzial des RFID-Einsatzes Δ_{RFID} lässt sich ausgehend von den Gleichungen (4) und (5) folgendermaßen berechnen:

$$\Delta_{RFID} = -KINV_{RFID,i} + \sum_{t=1}^T \{N_t S_{i,t} [(1 + m_{RFID,i})(1 + n_{RFID}) - 1] - WK_{RFID,i,t}\} (1 + r)^{-t} \quad (6)$$

¹⁴⁹ Es wird dabei die komplexitätsreduzierende Annahme getroffen, dass die Nachfrageerhöhung durch den Einsatz von RFID für jede Periode konstant bleibt. Mögliche Reaktionen der Wettbewerber werden im Modell nicht berücksichtigt.

¹⁵⁰ Die Berechnung des RFID-induzierten Profits ist an die Ausführungen von ÖZELKAN und GALAMBOSI (2008, S. 19 ff.) angelehnt.

¹⁵¹ Der Barwert entspricht dem Wert, den in Zukunft anfallende Zahlungsströme in der Gegenwart besitzen. Damit können verschiedene Investitionsalternativen mit unterschiedlichen Eigenschaften (z. B. unterschiedliche Laufzeiten) verglichen werden.

Der Return on Investment (ROI)¹⁵² lässt sich schließlich als der Quotient des finanziellen Nutzenpotenzials und der gesamten RFID-Kosten berechnen:

$$ROI_{RFID} = \frac{\Delta_{RFID}}{KINV_{RFID,i} + \sum_{t=1}^T WK_{RFID,i,t} (1+r)^{-t}} \quad (7)$$

Nachfolgend erfolgt eine genauere Beschreibung der relevanten Kosten und Nutzenpotenziale.

5.3.3.2.3 Systematisierung der Kosten und Nutzenpotenziale

Die Kosten einer IT-Investition teilen sich generell in einmalige Investitionskosten und wiederkehrende Kosten auf (vgl. Schumann 1992, S. 67 ff.). Die **einmaligen Investitionskosten** fallen am Anfang des RFID-Projekts an und können wiederum grundlegend in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- Die *Hardware-Kosten* setzen sich aus den Anschaffungskosten für die Reader sowie deren Installation zusammen.
- Zu den *Software-Kosten* gehören die Kosten für die Middleware und eventuell für zusätzliche Anwendungssoftware (z. B. Monitoringanwendung). Hinzu kommen Kosten für die Installation und Konfiguration der Software (inklusive Anbindung an die bestehenden Backend-Systeme).

Zum anderen teilen sich die Kosten in **wiederkehrende Kosten** auf. Hierzu gehören die *Wartungskosten* für die Hard- und Software, wobei in der Regel ein Prozentsatz der relevanten Anschaffungskosten bei der Kalkulation angesetzt wird. Den größten Block stellen hier jedoch die Kosten für die *Anschaffung von Transpondern* dar.

Auf der positiven Seite der Wirtschaftlichkeitsberechnung können zunächst Potenziale zur **Kostensenkung** unterschieden werden. Diese können – wie bereits in den konzeptionellen Vorüberlegungen in Kapitel 5.3.3.1 ausgeführt – durch effizientere Beschaffungs- und Auslieferungs- und Inventurprozesse, Schwundreduktion sowie Verringerung des in der Lagerhaltung gebundenen Kapitals realisiert werden. Daneben existieren auch Potenziale zur **Umsatzerhöhung**. Hier können durch die Vermeidung von Out-of-Stock-Situationen erhöhte Umsätze generiert werden. Abbildung 5-32 stellt abschließend die im Modell berücksichtigten Kosten und Nutzenpotenziale anhand eines Ishikawa-Diagramms¹⁵³ dar. Die einzelnen Bestandteile werden im folgenden Kapitel mittels mathematischer Formeln modelliert.

¹⁵² Der Return on Investment (ROI) gibt Aufschluss über das Verhältnis von Investition und Gewinn, wobei die Investitionskosten zu dem erwarteten Gewinn in Beziehung gesetzt werden.

¹⁵³ *Ishikawa-Diagramme*, auch *Ursache-Wirkung-Diagramme* genannt, kommen ursprünglich aus der Qualitätsmanagement-Forschung (vgl. Graf/Janssens 2008, S. 171 ff.). Sie stellen Kausalitätsbeziehungen (Problemsachen und deren Auswirkungen) in Form einer Fischgräte dar.

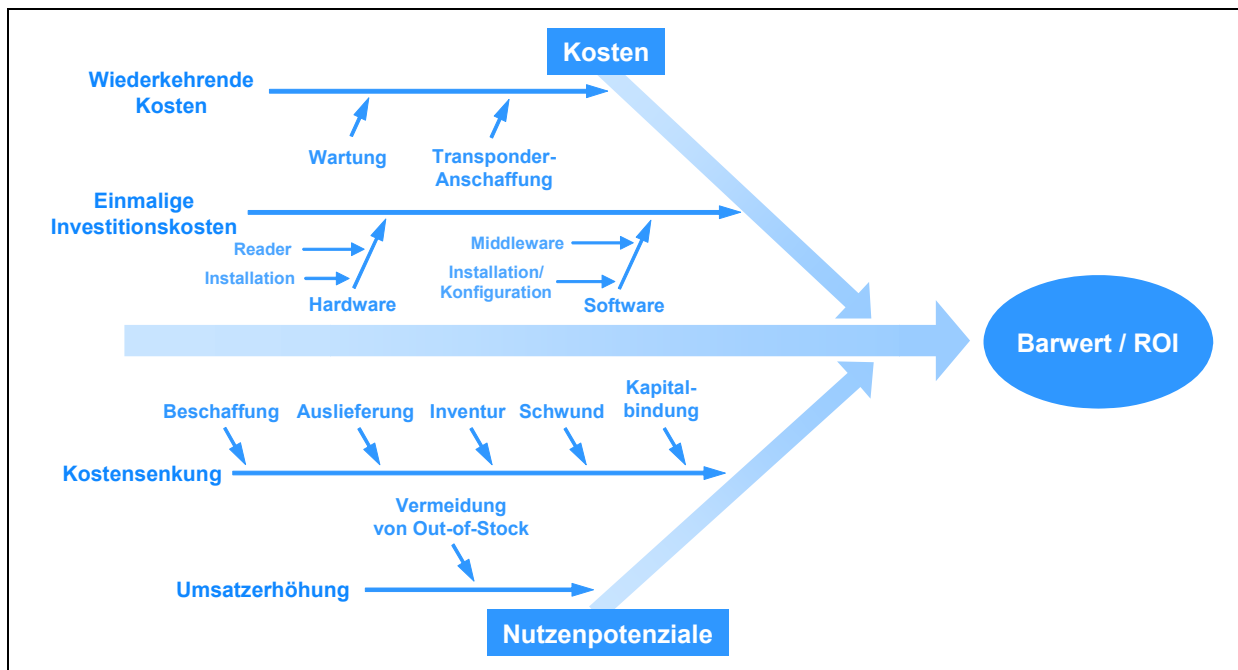


Abbildung 5-32: Kosten und Nutzenpotenziale im Modell

5.3.3.3 Analyse der RFID-Wirkungen im Bereich der Kosten

Im Folgenden werden die Wirkungen im Bereich der einmaligen Investitions- (Kapitel 5.3.3.3.1) sowie der wiederkehrenden RFID-Kosten analysiert.

5.3.3.3.1 Einmalige Investitionskosten

Die Modellvariablen bezüglich der einmaligen Investitionskosten sind in Tabelle 5-15 dargestellt.

$MR_{i,g}$	Anzahl mobiler Reader in Stufe i in Abhängigkeit von örtlicher Granularität g
$GR_{i,g}$	Anzahl Gate-Reader in Stufe i in Abhängigkeit von örtlicher Granularität g
P_{MR}	Preis eines mobilen Readers
P_{GR}	Preis eines Gate-Readers
IK_R	Installationskosten pro Reader als Prozentsatz der Reader-Kosten
$KMDW_{i,g,k}$	Middleware-Kosten in Stufe i in Abhängigkeit von örtlicher Granularität g und Kennzeichnungsebene k
IK_{MDW}	Installations- und Konfigurationskosten für die Middleware als Prozentsatz der Middleware-Kosten

Tabelle 5-15: Modellvariablen: Einmalige Investitionskosten

Die Investitionskosten $KINV_{RFID,i}$ berechnen sich aus der Summe der Reader-Kosten (jeweils das Produkt aus Reader-Anzahl und Preis), Installationskosten (Multiplikation mit dem Prozentsatz IK_R)

und Middleware-Kosten, die sich aus den Anschaffungskosten sowie Installations- und Konfigurationskosten (wiederum als Multiplikator IK_{MDW}) zusammensetzen:

$$KINV_{RFID,i} = (MR_{i,g} p_{MR} + GR_{i,g} p_{GR}) (1 + IK_R) + KMDW_{i,g,k} (1 + IK_{MDW}) \quad (8)$$

Die Anzahl der Reader ist abhängig von dem Grad der örtlichen Granularität. Die Middleware-Kosten steigen mit der Erhöhung beider Datengranularitätsdimensionen: Je komplexer die Lesegerätelandchaft und je höher die Anzahl der mit Transpondern ausgestatteten Objekte, desto leistungsfähiger muss die Middleware ausfallen.

5.3.3.3.2 Wiederkehrende RFID-Kosten

Tabelle 5-16 beinhaltet die Modellvariablen für den Bereich der wiederkehrenden RFID-Kosten.

wk_{HW}	Wartungskosten für die Hardware als Prozentsatz der HW-Kosten
wk_{SW}	Wartungskosten für die Software als Prozentsatz der SW-Kosten
$x_{N,k,t}$	Volumen der logistischen Objekte, die mit einem Transponder versehen werden in Jahr t in Abhängigkeit von der Nachfrage N und von der Kennzeichnungsebene k
KTR_i	Transponderkosten in Stufe i
$p_{TR,x}$	Transponderpreis in Abhängigkeit vom Volumen $x_{N,k,t}$

Tabelle 5-16: Modellvariablen: Laufende RFID-Kosten

Die wiederkehrenden RFID-Kosten $WK_{RFID,i}$ berechnen sich aus der Summe der Wartungs- und Transponderkosten. Die Wartungskosten entsprechen einem Prozentsatz der Software- und Hardware-Kosten:

$$WK_{RFID,i} = (MR_{i,g} p_{MR} + GR_{i,g} p_{GR}) wk_{HW} + KMDW_{i,g,k} wk_{SW} + KTR_i \quad (9)$$

Die Transponderkosten werden als Produkt der Anzahl benötigter Transponder $x_{N,k,t}$, die von der tatsächlichen Nachfrage der Endkonsumenten N und der Kennzeichnungsebene k abhängt, und des Transponderpreises, der von dem nachgefragten Volumen abhängig ist (mit höherem Bestellvolumen sinkt der Transponderpreis), ermittelt:

$$KTR_i = x_{N,k,t} p_{TR,x} \quad (10)$$

Die Transponderkosten werden dabei entweder von dem Produzenten getragen (im Falle von RFID-Mandaten durch den dominanten Händler) oder auf alle Teilnehmer gleichmäßig verteilt (falls kein dominanter Akteur in dem Liefernetzwerk existiert).

5.3.3.4 Analyse der RFID-Wirkungen im Bereich der Nutzenpotenziale

Nachfolgend werden zunächst die Kostensenkungspotenziale in den Prozessen Beschaffung (Kapitel 5.3.3.4.1) und Auslieferung (5.3.3.4.2) sowie in den Bereichen Inventur (5.3.3.4.3), Schwund (5.3.3.4.4) und Kapitalbindung (5.3.3.4.5) besprochen. Danach wird die Umsatzerhöhung auf Basis der Vermeidung von Out-of-Stock-Situationen modelliert (5.3.3.4.6). Abschließend erfolgt in Kapitel 5.3.3.4.7 die Zuordnung der Nutzenpotenziale zu Visibilitätsstufen.

5.3.3.4.1 Beschaffung

Durch die automatische Identifikation der Waren kommt es im Bereich der Warenein- und Warenausgänge¹⁵⁴ zu erheblicher Bearbeitungszeitreduktion. Grundlegend können zwei Automatisierungseffekte unterschieden werden: Prozessschritte werden beschleunigt (z. B. durch vollautomatische RFID-Identifikation anstatt des manuellen Barcode-Scans) oder Prozessschritte entfallen (z. B. die manuelle Mengenkontrolle). Die Vorgehensweise bei der Quantifizierung der auf der Automatisierung basierenden Nutzenpotenziale in den Beschaffungs- und Auslieferungsprozessen ist in der Literatur weitgehend einheitlich und soll auch im Folgenden angewendet werden: Durch einen Vergleich des aktuellen Ist-Zustands (z. B. Barcode-System) mit dem Soll-Zustand (RFID-System) wird die Bearbeitungszeitreduktion ermittelt und abhängig von der Höhe der angesetzten Arbeitskosten das Einsparungspotenzial abgeleitet. Hierbei ist zu beachten, dass die in Abschnitt 5.2.3.2.1 beschriebenen Falschlesungen und deren evtl. manuelle Korrektur in die Berechnung eingehen.

Die Beschaffung kann in Anlehnung an das SCOR-Modell (vgl. Kapitel 2) in die drei Prozesselemente Warenannahme, Warenkontrolle und Wareneinlagerung eingeteilt werden. Nachfolgend werden die Nutzenpotenziale des RFID-Einsatzes in diesen drei Bereichen verdeutlicht (in Anlehnung an Schmidt 2006, S. 60 ff.).

In dem Prozesselement der **Warenannahme** wird insbesondere über die Annahme oder Ablehnung der gelieferten Ware auf Grundlage des Vergleichs von Bestell- mit Lieferscheindaten entschieden. Zunächst wird das Eintreffen der Lieferung durch RFID-Lesegeräte am Werkstor automatisch erfasst. Danach können die elektronischen Lieferscheindaten über die Transponder-ID referenziert und automatisch mit den Bestelldaten abgeglichen werden. Abschließend erfolgt der Transport der Paletten zum Sortierbereich.

In der **Warenkontrolle** findet die quantitative (Menge der Ware) und qualitative (Zustand der Ware) Überprüfung der Ware statt. Zur Kontrolle des Inhalts (beinhaltet die Palette alle relevanten Boxen?) ist bei einem RFID-Einsatz auf Verpackungsebene keine Depalletierung notwendig, was den Kontrollprozess erheblich beschleunigt.

Die **Wareneinlagerung** beginnt mit der Repalletierung der Boxen. Dieser Schritt entfällt durch den Einsatz von RFID auf Verpackungsebene, da – wie eben ausgeführt – keine vorherige Depalletierung stattfindet. Anschließend erfolgt die Einlagerung in das Lagerregal. Sind Lesegeräte im Lagerbereich vorhanden, erfolgt zudem eine automatische Verifizierung von Waren und Lagerplatz beim Ablegen der

¹⁵⁴ Die Prozesse im Warenausgang werden im Rahmen der *Auslieferung* im nächsten Abschnitt besprochen.

Paletten bzw. Boxen. Dadurch können Kosten für die Suche nach falsch eingelagerten Objekten reduziert werden bzw. komplett entfallen.

Für die Modellierung der RFID-Wirkungen im Beschaffungsprozess wird die in Tabelle 5-17 dargestellte Notation verwendet.

WA_i	Dauer der Warenannahme in Stufe i pro Palette [Minuten]
WKT_i	Dauer der Warenkontrolle in Stufe i pro Palette [Minuten]
WE_i	Dauer der Wareneinlagerung in Stufe i pro Palette [Minuten]
$WA_{RFID,i,g,k}$	Dauer der Warenannahme in Stufe i pro Palette beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Minuten]
$WKT_{RFID,i,g,k}$	Dauer der Warenkontrolle in Stufe i pro Palette beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Minuten]
$WE_{RFID,i,g,k}$	Dauer der Wareneinlagerung in Stufe i pro Palette beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Minuten]
PLT_i	Anzahl Paletten pro Jahr in Stufe i
MS_i	Durchschnittliche Zeitaufwendung für die Suche nach falsch eingelagerten Waren in Stufe i pro Tag
$ZE_{MS,g,k}$	Zeiteinsparung bei der Suche durch den Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Prozent]
$BZR_{B,i}$	Bearbeitungszeitreduktion im Beschaffungsprozess in Stufe i [Minuten]

Tabelle 5-17: Modellvariablen: Beschaffung

Die Bearbeitungszeitreduktion pro Palette $BZR_{B,i}$ berechnet sich aus der Differenz der Prozessdauer vor und nach der Einführung von RFID:

$$BZR_{B,i} = (WA_i + WKT_i + WE_i) - (WA_{RFID,i,g,k} + WKT_{RFID,i,g,k} + WE_{RFID,i,g,k}) \quad (11)$$

Das Einsparungspotenzial für den Beschaffungsprozess $E_{B,i}$ beruht auf der Kostensenkung, die sich aus der Bearbeitungszeitreduktion (multipliziert mit der Anzahl Paletten PLT_i) und der Zeiteinsparung bei der Suche nach falsch eingelagerten Waren ergibt (durchschnittliche Zeitaufwendung für die Suche MS_i multipliziert mit der Zeiteinsparung $ZE_{MS,g,k}$ und angenommenen 200 Arbeitstagen pro Jahr). Die Zeiteinsparung wird anschließend mit dem Stundensatz S multipliziert:

$$E_{B,i} = S (BZR_{B,i} PLT_i + MS_i ZE_{MS,g,k} 200) \quad (12)$$

5.3.3.4.2 Auslieferung

Der Auslieferungsprozess setzt sich nach dem SCOR-Modell aus den Prozesselementen Kommissionierung, Verpackung, Verladung und Transport zusammen. Im Folgenden werden analog zu den Ausführungen im vorangegangenen Kapitel die Nutzenpotenziale in den o. a. Bereichen genauer betrachtet (Beschreibungen wiederum angelehnt an Schmidt 2006, S. 71 ff.).

In der **Kommissionierung** werden zunächst spezifische Teilmengen aus einer Gesamtmenge an Waren gemäß einem Auftrag neu zusammengestellt (Umwandlung vom lagerspezifischen in einen verbrauchsspezifischen Zustand). Die Kommissionierung kann vollautomatisch durch den Einsatz sog. Kommissionierautomaten erfolgen oder von Lagermitarbeitern durchgeführt werden. Bei der zweiten Variante können zwei Methoden unterschieden werden: Bei der Methode „Mann-zur-Ware“ werden die Lagerplätze der zusammenzustellenden Ware vom Mitarbeiter aufgesucht und die erforderliche Teilmenge entnommen. Die Methode „Ware-zum-Mann“ beruht auf Förderfahrzeugen, die die Ware automatisch zum Kommissionierer transportieren. Im Folgenden wird für die Modellierung des Ist-Zustands die erstere Methode angenommen. Die Ware wird also vom Lagerplatz entnommen und in den Kommissionierbereich transportiert. Ist eine entsprechende Lesegeräteinfrastruktur vorhanden, erfolgt automatisch eine Verifizierung von Waren und Lagerplatz beim Aufnehmen der Paletten bzw. Boxen. In dem Kommissionierbereich wird nach der Palettierung eine Kontrolle des Inhalts vorgenommen. Durch den automatischen Abgleich der Transponder-IDs mit der Kommissionierliste werden Fehler in der Zusammenstellung vermieden.

Das nächste Prozesselement bildet die **Verpackung**. In der Regel wird der Kommissionierbehälter als Versandverpackung weiterverwendet. In diesem Prozesselement gibt es keine Ansatzpunkte für RFID-basierte Nutzenpotenziale.

Nach der Verpackung erfolgt die **Verladung** der Ware auf ein Transportmittel (im Beispielszenario auf einen LKW). Die Auslieferung wird durch das RFID-System automatisch erfasst und auf den erfassten RFID-Daten basierend wird eine Bestandsbuchung durchgeführt. Hierbei erfolgt auch ein Abgleich der Waren und Transportmittel. Somit wird vermieden, dass die falsche Ware verladen bzw. ein falsches Transportmittel beladen wird. Schließlich werden der Lieferschein erstellt und das Lieferavis¹⁵⁵ an den Warenempfänger versandt.

Der **Transport** dient der Überwindung räumlicher Distanzen. Hierbei können mittels satellitengesteuerter Systeme (z. B. GPS) echtzeitnahe Informationen zu dem gegenwärtigen Aufenthaltsort des Transportmittels generiert werden. In diesem Prozesselement gibt es abgesehen von Umladungen von einem Transportmittel auf ein anderes sowie dem Einsatz von Sensoren (z. B. zur Temperaturmessung) keine weiteren Ansätze für RFID-Nutzenpotenziale. Umladungen, zu denen bspw. Umschläge bzw. Zollabfertigungen bei internationalen Transporten gehören, werden in dem Beispielszenario nicht berücksichtigt. Bei derartigen Prozessen würden die bereits in diesem und dem vorangegangenen Kapitel gemachten

¹⁵⁵ Der Lieferavis wird vom Lieferanten an den Warenempfänger versendet und kündigt eine Lieferung an. Er enthält zumindest den voraussichtlichen Liefertermin und die Auflistung versendeter Artikel.

Aussagen zu den RFID-Nutzenpotenzialen zutreffen. Aus Gründen der Komplexitätsreduktion wird zudem auf die Betrachtung der Sensorik in den nachfolgenden Ausführungen verzichtet.

Zur Modellierung der Wirkungen im Auslieferungsprozess werden die folgenden Variablen verwendet (vgl. Tabelle 5-18).

KM_i	Dauer der Kommissionierung in Stufe i pro Palette [Minuten]
VL_i	Dauer der Verladung in Stufe i pro Palette [Minuten]
$KM_{RFID,i,g,k}$	Dauer der Kommissionierung in Stufe i pro Palette beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Minuten]
$VL_{RFID,i,g,k}$	Dauer der Verladung in Stufe i pro Palette beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Minuten]
PLT_i	Anzahl Paletten pro Jahr in Stufe i
$FVL_{i,g,k}$	Häufigkeit von falschen Verladungen in Stufe i in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Prozent]
KF_i	Fehlerfolgekosten durch falsche Verladungen (Konventionalstrafen und Kosten für zusätzlichen Transport) für Stufe i bei falscher Auslieferung
$BZR_{A,i}$	Bearbeitungszeitreduktion im Auslieferungsprozess in Stufe i [Minuten]

Tabelle 5-18: Modellvariablen: Auslieferung

Die Bearbeitungszeitreduktion pro Palette $BZR_{A,i}$ setzt sich analog zur Berechnung im Rahmen des Beschaffungsprozesses aus der Differenz der Dauer des Ist- und Soll-Zustands, also der Prozessdauer vor und nach der Einführung von RFID, zusammen:

$$BZR_{A,i} = (KM_i + VL_i) - (KM_{RFID,i,g,k} + VL_{RFID,i,g,k}) \quad (13)$$

Das Einsparungspotenzial für den Auslieferungsprozess $E_{A,i}$ ergibt sich zum einen aus der angesprochenen Bearbeitungszeitreduktion, die mit dem Stundensatz S multipliziert wird. Zum anderen resultiert die Kosteneinsparung aus der Vermeidung von falschen Verladungen (Fehlerhäufigkeit $FVL_{i,g,k}$ multipliziert mit den durchschnittlichen Fehlerfolgekosten KF_i).

$$E_{A,i} = (BZR_{A,i} S + FVL_{i,g,k} KF_i) PLT_i \quad (14)$$

5.3.3.4.3 Inventur

Die Inventur „verifiziert den ausgewiesenen Wert in der Lagerbuchhaltung durch physisches Nachzählen der Bestände an Lager“ (Schönsleben 2002, S. 454). Dabei werden häufig zyklische Inventuren, bei denen Materialien innerhalb eines Geschäftsjahres in regelmäßigen Zeitabständen inventarisiert werden, einer vollständigen Inventur vorgezogen, bei der alle Aktivitäten gestoppt werden müssen. Durch den Einsatz von RFID sind entweder keine (bei einer permanenten Inventur mittels Smart Shelves)

oder nur wenige (bei Installation von RFID-Gates im Lagerraum) zyklische Inventuren pro Jahr erforderlich. Die relevanten Modellvariablen finden sich in der nachfolgenden Tabelle 5-19.

INV_i	Anzahl der zyklischen Inventuren in Stufe i pro Jahr
$INV_{RFID,i,g,k}$	Anzahl der zyklischen Inventuren in Stufe i pro Jahr beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k
$TINV_i$	Dauer einer zyklischen Inventur in Stufe i [Minuten]
TD_i	Dauer der Beseitigung von Inventurdiskrepanzen in Stufe i [Minuten]

Tabelle 5-19: Modellvariablen: Inventur

Die Kosteneinsparung im Bereich der Inventur $E_{I,i}$ berechnet sich aus der Anzahl eingesparter Inventuren multipliziert mit den Kosten für eine Inventur inklusive Beseitigung von Diskrepanzen:

$$E_{I,i} = (INV_i - INV_{RFID,i,g,k})(TINV_i + TD_i)S \quad (15)$$

5.3.3.4.4 Schwund

Schwund resultiert hauptsächlich aus externen und internen Diebstählen, Transportschäden, Fehlern im Lagermanagement und Verderb (vgl. De Kok et al. 2007, S. 522). Nach KANG und GERSHWIN (2005) kann der Schwund bekannt („*known shrinkage*“, welcher identifiziert werden kann – etwa abgelaufene Produkte, die entsorgt werden) und unbekannt („*unknown shrinkage*“, der nicht bemerkt wird und daher nicht im System erfasst wird – bspw. nicht bemerkte Diebstähle) sein. Insbesondere die Diskrepanzen zwischen tatsächlichen und den in Informationssystemen ausgewiesenen Beständen führen zu Fehlerfolgekosten (vgl. Bai et al. 2008, S. 2; Hardgrave et al. 2009, S. 45 ff.; Sari 2008, S. 495).¹⁵⁶ Der RFID-Einsatz kann zum einen Diebstähle durch genaue Erfassungen der Materialbewegungen – und damit der Identifikation von verdächtigen Handlungen – reduzieren.¹⁵⁷ Zum anderen können auf Basis der exakten Daten zu den Beständen und zum gegenwärtigen Lagerort Fehler minimiert werden, die sich u. a. in der Reduktion des Verderbs durch rechtzeitige Auslieferung bzw. Transport auf die Verkaufsfläche niederschlagen (vgl. Dutta et al. 2007b, S. 652). Die Modellierung der RFID-Wirkungen wird in diesem Bereich anhand der folgenden Variablen realisiert (siehe Tabelle 5-20).

¹⁵⁶ In der Praxis sind bis zu 50 Prozent der Bestandsdaten bei Handelsunternehmen fehlerhaft (vgl. Kang/Gershwin 2005).

¹⁵⁷ Wobei sich vor allem interne Diebstähle auch mit dem RFID-Einsatz nicht vollständig eliminieren lassen.

N_t	Nachfrage in Jahr t
SQ_i	Schwundquote von der Gesamtmenge in Stufe i pro Jahr [Prozent]
$RSQ_{RFID,i,g,k}$	Schwundreduktion durch den Einsatz von RFID in Stufe i in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Prozent]
PW	Produktwert [Geldeinheit]

Tabelle 5-20: Modellvariablen: Schwund

Das Einsparungspotenzial $E_{SWD,i}$ aufgrund der reduzierten Schwundmenge lässt sich anhand der folgenden Formel berechnen:

$$E_{SWD,i} = SQ_i * N_t * PW * RSQ_{RFID,i,g,k} \quad (16)$$

5.3.3.4.5 Kapitalbindung

In diesem Bereich können die Kosten für das in Lagerbeständen gebundene Kapital durch die Reduktion der überschüssigen Bestände verringert werden. Allgemein sind Lagerbestände „vom Wertschöpfungsprozess her gesehen als unnötig und damit als Vergeudung von Zeit und gebundenem Kapital zu betrachten“ (Schönsleben 2002, S. 449), jedoch zur Erreichung der zeitlichen Synchronisation zwischen den Akteuren des Logistiknetzwerks unvermeidbar. Die Höhe des Bestands hängt dabei insbesondere von der Durchlaufzeit sowie der Konsumentennachfrage (und der Schwankungen dieser beiden Parameter) ab. Durch den RFID-Einsatz können die Schwankungen der Konsumentennachfrage zwar nicht beeinflusst werden, aber es können sowohl die Durchlaufzeit verkürzt¹⁵⁸ (bspw. aufgrund von effizienten Warenein- und Warenausgangsprozessen) als auch die Unsicherheit bzgl. der Lieferzeit (exakte und zeitnahe Informationen) verringert werden. Dadurch kann der notwendige Sicherheitsbestand verringert werden, was zu geringeren Kapitalbindungskosten führt.

¹⁵⁸ Eine detaillierte Übersicht der Literatur zur Durchlaufzeitenreduktion findet sich bei DE TREVILLE ET AL. (2004, S. 618 f.). Eine neuere Studie zu den Auswirkungen der Varianz von Durchlaufzeiten auf die Performance von Supply Chains bieten HEYDARI ET AL. (2009).

Sicherheitsbestandrechnung und der Sicherheitsfaktor

Der Sicherheitsbestand „dient zum Auffangen von Vorhersagefehlern sowie der Abweichungen in der Durchlaufzeit oder im Bedarf während der Durchlaufzeit“ (Schönsleben 2002, S. 466). Eine wichtige Rolle bei der Bestimmung des Sicherheitsbestands spielt der sog. **Sicherheitsfaktor**. Dieser ergibt sich in Abhängigkeit von der unterstellten Verteilungsfunktion des Verbrauchs und nimmt einen Wert zwischen eins und vier an.¹⁵⁹ Der Sicherheitsfaktor bestimmt dabei den *Servicegrad*, also den Prozentsatz der Auftragszyklen ohne Lieferausfall. Der Sicherheitsfaktor von eins entspricht z. B. einem Servicegrad von ca. 84 Prozent, während der Sicherheitsfaktor von vier zu einem Servicegrad in Höhe von 99,997 Prozent führt (siehe Tabellen bei Eilon 1964, S. 26). Zwei Faktoren spielen bei der Wahl des Sicherheitsfaktors eine Rolle: die Lagerhaltungskosten und die Fehlmengenkosten. Die Relevanz dieser Faktoren hängt dabei stark von der Produktart und den Marktgegebenheiten ab. Der Sicherheitsbestand berechnet sich letztendlich aus dem Sicherheitsfaktor multipliziert mit der Standardabweichung der Nachfrage während der Durchlaufzeit (vgl. hierzu u. a. Gudehus 2006, S. 87 ff.).

Die folgende Tabelle 5-21 stellt die Modellvariablen für den Bereich der Kapitalbindung dar.

B_i	Durchschnittlicher Lagerbestand für Stufe i pro Jahr
$B_{RFID,i}$	Lagerbestand beim Einsatz von RFID für Stufe i
DZ_i	Durchlaufzeit für Stufe i [Stunden]
DZV_i	Varianz der Durchlaufzeit für Stufe i [Prozent]
$DZ_{RFID,i,g,k}$	Durchlaufzeit für Stufe i beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k
$DZV_{RFID,i,g,k}$	Varianz der Durchlaufzeit für Stufe i beim Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k
NV_i	Nachfragevarianz für Stufe i
SF	Sicherheitsfaktor in Abhängigkeit vom Servicegrad

Tabelle 5-21: Modellvariablen: Kapitalbindung

Der Bestand B_i setzt sich aus dem Produkt der Durchlaufzeit und der Nachfrage inkl. des Sicherheitsbestandes (Sicherheitsfaktor SF multipliziert mit der Varianz der Durchlaufzeit DZV_i bzw. der Nachfrage NV_i) zusammen:

$$B_i = (DZ_i + DZV_i SF)(N_i + NV_i SF) \quad (17)$$

¹⁵⁹ Eine detaillierte Erläuterung der Verteilungsfunktion findet sich bei SCHÖNSLEBEN (2000, S. 469 ff.).

Der Bestand beim Einsatz von RFID $B_{RFID,i}$ stellt sich folgendermaßen dar (es wird dabei angenommen, dass die Nachfrage konstant bleibt):

$$B_{RFID,i} = (DZ_{RFID,i,g,k} + DZV_{RFID,i,g,k} SF)(N_i + NV_i SF) \quad (18)$$

Die Bestandsreduktion kann nun als Delta zwischen B_i und $B_{RFID,i}$ nach einigen Umformungsschritten folgendermaßen notiert werden:

$$\Delta B_{RFID,i} = (N_i + NV_i SF) \left((DZ_i - DZ_{RFID,i,g,k}) + SF (DZV_i - DZV_{RFID,i,g,k}) \right) \quad (19)$$

Die Kosteneinsparung $E_{KBD,i}$ berechnet sich schließlich aus dem Produkt der Höhe des reduzierten Bestands $\Delta B_{RFID,i}$ und dem Kalkulationszinsfuß r :

$$E_{KBD,i} = \Delta B_{RFID,i} r \quad (20)$$

5.3.3.4.6 Out-of-Stock-Situationen

Ein wesentliches Problem insbesondere am POS stellen Out-of-stock-Situationen dar, wobei der Anteil nicht verfügbarer Produkte im Einzelhandel zwischen drei und sieben Prozent liegt (vgl. Christ et al. 2003, S. 22).¹⁶⁰ 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 die vorgelagerten Stufen nach sich. Dem ersteren entgeht der Umsatz, wenn der Kunde das Produkt in einem anderen Geschäft nachfragt. Der Produzent muss zudem damit rechnen, dass der Kunde das Produkt eines Konkurrenten kauft und in Zukunft die Marke wechselt.

Durch den Einsatz von Smart Shelves, die den Regalbereich überwachen und bei niedrigen Beständen Nachbevorratungsprozesse anstoßen, kann die Wahrscheinlichkeit für Out-of-Stock-Situationen verringert werden (vgl. Tellkamp/Quiede 2005). Dies führt zur Erhöhung der Umsätze durch eine erhöhte Nachfrage, die daraus resultiert, dass nun die Kundenbedürfnisse vollständig erfüllt werden können (die Kunden nicht zu konkurrierenden Händlern abwandern bzw. den Kauf aufschieben/zurückstellen).

¹⁶⁰ Nach Schätzungen von Procter & Gamble sind es sogar 16 Prozent (vgl. Smith 2005b, S. 18).

Konsumentenreaktion auf Out-of-Stock

Die Reaktionen des Konsumenten auf Out-of-Stock-Situationen (OoS) wurden bereits in den 70er Jahren intensiv durch WALTER und GRABNER (1975) untersucht.¹⁶¹ Die Autoren haben anhand einer Fallstudienuntersuchung bei einem Spirituoseneinzelhändler ein grundlegendes Stock-Out-Modell entwickelt (siehe Abbildung 5-33), anhand dessen die finanziellen Auswirkungen dieses Phänomens quantifiziert werden können. In dem Modell werden Wahrscheinlichkeiten angegeben, mit denen der Konsument bei einer OoS-Situation eine bestimmte Reaktion zeigt.

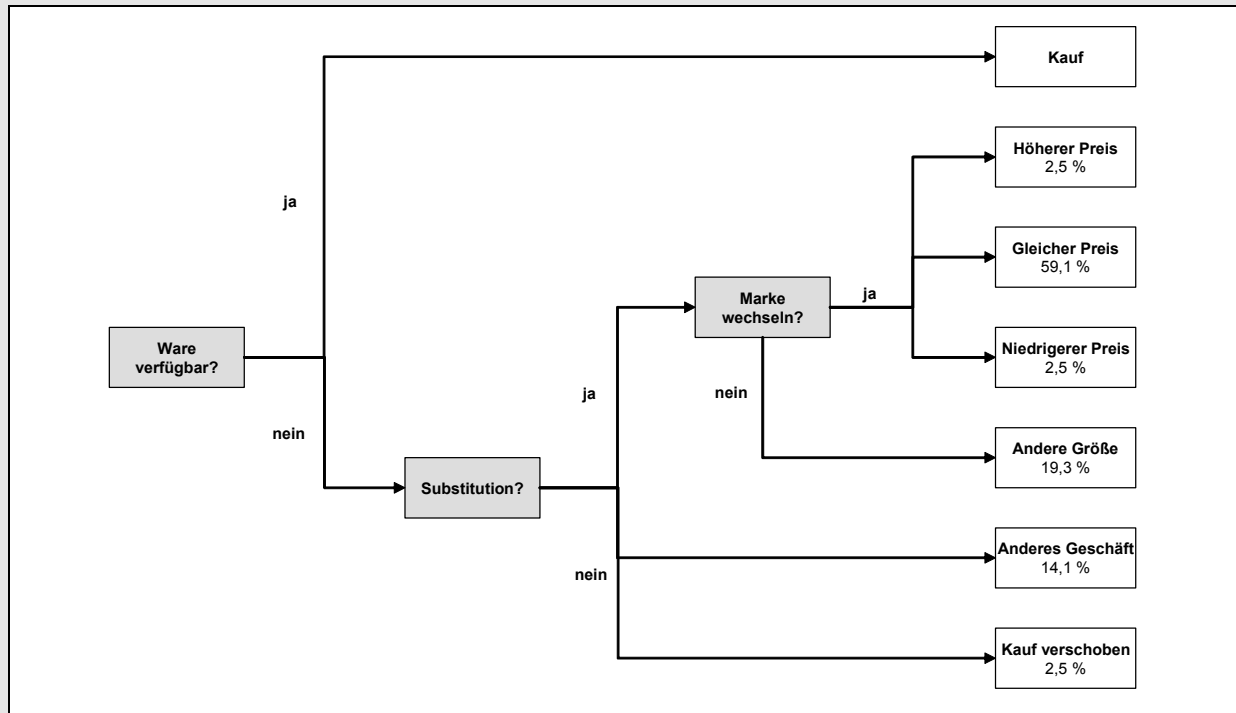


Abbildung 5-33: Stock-Out-Modell zur Konsumentenreaktion

In Tabelle 5-22 sind die Modellvariablen für die OoS-Modellierung dargestellt.

N_t	Nachfrage in Jahr t
$N_{RFID,t}$	Nachfrage beim Einsatz von RFID
$n_{RFID,g,k}$	Nachfrageerhöhung durch den Einsatz von RFID in Abhängigkeit von der örtlichen Granularität g und Kennzeichnungsebene k [Prozent]
s_i	Stückgewinn für Stufe i
G_i	Gewinnerhöhung in Stufe i

Tabelle 5-22: Modellvariablen: Out-of-Stock

¹⁶¹ Eine ausführliche Übersicht zu OoS-Studien liefern SCHÜRMANN und WIECHERT (2007, S. 12 ff.).

Wie in den vorigen Ausführungen verdeutlicht, führt die Vermeidung von Out-of-Stocks am Point of Sale zu einer um $n_{RFID,g,k}$ Prozent erhöhten Nachfrage:

$$N_{RFID,t} = N_t (1 + n_{RFID,g,k}) \quad (21)$$

Die erhöhte Konsumentennachfrage führt zu einer Erhöhung des Gewinns G_i , die sich aus der zusätzlichen Nachfrage multipliziert mit dem Stückgewinn s_i errechnet:

$$G_i = (N_{RFID} - N)s_i \quad (22)$$

Zu berücksichtigen ist dabei, dass dieser Effekt, obschon durch die Lesegeräteinfrastruktur auf der Verkaufsfläche des Händlers realisiert, allen Akteuren zugute kommt. Im Gegensatz dazu können die im Vorfeld besprochenen Wirkungen jedem Teilnehmer des Logistiknetzwerks individuell zugerechnet werden.

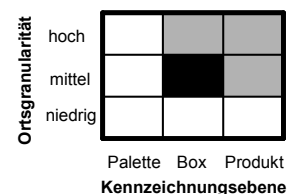
5.3.3.4.7 Zuordnung der Nutzenpotenziale zu Visibilitätsstufen

Die beschriebenen Potenziale lassen sich nicht mit jedem RFID-System realisieren: Bspw. reicht es für die Realisierung des Nutzenpotenzials „Schwundreduktion“ nicht aus, RFID auf Palettenebene einzusetzen oder lediglich den Warenein- und Warenausgang mit Lesegeräten auszustatten. Bei den Ausführungen zu den Nutzenpotenzialen wurden bereits teilweise Angaben zu der notwendigen Lesegeräteinfrastruktur, also den Anforderungen an die örtliche Granularität, sowie zu der erforderlichen Kennzeichnungsebene gemacht. In Tabelle 5-23 sind die Anforderungen an die Visibilität systematisch für alle identifizierten Nutzenpotenziale dargestellt. Diese können für die einzelnen Akteure abweichen (der Händler hat häufiger eine höhere Anforderung an die Kennzeichnungsebene als der Hersteller bzw. Distributor, da etwa auf der Verkaufsfläche die Kennzeichnung auf Produktebene vielfältige Potenziale bietet) oder ganz entfallen. Bei den nachfolgenden Berechnungen werden auf Grundlage dieser Zuordnung die realisierbaren Nutzenpotenziale für die jeweiligen Visibilitätsstufen ermittelt. Demnach werden bspw. auf der höchsten Visibilitätsstufe (hohe örtliche Granularität und Kennzeichnung auf Produktebene) alle Nutzenpotenziale realisiert, während die niedrigste Visibilitätsstufe lediglich die Umsetzung der Nutzenpotenziale „automatische Erfassung der Lieferankunft“, „automatischer Abgleich der Liefer- und Bestelldaten“ sowie „automatische Erfassung der Auslieferung“ ermöglicht.

Bereich	Nutzenpotenziale	Erforderliche Visibilitätsstufe ¹⁶²		
		Produzent	Distributor	Handel
Kostensenkung				
Beschaffung	Automatische Erfassung der Lieferankunft	–		
	Automatischer Abgleich der Liefer- und Bestelldaten	–		
	Automatische Mengenkontrolle	–		
	Automatischer Abgleich der Lieferdaten mit tatsächlicher Lieferung	–		
	Verifizierung von Waren und Lagerplatz beim Ablegen von Waren			
Auslieferung	Verifizierung von Waren und Lagerplatz beim Aufnehmen von Waren			
	Fehlervermeidung durch automatischen Abgleich mit Kommissionierliste			–
	Abgleich Waren – Transportmittel			–
	Automatische Erfassung der Auslieferung			–
Lager- und Regalmanagement (Inventur, Schwund)	Automatische Bestandsaktualisierung (Lager)			
	Automatische Bestandsaktualisierung (Verkaufsfläche)	–	–	
	Schwundreduktion			
Kapitalbindung	Reduktion des überschüssigen Bestands durch Verringerung der Durchlaufzeit			–
	Reduktion des überschüssigen Bestands durch Verringerung der Liefervarianz			–
Umsatzerhöhung				
Lager- und Regalmanagement	Vermeidung von Out-of-Stocks (Lager)			
	Vermeidung von Out-of-Stocks (Verkaufsfläche)	–	–	

Tabelle 5-23: Nutzenpotenziale und erforderliche Visibilitätsstufen

¹⁶² Die mindestens benötigte Visibilitätsstufe zur Realisierung eines Nutzenpotenzials (NP) wird durch die schwarze Hervorhebung des Feldes im Schnittpunkt der relevanten Spalte (Kennzeichnungsebene) und Zeile (Ortsgranularität) der Matrix gekennzeichnet. Die grauen Felder deuten an, auf welchen höheren Visibilitätsstufen die NP realisiert werden können. Im rechts dargestellten Beispiel ist eine mittlere Ortsgranularität und die Box-Kennzeichnung notwendig, um das NP zu erzielen.



5.3.3.5 Anwendungsfall

In diesem Abschnitt erfolgt nun die Analyse der Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes zur Visibilitätssteigerung in Logistiknetzwerken anhand eines konkreten Anwendungsfalls. Hierzu wird das Modell aus Kapitel 5.1 mitsamt den dort getroffenen Annahmen zugrunde gelegt. Die Auswirkungen der Visibilitätssteigerung werden anhand geeigneter Kennzahlen (Barwert, ROI) in verschiedenen Szenarien (z. B. unterschiedliche Kostenparameter) für die drei Akteure Produzent, Distributor und Händler individuell berechnet. Um die in den vorherigen Kapiteln hergeleiteten RFID-Wirkungen zu quantifizieren, wurden Daten für die Kosten vorwiegend auf Basis der aktuellen Preise für RFID-Hard- und Software und Werte für die Nutzenpotenziale anhand relevanter Praxisstudien aus der Literatur gewonnen. Bevor die Analyse des Anwendungsfalls erfolgt (Kapitel 5.3.3.5.2), werden zunächst die Modellparameter erläutert (5.3.3.5.1).

5.3.3.5.1 Modellparameter

Kosten

Für die einmaligen und wiederkehrenden Kosten werden die in Tabelle 5-24 aufgeführten Werte angenommen. Die Preise für die RFID-Hardware (UHF-Technologie) wurden den aktuellen Händlerpreisen bei den Anbietern *TAGnology RFID GmbH*¹⁶³, *RFIP Solutions Ltd.*¹⁶⁴ und *CoreRFID Ltd.*¹⁶⁵ entnommen.¹⁶⁶ Die Prozentsätze für die Installations- und Wartungskosten sind an die Angaben bei BROWN (2007) angelehnt bzw. entsprechen den üblichen Software-Wartungskosten.

Preis eines mobilen Readers	2.500 €
Preis eines Gate-Readers	10.000 €
Installationskosten pro Reader	20% der Reader-Kosten
Middleware-Kosten	55.000 - 255.000 €
Installations- und Konfigurationskosten für die Middleware	30% der Middleware-Kosten
Wartungskosten für die Hardware	20% der HW-Kosten
Wartungskosten für die Software	20% der SW-Kosten
Transponderpreis	0,05 - 0,70 €

Tabelle 5-24: Modellparameter der Kostenkomponenten

Die Middleware-Kosten variieren in Abhängigkeit von der Lesegeräteinfrastruktur und der Anzahl mit Transpondern ausgestatteter Objekte. Im Falle einer minimalen Slap-and-Ship-Lösung (dies entspricht der Realisierung der geringsten Visibilitätsstufe) werden in Anlehnung an die Berechnungen von SIRICO (2005) Kosten in Höhe von 55.000 € angenommen. Mit der Erhöhung der Datengranularität steigen die

¹⁶³ www.rfid-webshop.com

¹⁶⁴ www.rfip.eu

¹⁶⁵ www.corerfid.com

¹⁶⁶ Bei abweichenden Preisen wurde der Durchschnitt gebildet. Die Preise wurden auf runde Beträge ab- bzw. aufgerundet.

Anforderungen an die Middleware und dementsprechend die Kosten, wie in Tabelle 5-25 ausgewiesen, an.

		Kennzeichnungsebene		
		Palette	Box	Produkt
Örtliche Granularität	Niedrig	55.000 €	80.000 €	105.000 €
	Mittel	80.000 €	130.000 €	180.000 €
	Hoch	105.000 €	180.000 €	255.000 €

Tabelle 5-25: Kosten für die RFID-Middleware in Abhängigkeit von der Visibilitätsstufe

Die Transponderpreise sind abhängig von dem bestellten Volumen und liegen für UHF-Transponder derzeit in einer Preisspanne zwischen 50 - 70 Cent. Die Preise sind dabei in den letzten Jahren kontinuierlich gefallen und es wird davon ausgegangen, dass sie in einigen Jahren bei ca. 5 Cent für entsprechend große Bestellvolumen liegen werden. SWAMY und SARMA (2003) haben bspw. in einer Simulationsstudie nachgewiesen, dass die Herstellkosten für Transponder unter Beibehaltung traditioneller Herstellungsprozesse ca. 4,5 Cent betragen können. Weitere Potenziale zur Senkung der Herstellkosten bietet die Polymertechnologie, die jedoch noch weitere Erforschung erfordert. Um die zukünftigen Preise zu berücksichtigen, werden im Modell fünf Preisspannen in Abhängigkeit von dem Volumen definiert (siehe Tabelle 5-26).

Szenarien	Bestellvolumen					
	< 500.000	< 1.000.000	< 2.000.000	< 4.000.000	< 8.000.000	> 8.000.000
Szenario 1 (50 – 70 Cent)	70	66	62	58	54	50
Szenario 2 (30 – 50 Cent)	50	36	32	28	24	20
Szenario 3 (20 – 30 Cent)	30	28	26	24	22	20
Szenario 4 (10 – 20 Cent)	20	18	16	14	12	10
Szenario 5 (5 – 10 Cent)	10	9	8	7	6	5

Tabelle 5-26: Transponderpreise in Abhängigkeit vom Bestellvolumen

Nutzenpotenziale

Um die Bearbeitungszeitreduktion im Bereich der **Beschaffungs- und Auslieferungsprozesse** zu bestimmen, wurden typische Zeitangaben aus einschlägigen Studien (vgl. McKinsey 2003; SAP 2003; Brown 2007)¹⁶⁷ übernommen und entsprechende Wirkungen anhand der Analyse in Kapitel 5.3.3.4 quantifiziert. Für die unterschiedlichen Visibilitätsstufen ergeben sich im Bereich der Beschaffung folgende Prozesszeiten (siehe Tabelle 5-27). Ferner wird angenommen, dass für die Suche nach falsch eingelagerten Waren pro Tag durchschnittlich vom Personal eine Stunde aufgewendet wird.

¹⁶⁷ Die in der Literatur berechneten Einsparungspotenziale aufgrund der verbesserten Prozesseffizienz reichen dabei von 3,4% (McKinsey 2003) bis 65% (SAP 2003).

Prozessdauer ohne RFID: 27 Min (WA: 4 / WK: 10 / WE: 13)		Kennzeichnungsebene								
		Palette			Box			Produkt		
Örtliche Granularität	Niedrig	23 min	WA	3	12 min	WA	3	12 min	WA	3
			WK	8		WK	1		WK	1
			WE	12		WE	8		WE	8
	Mittel	23 min	WA	3	12 min	WA	3	12 min	WA	3
			WK	8		WK	1		WK	1
			WE	12		WE	8		WE	8
	Hoch	19 min	WA	3	8 min	WA	3	8 min	WA	3
			WK	8		WK	1		WK	1
			WE	8		WE	4		WE	4

WA – Warenannahme WK – Warenkontrolle WE – Wareneinlagerung

Tabelle 5-27: Bearbeitungszeitreduktion pro Palette: Beschaffungsprozess

Für den Bereich der Auslieferung finden sich in Tabelle 5-28 die relevanten Prozesszeiten.¹⁶⁸ Die Häufigkeit von falschen Verladungen wird mit 2 Prozent und die daraus folgenden zusätzlichen Kosten werden mit 200 Euro pro Palette beziffert.

Prozessdauer ohne RFID: 28 Min (KM: 18 / VP: 4 / VL: 6)		Kennzeichnungsebene								
		Palette			Box			Produkt		
Örtliche Granularität	Niedrig	27 min	KM	18	24 min	KM	18	24 min	KM	18
			VP	4		VP	4		VP	4
			VL	5		VL	2		VL	2
	Mittel	27 min	KM	18	19 min	KM	13	19 min	KM	13
			VP	4		VP	4		VP	4
			VL	5		VL	2		VL	2
	Hoch	22 min	KM	13	16 min	KM	10	16 min	KM	10
			VP	4		VP	4		VP	4
			VL	5		VL	2		VL	2

KM – Kommissionierung VP – Verpackung VL – Verladung

Tabelle 5-28: Bearbeitungszeitreduktion pro Palette: Auslieferungsprozess

Der RFID-Einsatz kann laut einer Studie von NEWLAND (2004) aufgrund der effizienten **Inventur** zu Einsparungen von Arbeitskosten in Höhe von bis zu 25% führen. Die Anzahl und Dauer von zyklischen Inventurvorgängen ist für die drei Akteure des Logistiknetzwerks unterschiedlich (da z. B. der Händler auf der Verkaufsfläche Inventuren auf Produktebene durchführt, während die beiden anderen Teilnehmer auf der Paletten- bzw. Verpackungsebene operieren). Die einzelnen Parameter sind Tabelle 5-30 zu entnehmen.

¹⁶⁸ Das Prozesselement „Transport“ wurde bei der Darstellung der Prozesszeiten weggelassen, da es stark variiert und keine direkten RFID-Ansatzpunkte aufweist (vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 5.3.3.4).

Für die Quantifizierung der **Schwundreduktion** finden sich in der Literatur zahlreiche Studienergebnisse:

- Der Schwund kann mittels RFID nach einer Studie von KEITH ET AL. (2002) um etwa zwei Drittel der 0,22 - 0,73% des Umsatzes vom Hersteller und um ca. die Hälfte der 1,75% des Umsatzes vom Händler reduziert werden.
- CHAPPELL ET AL. (2002) zufolge kann der Schwund beim Händler von 1,69% auf 0,78% reduziert werden.
- CLARK (2004) geht in seiner Studie von einer durchschnittlichen RFID-basierten Schwundreduktion in Höhe von 12,3% aus.
- Nach SAP (2003) kann der Schwund beim Händler durch den RFID-Einsatz um 40 bis 50% reduziert werden.

Für das Modell wird ausgehend von diesen Statistiken und einer Schwundquote von 2% im Lager und 4% auf der Verkaufsfläche das Potenzial der Schwundreduktion je nach realisierter Visibilitätsstufe bei 30 Prozent (mittlere örtliche Granularität und mindestens Kennzeichnung auf Boxebene) und 60 Prozent (hohe örtliche Granularität und mindestens Kennzeichnung auf Boxebene) angenommen.

Für den Bereich der **Kapitalbindung** werden in Anlehnung an VEERAMANI ET AL. (2008, S. 65 ff.) die folgenden Parameter festgelegt: Es wird eine Durchlaufzeit für den Transport zwischen zwei Stufen von 15 Stunden und deren Varianz von 20 Prozent angenommen. Die Nachfragevarianz erhöht sich je weiter die Stufe vom Endkonsumenten entfernt ist (Bullwhipeffekt) und nimmt die Werte 5 Prozent (Händler), 10 Prozent (Distributor) und 15 Prozent (Produzent) an. Der Sicherheitsfaktor beträgt im Anwendungsfall 3, was einem Servicegrad von 99,9 Prozent entspricht.

Der Beitrag von RFID zur Vermeidung von **Out-of-Stock-Situationen** wurde in der Literatur intensiv untersucht. Folgende Ergebnisse ausgewählter Studien zeigen, dass mit einer Reduktion in der Größenordnung von fünf bis 16 Prozent gerechnet werden kann:

- Bei Wal-Mart konnten die Out-of-Stock-Situationen durch den RFID-Einsatz um durchschnittlich 16% verringert werden (vgl. Özelkan/Galamposi 2008, S. 16 f.).
- Der deutsche Handelskonzern Metro berichtet über eine OoS-Reduktion in Höhe von 9 - 14% (vgl. Metro Group 2004).
- Einer Studie von SAP zufolge kann RFID OoS-Situationen um 5 - 10% reduzieren (vgl. SAP 2003).

Nachfolgend stellt Abbildung 5-34 Ergebnisse von Studien dar, die den Zusammenhang zwischen der OoS-Reduktion und Umsatzerhöhung quantifizieren (in Anlehnung an Özelkan/Galamposi 2008, S. 32). Für den vorliegenden Anwendungsfall wird basierend auf diesen Zahlen eine Umsatzerhöhung von 3,5 Prozent angenommen, was dem Durchschnittswert aller Studien (2 - 7 Prozent) entspricht.

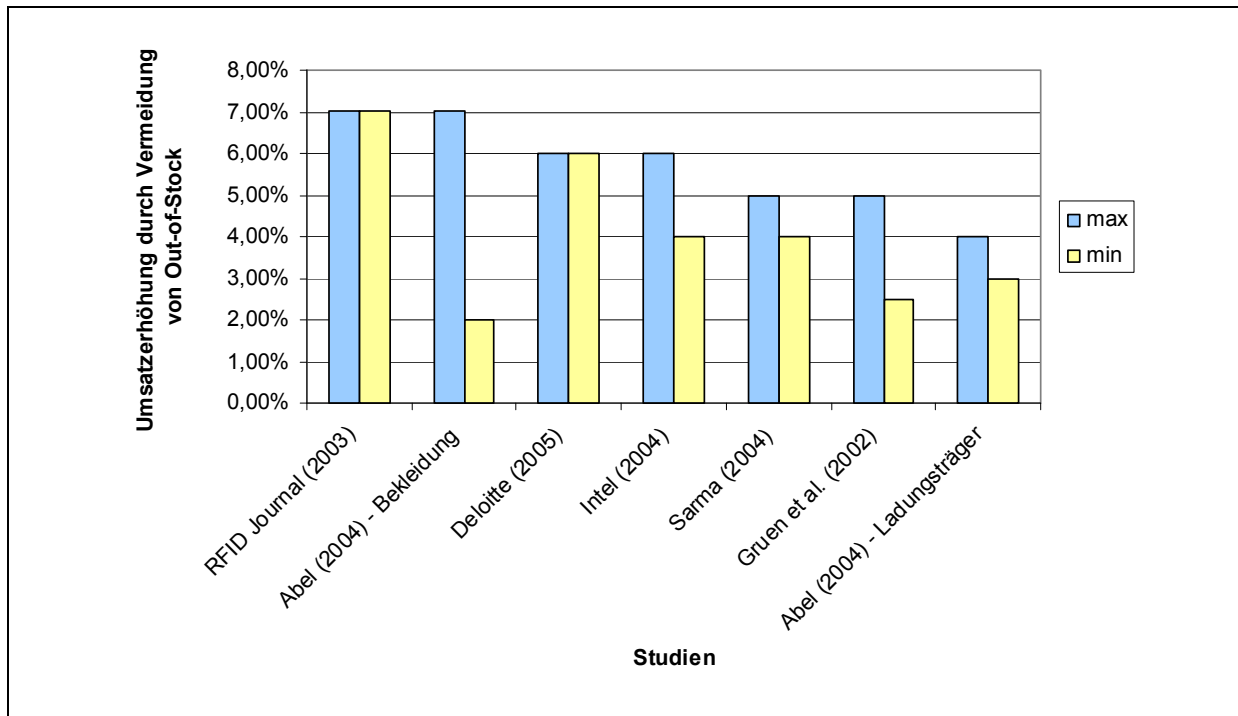


Abbildung 5-34: Umsatzerhöhung durch Vermeidung von Out-of-Stock – Vergleich unterschiedlicher Studien

Die von der Visibilitätsstufe unabhängigen Modellparameter im Bereich der Nutzenpotenziale sind abschließend in Tabelle 5-30 zusammengefasst. Das Kosten-Nutzen-Modell wurde mittels Microsoft Excel implementiert. Die Kennzahlen wurden für den Zeithorizont von fünf Jahren berechnet. Es wurden dabei insgesamt 2.250 unterschiedliche Szenarien analysiert (9 Visibilitätsstufen x 5 Transponder-Preisspannen x 2 Kostenverteilungsmodelle¹⁶⁹ x 5 Produktwerte x 5 Nachfragemengen = 2.250 Szenarien). Tabelle 5-29 fasst die variierenden Faktoren und ihre Ausprägungen zusammen.

Faktor	Anzahl Ausprägungen	Ausprägungen
Örtliche Datengranularität	3	Niedrig, mittel, hoch
Kennzeichnungsebene	3	Palette, Box, Produkt
Transponder-Preisspanne	5	50 - 70 Cent, 30 - 50 Cent, 20 - 30 Cent, 10 - 20 Cent, 5 - 10 Cent
Kostenverteilungsmodell	2	Hersteller trägt Transponderkosten, verteilte Transponderkosten
Produktwert	5	1 €, 2 €, 5 €, 10 €, 20 €
Nachfrage pro Jahr	5	500.000, 1.000.000, 2.500.000, 7.500.000, 15.000.000

Tabelle 5-29: Ausprägungen der untersuchten Faktoren

¹⁶⁹ Es werden allgemein zwei Fälle unterschieden: Entweder der Hersteller trägt die Transponderkosten oder sie werden auf alle Akteure verteilt. Der Frage der Kostenverteilung wird explizit in einer analytischen Studie von GAUKLER ET AL. (2007) adressiert.

	Modellparameter	Stufe des Logistiknetzwerks		
		Produzent	Distributor	Händler
Beschaffung/ Auslieferung	Durchschnittliche Zeitaufwendung für die Suche nach falsch eingelagerten Waren	60 min		
	Häufigkeit von falschen Verladungen	2%	nicht relevant	
	Fehlerfolgekosten durch falsche Verladungen	200 €/Palette	nicht relevant	
Inventur	Dauer einer zyklischen Inventur	5 s/Produkt, 15 s/Box, 30 s/Palette		
	Dauer der Beseitigung von Inventurdiskrepanzen	60 min	60 min (Lager) 300 min (POS)	
	Anzahl der zyklischen Inventuren pro Jahr	12	12 (Lager) 1 (POS)	
Schwund	Schwundquote von der Gesamtmenge	2%	2% (Lager) 4% (POS)	
	Produktwert	Je nach Szenario 5 - 20 €		
Kapitalbindung	Durchlaufzeit	15 h		
	Varianz der Durchlaufzeit	20%		
	Nachfragevarianz	15%	10%	5%
	Sicherheitsfaktor in Abhängigkeit vom Servicegrad	3		

Tabelle 5-30: Modellparameter für die Quantifizierung der Nutzenpotenziale

5.3.3.5.2 Analyse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Analyse vorgestellt. Davor zeigt Abbildung 5-35 eine exemplarische Tabelle des implementierten Kosten-Nutzen-Modells (im Bild ist die Zusammenfassung der Kosten und Nutzenpotenziale zur Berechnung des Barwerts und Return on Investments dargestellt).

	Produzent	Distributor	Händler
Einmalige Kosten			
Hardware			
Mobile Reader	2,500.00	5,000.00	2,500.00
Gate Reader	20,000.00	40,000.00	20,000.00
Installation	4,500.00	9,000.00	4,500.00
Software			
Middleware	55,000.00	40,000.00	40,000.00
Installation/Konfiguration	16,500.00	12,000.00	12,000.00
Summe	98,500.00	106,000.00	79,000.00
Wiederkehrende Kosten			
Wartung	15,500.00	17,000.00	12,500.00
Transponder	13,125.00	0.00	0.00
Summe	28,625.00	17,000.00	12,500.00
Barwert der Kosten (5 Jahre)	222,431.27	179,601.10	133,118.46
Nutzenpotenziale			
Kostensenkung			
Wareneingang	0.00	62,500.00	62,500.00
Warenausgang	15,625.00	15,625.00	0.00
Lagermanagement	0.00	0.00	0.00
Kapitalbindung	7,968.92	7,968.86	0.00
Summe	23,593.92	86,093.86	62,500.00
Umsatzerhöhung			
Regal- und Lagermanagement	0.00	0.00	0.00
Summe	0.00	0.00	0.00
Barwert der Nutzenpotenziale (5 Jahre)	107,256.80	391,378.45	284,121.91
Barwert der Investition	-115,174.47	211,777.34	151,003.45
Amortisationsdauer (5 Jahre)	-29.54	1.67	1.72
ROI	-51.78%	117.92%	113.44%

Abbildung 5-35: Beispiel für die Berechnung der Kennzahlen

Ausgangsszenario

Zunächst wird der Fall analysiert, bei dem die Transponderpreise den aktuellen Gegebenheiten entsprechen (Szenario 1: 50 - 70 Cent), eine jährliche Nachfrage von 7.500.000 Produkten erwartet wird und der Produktwert bei 10 Euro liegt (Ausgangsszenario). Die nachfolgende Abbildung 5-36 zeigt die jeweiligen Barwerte für unterschiedliche Datengranularitätsdimensionen unter der Prämisse, dass der Hersteller die Transponderkosten trägt. Hierbei wird angenommen, dass er die Kosten nicht in Form eines erhöhten Verkaufspreises an die anderen Akteure weitergeben kann.

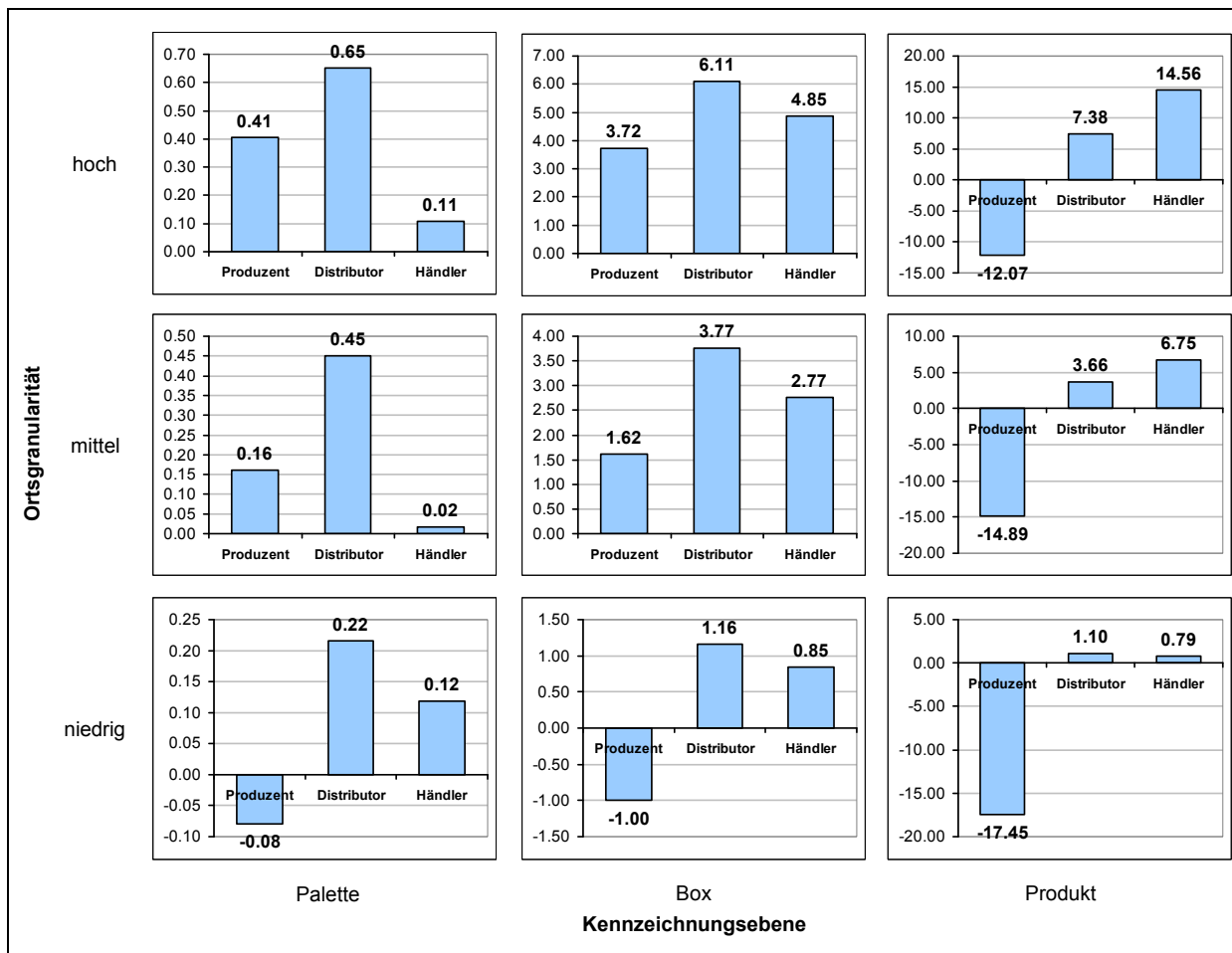


Abbildung 5-36: Barwert [in Mio. €] im Ausgangsszenario – Transponderkosten trägt der Produzent

Anhand der Ergebnisse ist zunächst festzustellen, dass der Produzent – anders als aufgrund der allgemeinen Empfehlungen aus der Literatur erwartet – einen umfangreicheren RFID-Einsatz der Slap-and-Ship-Lösung (niedrige Ortsgranularität und Kennzeichnungsebene) vorziehen sollte. Eine hohe Ortsgranularität bei Kennzeichnung auf Boxebene führt zum höchsten Barwert (3,72 Mio. Euro). Die niedrigsten Barwerte weist der Produzent aufgrund der hohen Anzahl an benötigten Transpondern bei der Kennzeichnung auf Produktebene auf. Der Distributor hat auf der niedrigsten Visibilitätsstufe den geringsten (0,22 Mio. Euro) und weist auf der höchsten Visibilitätsstufe den höchsten Barwert (7,38 Mio. Euro) auf. Dies ist auch beim Händler der Fall, wobei hier aufgrund der Tatsache, dass der RFID-Einsatz auf der Verkaufsfläche erst bei einer Kennzeichnung auf Produktebene und hoher örtlicher Granularität die meisten Nutzenpotenziale entfaltet, der Barwert im Vergleich zu den anderen Visibilitätsstufen sehr hoch ausfällt (14,56 Mio. Euro). Die geringsten Werte zeigen sich beim Händler bei der Kennzeichnung auf Palettenebene (jeweils nahe dem Nullwert für alle örtlichen Granularitätsstufen). Dies ist darauf zurückzuführen, dass dieser Akteur die wenigsten operativen Tätigkeiten auf der Palettenebene ausführt.

Abbildung 5-37 zeigt nun die Barwerte unter der Annahme, dass die Transponderkosten gleichmäßig auf alle Akteure verteilt werden. Die anfangs gemachten Annahmen für die Transponderpreise, Nachfrage und Produktwert bleiben auch für dieses Szenario bestehen.

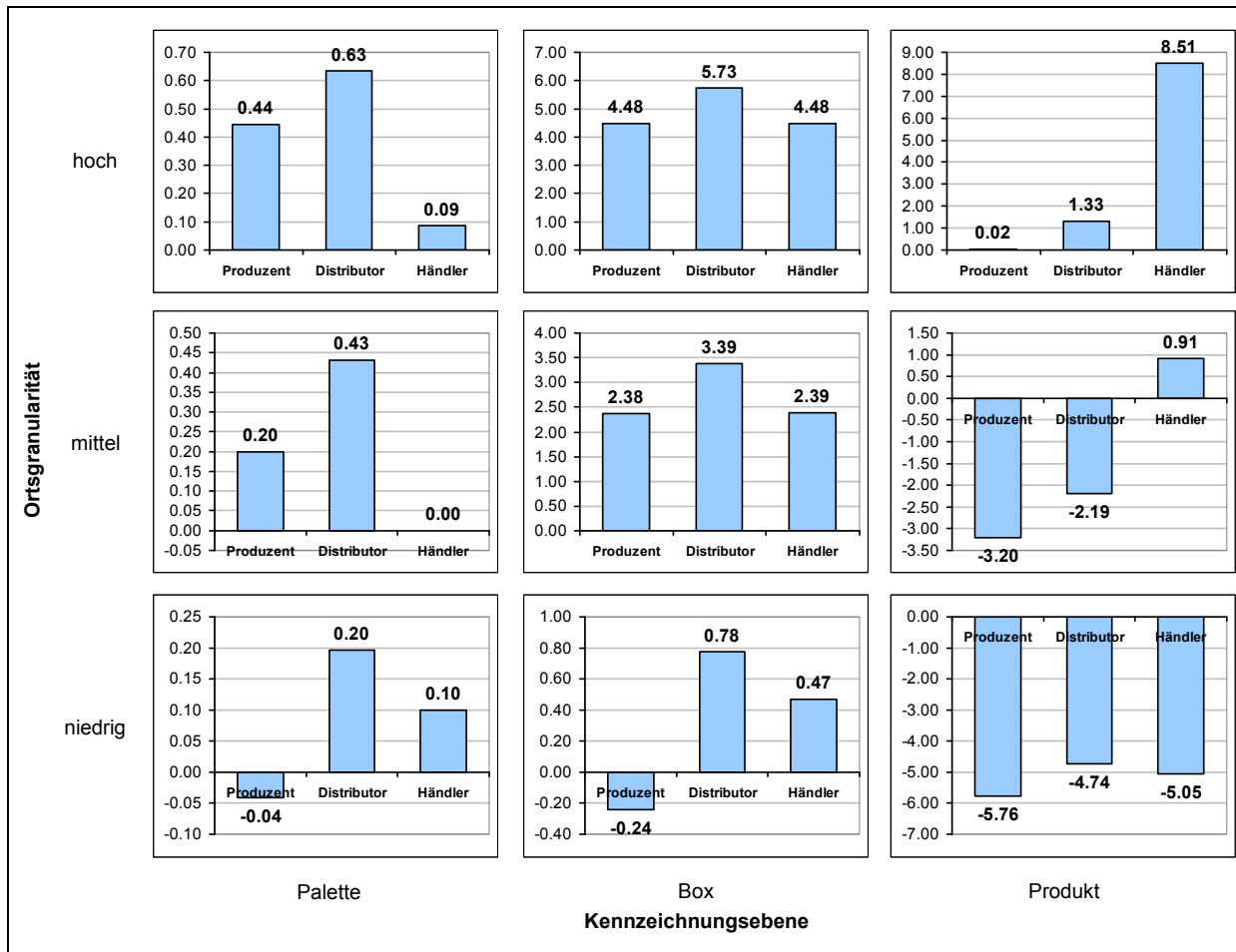


Abbildung 5-37: Barwert [in Mio. €] im Ausgangsszenario – Verteilte Transponderkosten

In diesem Szenario haben alle Akteure bei einer Produktkennzeichnung und niedriger örtlicher Granularität einen hohen negativen Barwert. Der Produzent hat wiederum bei der Kombination „Boxkennzeichnung/hohe örtliche Granularität“ den höchsten Barwert (4,48 Mio. Euro). Dies trifft dieses Mal auch auf den Distributor zu (5,73 Mio. Euro), der aufgrund der hohen Transponderkosten das Maximum nicht mehr bei einer Kennzeichnung auf Produktebene aufweist. Sehr interessant gestaltet sich die Entwicklung der Barwerte beim Händler: Er strebt einen Einsatz auf Produktebene bei einer hohen örtlichen Granularität an. Die zusätzlichen Nutzenpotenziale auf Basis einer erhöhten Visibilität übersteigen die hohen Investitionskosten in die Transponder, an denen sich der Händler in diesem Szenario beteiligen muss. Das gesamte Logistiknetzwerk betrachtend, bildet die Kombination „mittlere Kennzeichnungsebene/hohe örtliche Granularität“ die optimale Visibilitätsstufe (kumulierter Barwert liegt bei 14,7 Mio. Euro).

Variation des Transponderpreises

Nachfolgend wird analysiert, wie sich die Kennzahlen für unterschiedliche Transponderpreise entwickeln. Hierzu werden in Abbildung 5-38 die jeweiligen Barwerte für den Fall, dass der Hersteller die Transponderkosten trägt, dargestellt.

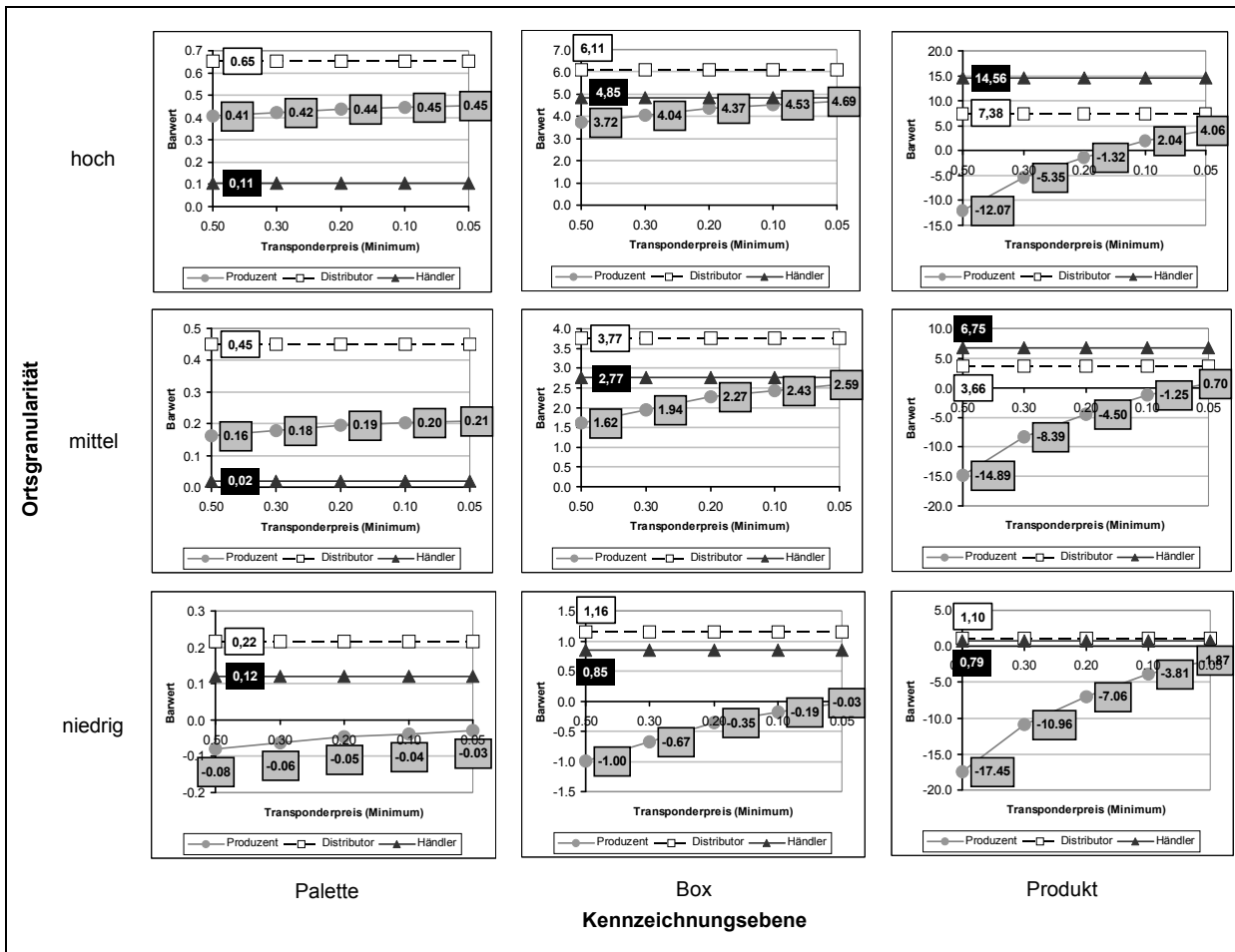


Abbildung 5-38: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit von Transponderpreisen – Transponderkosten trägt der Produzent

Da der Produzent die Transponderkosten trägt, ändern sich bei dieser Konstellation die Barwerte der übrigen Akteure nicht. Obwohl die Transponderpreise im letzten Szenario bis auf 6 Cent fallen¹⁷⁰, lohnt es sich für den Produzenten trotzdem nicht, RFID auf der Produktebene einzusetzen. Die optimale Visibilitätstufe bleibt weiterhin die Kombination „Boxkennzeichnung/hohe örtliche Granularität“. Den Break-Even-Punkt, ab dem für den Produzenten der Einsatz auf Produktebene lohnenswert wird, bildet ein Transponderpreis von 4,1 Cent. Interessant ist zudem, dass auch bei sehr niedrigen Transponderpreisen die Slap-and-Ship-Lösung zu einem negativen Barwert führt und daher bei keinem Preisniveau in dem Beispielszenario zu empfehlen ist.

Abbildung 5-39 stellt die Barwerte in Abhängigkeit von den Transponderpreisen unter der Annahme dar, dass die Transponderkosten gleichmäßig auf alle Akteure verteilt werden.

¹⁷⁰ Dieser Preis gilt bei Abnahme von bis zu 8 Mio. Transpondern, siehe entsprechende Tabelle am Anfang dieses Kapitels im Abschnitt „Parameter: Kosten“.

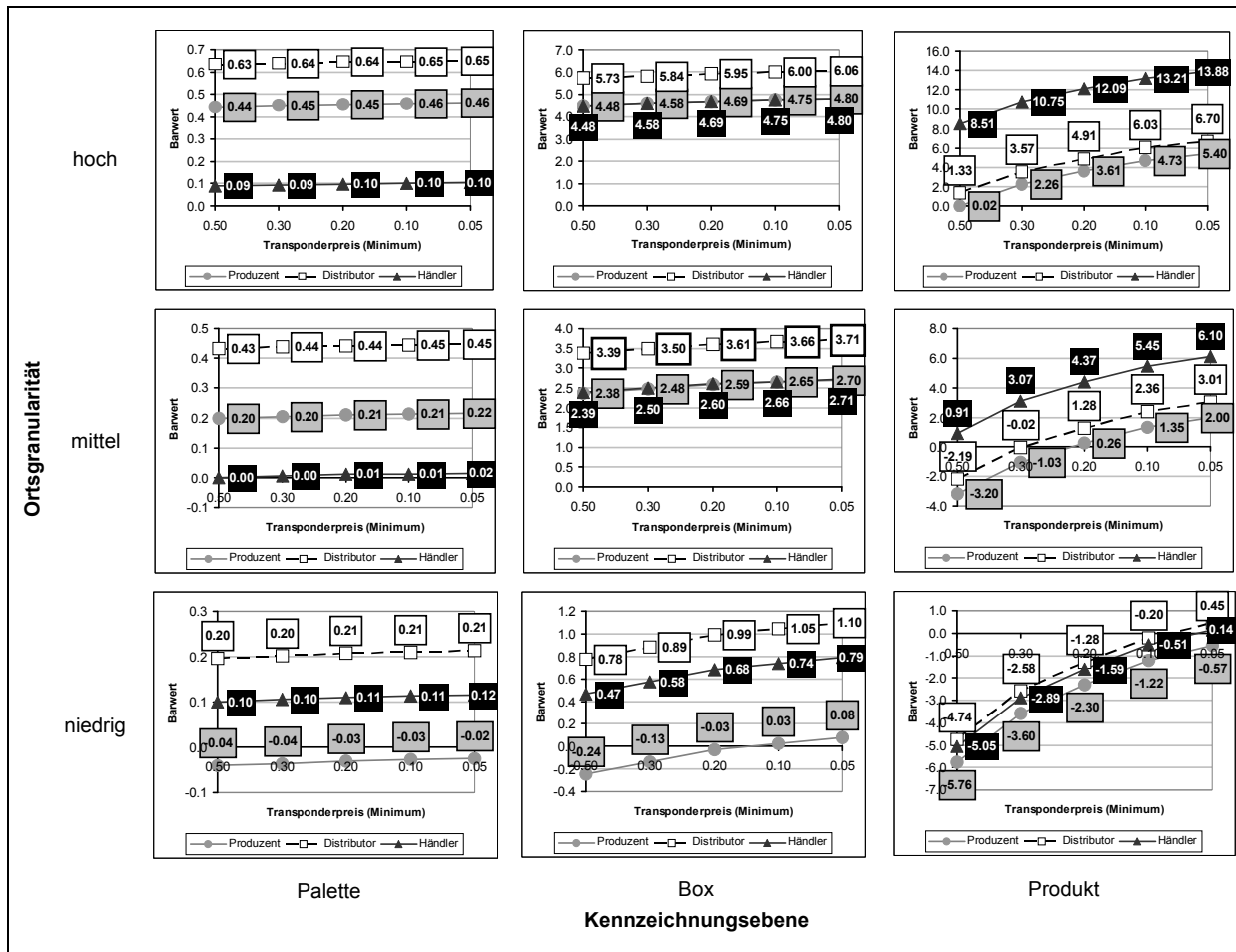


Abbildung 5-39: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit von Transponderpreisen – Verteilte Transponderkosten

Werden die Transponderkosten gleichmäßig auf die Akteure verteilt, führt ab dem vierten Preisszenario (Preisspanne 10 - 20 Cent) für alle drei SC-Partner die höchste Visibilitätsstufe zu dem höchsten Barwert. Bei entsprechend niedrigen Transponderpreisen ist daher eine Kennzeichnung auf Produktebene mit dem Einsatz einer umfangreichen RFID-Infrastruktur vorteilhaft.

Variation des Produktwerts und der Nachfragemengen

Abschließend werden noch verschiedene Szenarien in Bezug auf den Produktwert und die Nachfragemenge untersucht. Es soll dabei analysiert werden, wie sich die finanziellen Kennzahlen ändern, falls diese Parameter höher (Produktwert: 20 Euro; Nachfragemenge: 15 Mio.) oder auch niedriger (Produktwert: 1, 2 und 5 Euro; Nachfragemenge: 0,5, 1,0 und 2,5 Mio.) ausfallen. Es werden wiederum die aktuell realisierbaren Preisspannen für Transponder (Szenario 1: 50 - 70 Cent) angenommen.¹⁷¹ Die detaillierten Ergebnisse für die Szenarien finden sich aus Platzgründen im Anhang (vgl. Anhang B – Abbildungen B1 bis B4).

¹⁷¹ Damit entsprechen die Werte für den Fall, dass die Nachfrage 7,5 Mio. Produkte umfasst und der Produktwert bei 10 Euro liegt, den Ergebnissen aus dem Ausgangsszenario (siehe Abbildung 5-36 und Abbildung 5-37).

Für die optimalen Visibilitätsstufen ergeben sich folgende Veränderungen durch die Variation der Nachfragemenge (siehe Tabelle 5-31). Bei sehr niedrigen Nachfragemengen (500.000 Produkte) ändert sich im Falle, dass die Transponderkosten vom Produzenten getragen werden, die optimale Visibilitätsstufe aus dem Ausgangsszenario für den Produzenten (niedrigste Visibilitätsstufe) und Distributor (mittlere Ortsgranularität und Kennzeichnung auf Boxebene). Für den Händler bildet die höchste Visibilitätsstufe bei allen Nachfragemengen das Optimum. Etwas anders stellt sich der Sachverhalt dar, wenn eine Verteilung der Transponderkosten angenommen wird. Neben dem Produzenten wird auch für den Händler bei einer Nachfragemenge von 500.000 Produkten die niedrigste Visibilitätsstufe vorteilhaft. Der Distributor kann die besten Ergebnisse bei einer mittleren Datengranularität generieren. Diese liegen jedoch wie bei den beiden anderen Akteuren im negativen Bereich, sodass bei niedrigen Nachfragemengen eher von einer Verlustminimierung gesprochen werden muss.

Stufe des LN	Transponderkosten	Nachfragemenge									
		500.000		1.000.000		2.500.000		7.500.000		15.000.000	
		OG	KE	OG	KE	OG	KE	OG	KE	OG	KE
Produzent	<i>Produzent</i>	niedrig	Palette	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box
	<i>Verteilt</i>	niedrig	Palette	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box
Distributor	<i>Produzent</i>	mittel	Box	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt
	<i>Verteilt</i>	mittel	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box
Händler	<i>Produzent</i>	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt
	<i>Verteilt</i>	niedrig	Palette	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt

OG – Ortsgranularität KE – Kennzeichnungsebene

Tabelle 5-31: Optimale Visibilitätsstufen bei unterschiedlichen Nachfragemengen

Die Veränderung des Produktwerts führt zu den in Tabelle 5-32 dargestellten optimalen Visibilitätsstufen. Für das Kostenverteilungsmodell, bei dem der Hersteller die Transponderkosten trägt, ergeben sich für den Distributor und Händler keine Änderungen der Visibilitätsstufe. Der Produzent realisiert bei einem Produktwert von 1 Euro bei einer hohen Ortsgranularität und der Palettenkennzeichnung die besten Ergebnisse. Bei verteilten Transponderkosten wird vorwiegend die Kombination „hohe Ortsgranularität/Boxkennzeichnung“ zur optimalen Lösung für alle Akteure. Lediglich der Händler profitiert von hohen Produktwerten (insbesondere durch die Verringerung des Schwunds und der OoS-Situationen auf der Verkaufsfläche) und wählt die höchste Visibilitätsstufe bei den Werten 10 und 20 Euro. Insgesamt übt aber der Produktwert einen geringeren Einfluss auf die Wahl der Visibilitätsstufe als die Nachfragemenge.

Stufe des LN	Transponderkosten	Produktwert [€]									
		1		2		5		10		20	
		OG	KE	OG	KE	OG	KE	OG	KE	OG	KE
Produzent	<i>Produzent</i>	hoch	Palette	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box
	<i>Verteilt</i>	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box
Distributor	<i>Produzent</i>	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt
	<i>Verteilt</i>	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box
Händler	<i>Produzent</i>	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt	hoch	Produkt
	<i>Verteilt</i>	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Box	hoch	Produkt	hoch	Produkt

OG – Ortsgranularität KE – Kennzeichnungsebene

Tabelle 5-32: Optimale Visibilitätsstufen bei unterschiedlichen Produktwerten

5.3.4 Implikationen der Untersuchung und Handlungsempfehlungen

Aus den im vorangegangenen Abschnitt durchgeführten Analysen können sowohl allgemeine als auch akteurspezifische Implikationen abgeleitet werden, aus denen sich Handlungsempfehlungen für die Praxis ableiten lassen. Zu den allgemeinen Folgerungen gehören die folgenden:

- Die Ergebnisse zeigen über alle Szenarien hinweg, dass eine große Diskrepanz zwischen den Datengranularitätsdimensionen zu vermeiden ist. Die Kombination einer hohen Ortsgranularität mit der Palettenkennzeichnung führt genauso wie die Implementierung einer RFID-Lösung auf Produktebene in Verbindung mit einer geringen örtlichen Granularität zu niedrigen oder gar negativen Barwerten. Die Wahl einer ausgewogenen Visibilitätsstufe, bei der die beiden Datengranularitätsdimensionen in etwa ähnlich ausfallen, führt zu den deutlich besseren Ergebnissen. In der Praxis sollte also z. B. bei der Kennzeichnung von Produkten mit Transpondern auch eine entsprechend umfassende RFID-Infrastruktur errichtet werden, die dafür sorgt, dass die Potenziale des Produkt-Taggings zur Geltung kommen.
- Wie bei den Ausführungen zum Gleichgewicht des SCM-Visibilitätsbedarfs und des RFID-Visibilitätspotenzials in Abschnitt 5.3.2 vermutet¹⁷², liegt das Optimum im Regelfall nicht bei der maximal möglichen Visibilitätsstufe (also der Kombination „hohe Ortsgranularität/Produktkennzeichnung“). Dies liegt daran, dass die RFID-Technologie irgendwann an die Grenze ihres Leistungspotenzials stößt, an der zusätzliche Visibilitätskosten die zusätzlichen Nutzenpotenziale übersteigen. In dem Beispielszenario ist dies bei dem Übergang von der Verpackungs- zur Produktkennzeichnung bei hoher örtlicher Granularität der Fall. In der Praxis sollte deshalb im Vorfeld der RFID-Einführung geklärt werden, welcher Informationsbedarf im Logistiknetzwerk besteht und ob das RFID-System die Daten zur Deckung dieses Bedarfs unter der Prämisse der Wirtschaftlichkeit liefern kann.

¹⁷² Dort ist der Sachverhalt insbesondere in Abbildung 5-25 grafisch veranschaulicht.

- Der Transponderpreis übt erwartungsgemäß einen hohen Einfluss auf die Wahl der Visibilitätsstufe aus. Insbesondere in dem Szenario mit verteilten Transponderkosten führt eine Reduktion der Preise auf ca. 10 - 20 Cent zu dem Fall, dass für alle Akteure die höchste Visibilitätsstufe erstrebenswert wird. Ab einem Transponderpreis von ca. 4 Cent wird auch im Falle, dass der Produzent die vollen Kosten der RFID-Kennzeichnung trägt, die Kombination aus hoher Ortsgranularität und Produkt-Tagging für diesen vorteilhaft. Dieser Preis mag zwar derzeit utopisch anmuten. Mit der rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der Polymerelektronik (vgl. Kapitel 2.2) sind jedoch Transponderpreise um oder sogar unter 5 Cent schon in naher Zukunft denkbar.
- Der Produktwert und Nachfragemengen sollten Berücksichtigung im Vorfeld der RFID-Einführung finden. Bei niedriger Nachfrage, die eine geringe Anzahl der mit Transpondern ausgestatteten logistischen Objekte impliziert, führt die RFID-Implementierung auf niedrigerer Visibilitätsstufe evtl. zu besseren Ergebnissen. Der Produktwert wirkt sich erwartungsgemäß erst bei der Kennzeichnung auf Produktebene entscheidend aus: Bei hohen Produktmargen fällt der Transponderpreis dabei nicht so sehr ins Gewicht, was zu bedeutend höheren Barwerten führt.

Für die einzelnen Akteure ergeben sich aus den Untersuchungen die folgenden Implikationen und Handlungsempfehlungen:

- Für den *Produzenten* entpuppt sich eine Slap-and-Ship-Lösung (niedrigste Visibilitätsstufe) als unvorteilhaft. Werden Mandate in der Praxis ausgesprochen, ist daher zu prüfen, ob die Installation einer RFID-Infrastruktur einer bloßen Ausstattung von Paletten in dem Warenausgangsbereich vorgezogen werden sollte. Die Untersuchungen zeigen, dass die Überlegungen nicht nur auf die Erhöhung der örtlichen Granularität, sondern u. U. auch auf die Kennzeichnung von Verpackungen abzielen sollten: In dem Beispielszenario bildet für alle Transponderpreise die Boxkennzeichnung in Kombination mit einer umfassenden RFID-Lesegeräteinfrastruktur für den Produzenten die optimale Visibilitätsstufe. Aufgrund der Tatsache, dass die Mehrzahl der logistischen Prozesse beim Hersteller auf Paletten- und Boxebene abläuft, ist eine Produktkennzeichnung für diesen Akteur nicht erstrebenswert (bis auf die Ausnahme, dass – wie bereits im allgemeinen Teil ausgeführt wurde – mit sehr niedrigen Transponderpreisen auch der Produzent zukünftig diese Kennzeichnungsebene berücksichtigen sollte).
- Der *Distributor* kann in vielen Fällen die höchsten Barwerte aller Akteure realisieren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese Stufe des Logistiknetzwerks Nutzenpotenziale sowohl im Warenein- als auch im Warenausgang erzielen kann, während der Produzent lediglich den Warenausgang und der Händler ausschließlich den Wareneingang mit RFID effizienter gestalten kann. Problematisch bei diesem Akteur ist jedoch, dass er in der Praxis selten eine starke Position in der Supply Chain inne hat und deshalb in der Regel keinen Einfluss auf die Entscheidung, welche Kennzeichnungsebene anzuwenden ist, besitzt. Idealerweise erfolgt für ihn das Tagging auf Verpackungsebene.
- Die Präferenzen des *Händlers* bezüglich der Visibilität unterscheiden sich von den bisherigen Akteuren: In dieser Stufe wird die Mehrheit der logistischen Aufgaben auf der Verpackungs- und Produktebene abgewickelt. Deshalb ist nicht weiter verwunderlich, dass der Händler insbesondere

auf der Produktebene die höchsten Barwerte realisieren kann. Damit gehen die Ergebnisse mit den Resultaten früherer Studien (vgl. etwa Bottani/Rizzi 2008) konform. Eine hohe örtliche Granularität in Form einer Investition in Smart Shelves auf der Verkaufsfläche lohnt sich unter den getroffenen Annahmen und Prämissen.

Neben den Erkenntnissen sind auch die Grenzen der vorliegenden Untersuchung zu nennen. Es handelt sich dabei um die folgenden Limitationen:

- Es konnten nicht alle Effekte in dem Modell Berücksichtigung finden. Um die Übersichtlichkeit zu wahren und die Komplexität zu reduzieren, wurden die wichtigsten RFID-Effekte modelliert und z. B. organisatorische Auswirkungen oder schwer quantifizierbare Nutzenpotenziale, wie etwa die Imageverbesserung durch den Einsatz einer innovativen Technologie, nicht betrachtet. In der Realität sind das Faktoren, die entweder mit Nutzwertanalysen oder zumindest mittels Argumentenbilanzen in die Betrachtungen einbezogen werden sollten.
- Der Beitrag von RFID-basierten Informationen zur Visibilitätssteigerung wurde anhand der Datengranularitätsdimensionen „Örtliche Granularität“ und „Kennzeichnungsebene“ operationalisiert. Weitere Dimensionen der Datengranularität wurden nicht betrachtet. Interessant wäre bspw. zu untersuchen, welche Auswirkungen die Variation der zeitlichen Dimension (z. B. Bereitstellung echtzeitnaher Informationen auf RFID-Basis für alle Akteure des Logistiknetzwerks) auf die optimale Visibilität besitzt. Hier könnte die Data-on-Tag-Variante der Datenorganisation eine entscheidende Rolle spielen: Durch die sofortige Verfügbarkeit (auch bei Ausfällen zentraler Systeme) der objektbezogenen Daten könnten die Prozesseffizienz und -sicherheit erhöht werden, was sich wiederum in quantifizierbaren Nutzenpotenzialen niederschlagen würde.
- Es wurde angenommen, dass alle Nutzenpotenziale in den jeweiligen Visibilitätsstufen auch tatsächlich in voller Höhe realisiert werden können. In der Praxis sollten jedoch auch Risiken in solche Betrachtungen einfließen. Dies kann z. B. erfolgen, indem risikoadjustierte Kennzahlen ermittelt oder pessimistische Szenarien, die von der Realisierung niedrigerer Nutzenpotenziale bzw. von höheren Kosten ausgehen, entworfen werden.

Abschließend ist festzuhalten, dass die vorliegenden Ergebnisse zum einen eine differenzierte Auseinandersetzung mit der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des RFID-Einsatzes implizieren. Nicht jedes in der Literatur erwähnte Nutzenpotenzial ist mit jedem RFID-System realisierbar und dies sollte in die Berechnungen der finanziellen Auswirkungen einbezogen werden. Zum anderen zeigt der Ansatz, die Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes anhand des Visibilitätspotenzials mit den unterschiedlichen Datengranularitätsdimensionen zu betrachten, eine sinnvolle Alternative zu den bisherigen Kosten-Nutzen-Betrachtungen auf.

6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Abschnitts werden die wichtigsten Ergebnisse im Hinblick auf die eingangs formulierten Forschungsfragen und sowie daraus ableitbare Implikationen für die Wissenschaft und Praxis zusammengefasst. Zudem wird ein kurzer Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten gegeben.

Zentrale Ergebnisse der Arbeit

Zur Untersuchung des RFID-Datenmanagements wurden vier Forschungsfragen gestellt, die im Folgenden zusammenfassend beantwortet werden.

Forschungsfrage 1: Wie wirkt sich der Einsatz von RFID auf das Datenmanagement aus?

Die Beantwortung dieser Forschungsfrage erfolgte in Kapitel 3. Dort wurde zunächst festgehalten, dass der RFID-Einsatz positive (**Chancen**) als auch negative (**Herausforderungen**) Auswirkungen auf das Datenmanagement hat. Bei den Chancen handelt es sich um die *erhöhte Effizienz der Datenerfassung* und *erhöhte Datengranularität* sowie die Möglichkeit, *Daten mit logistischen Objekten zu integrieren*. Zu den Herausforderungen zählen die *äußeren Einwirkungen auf die Datenerfassung*, *hohe Datenmengen*, *geringe Aussagekraft der RFID-Rohdaten*, *unsichtbare Datenerfassung*, *Komplexität der Bereitstellung von RFID-Daten für Netzwerkpartner* sowie *fehlende unternehmensübergreifende Datenstandards*.

Aus den Auswirkungen wurden **Ziele** und **Fragestellungen** des RFID-Datenmanagements abgeleitet. Um eine Systematisierung der bisher relativ unstrukturierten Forschung auf diesem Gebiet vornehmen zu können, erfolgte in Anlehnung an etablierte Konzepte des Datenmanagements die Einteilung der Ziele und Fragen in die vier Bereiche *Datenerfassung*, *Datenorganisation*, *Datenaufbereitung und -verwendung*, *Datensicherheit und -schutz*. Auf Grundlage einer umfangreichen Literaturrecherche konnten anschließend ein Überblick zu den bisherigen Forschungsvorhaben gegeben und Forschungslücken identifiziert werden.

Die Literaturrecherche ergab, dass neben der Datenverwendung (z. B. gibt es nur wenige Untersuchungen der Auswirkungen der RFID-induzierten Datengranularitätserhöhung auf die Visibilität) und der Datenaufbereitung (nur wenige integrierte Ansätze zur Aufbereitung der hohen Datenmengen sind in der Literatur zu finden) auch die objektbegleitende Datenspeicherung bisher nur unzureichend erforscht wurde. In diesem Zusammenhang wurden die Bereiche der Datenorganisation (zweite Forschungsfrage) sowie der Datenaufbereitung und -verwendung (dritte und vierte Forschungsfrage) für eine tiefere Untersuchung ausgewählt.

Forschungsfrage 2: Wann ist eine objektbegleitende Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken sinnvoll?

Diese Forschungsfrage wurde in Kapitel 4 adressiert. Um sie beantworten zu können, wurde die objektbegleitende Datenspeicherung (Data-on-Tag) in einem ersten Schritt von anderen Formen der

Datenorganisation (Speicherung der Daten in zentralen und verteilten Datenbanken – Data-on-Network) abgegrenzt. Dabei wurden auch die **wesentlichen Merkmale der beiden Datenorganisationskonzepte** herausgearbeitet. Die Vorteile des Data-on-Tag-Konzepts gegenüber alternativen Formen der Datenorganisation liegen im Wesentlichen in der *simplen Architektur*, der *guten Skalierbarkeit* sowie der *Möglichkeit, Daten „offline“ zu erfassen*. Zu den Nachteilen gehören die Tatsache, dass ein *Zugriff auf die Daten nur bei Präsenz des Objekts* möglich ist, *teure (weil leistungsfähige) Transponder* notwendig sind und bei Speicherung sensibler Daten *Verschlüsselungsmethoden auf dem Tag* angewendet werden müssen.

Anschließend erfolgte eine bezugsrahmenorientierte Herleitung des **konzeptuellen Modells zur objektbegleitenden Datenspeicherung** mit dem Ziel, Einflussfaktoren, Gestaltungsmöglichkeiten und Nutzenpotenziale dieser Datenorganisationsform analysieren zu können. Hierzu wurden neben einer intensiven Literaturrecherche auch Fallstudienuntersuchungen herangezogen. Der finale Bezugsrahmen identifiziert Einflussvariablen auf die Entscheidung, Daten objektbegleitend zu speichern, in den Bereichen Logistiknetzwerk, Produkt, Technologie und im Bereich weiterer Faktoren, wie z. B. Transponderpreis oder Kennzeichnungsebene. Ausgehend von diesem Konstrukt wurden eine empirische Studie durchgeführt und Beziehungen zwischen den einzelnen Variablen mittels des Interpretative Structural Modeling analysiert.

Die empirischen Ergebnisse zeigen, dass derzeit die **Data-on-Tag-Variante selten in der Praxis** anzutreffen ist. Es konnten Wirkungszusammenhänge nachgewiesen werden, die diesen Sachverhalt erklären. Insbesondere verhindern die *hohen Transponderpreise* sowie *fehlende technologische Voraussetzungen* den Einsatz von Tags, die über eine entsprechend hohe Speicherkapazität verfügen. Bei den **Nutzenpotenzialen** wurden die Vorteile der *Auslesung von Daten im Falle eines Ausfalls von zentralen Systemen/Netzwerken* sowie der *Vermeidung von papiergebundenen Informationsflüssen* als besonders relevant identifiziert. Die Ergebnisse der Befragung zeigen zudem, dass die Unternehmen im Gegensatz zu der breiten Öffentlichkeit *keine negativen Auswirkungen der objektbegleitenden Datenspeicherung auf die Datensicherheit* sehen.

Ergänzt um die Ergebnisse des Interpretative Structural Modeling konnten schließlich **Merkmalsausprägungen** für die Einflussfaktoren formuliert werden, die für eine der beiden Datenorganisationsformen Data-on-Tag oder Data-on-Network sprechen. Diese können Abbildung 4-18 entnommen werden.

Forschungsfrage 3: Wie können RFID-Daten in Logistiknetzwerken effizient aufbereitet und verwertet werden?

Im Rahmen der Beantwortung dieser Frage wurde ein **Vorgehensmodell zur Datenaufbereitung** konzipiert. Dieses ist aus der Perspektive der Referenzmodellierung als ein „Idealkonzept“ zu verstehen, welches *bei der Gestaltung eines RFID-basierten Informationssystems als Empfehlung* dient. In die Konzeption des Modells sind neben der Berücksichtigung der identifizierten Herausforderungen in den Bereichen Datenvolumen, Datenqualität und Generierung von entscheidungsrelevanten Informationen zahlreiche Konzepte aus der Literatur (z. B. Complex Event Processing) und Praxis (bspw. Supply Chain Event Management) eingeflossen. Damit ist eine integrierte Sichtweise auf die Datenaufbereitung entlang der „Wertschöpfungskette der RFID-Informationen“ (vgl. Kapitel 5.2.4) geschaffen worden.

Abschließend wurde der Beitrag des Vorgehensmodells zur Reduktion des Datenvolumens, Erhöhung der Datenqualität und Generierung entscheidungsrelevanter Informationen dargelegt.

Neben der Datenaufbereitung wurden auch Beispiele der Datenverwendung aufgezeigt. Diese wurden in transaktionale/operative und analytische/strategische Anwendungsszenarien unterteilt. Insbesondere im strategischen Bereich konnten **innovative Auswertungsmöglichkeiten der RFID-basierten Informationen** dargestellt werden. Damit wurden die *über den reinen Automatisierungsaspekt hinausgehenden Nutzenpotenziale* der RFID-Technologie gegenüber herkömmlichen Auto-ID-Systemen verdeutlicht. Diesen Gedanken greift auch die letzte Forschungsfrage auf.

Forschungsfrage 4: Welchen Beitrag können RFID-Daten zur Erhöhung der Visibilität in Logistiknetzwerken leisten?

Der RFID-Technologie wird allgemein attestiert, dass sie im Vergleich zu Barcode-Systemen ein höheres Potenzial zur Visibilitätserhöhung besitzt. Allerdings finden sich in der Literatur nur wenige Studien, die die kausale Beziehung zwischen RFID-Einsatz und Auswirkungen auf die Visibilität unter wirtschaftlichen Aspekten untersuchen. Ein weiteres Problem stellt in diesem Zusammenhang die häufige Pauschalisierung des RFID-Nutzens dar: Nicht selten wird in der Literatur die genaue Ausgestaltung der RFID-Lösung vernachlässigt und es wird angenommen, dass mit jedem beliebigen RFID-System auch alle Nutzenpotenziale realisiert werden können.

Vor diesem Hintergrund schlägt die Arbeit mit dem vorgestellten Kosten-Nutzen-Modell eine **alternative Möglichkeit der Wirtschaftlichkeitsberechnung** vor: Ausgehend von dem *Informationsbedarf der logistischen Aufgaben* wird die notwendige Visibilitätsstufe bestimmt. Den Hebel in dem Modell bildet dabei die Variation der *Granularität der zu erfassenden RFID-Daten*. Um die RFID-Wirkungen analysieren zu können, wurden ein auf SCOR-Prozessen basiertes Prozessmodell entwickelt und die Kosten und Nutzenpotenziale anhand der Prozesse quantifiziert. Im Rahmen eines Anwendungsfalls erfolgte anschließend die Simulation unterschiedlicher Szenarien.

Ein wesentlicher Beitrag der Simulation liegt in der Erkenntnis, dass *eine ausgewogene Datengranularität den höchsten Nutzen* aufweist. Die RFID-Datenerfassung auf Produktebene bringt also bspw. nur in Kombination mit einer umfangreichen Lesegeräteinfrastruktur die erhofften Ergebnisse. Anders herum ist bei einer Kennzeichnung von Paletten eine niedrige örtliche Granularität vorzuziehen, bei der u. U. RFID-Daten nur an Warenein- und Warenausgängen erfasst werden. Weiterhin konnten auch interessante Erkenntnisse bezüglich der Visibilitätsstufen der einzelnen Akteure des Logistiknetzwerks gewonnen werden. So ist u. a. anhand der Ergebnisse die häufig in der Literatur formulierte *Empfehlung an den Produzenten, im Falle von RFID-Mandaten eine Slap-and-Ship-Lösung zu verfolgen, zu revidieren*. Die Berechnungen deuten daraufhin, dass der Produzent mit einer erhöhten Datengranularität (Kennzeichnung auf Boxebene sowie Installation einer umfassenden Lesegeräteinfrastruktur) einen höheren finanziellen Nutzen generieren kann.

Implikationen für die Wissenschaft und Praxis

In der Einleitung der vorliegenden Arbeit (vgl. Kapitel 1.2) wurden für die aufgeworfenen Forschungsfragen die zu erwartenden Ergebnisse formuliert. Die nachfolgende Tabelle 6-1 konkretisiert diesbezüglich die Implikationen der Untersuchung, indem sie den Erkenntnisgewinn für die Wissenschaft sowie die wesentlichen Handlungsempfehlungen für die Praxis zusammenfasst.

Forschungsfragen	Erkenntnisgewinn für die Wissenschaft	Handlungsempfehlungen für die Praxis
<p>Forschungsfrage 1: Wie wirkt sich der Einsatz von RFID auf das Datenmanagement (DM) aus?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufarbeitung des bisherigen Forschungsstands im Bereich des RFID-DM ▪ Einteilung des RFID-DM in Anlehnung an den Data Evolution Life Cycle in vier Bereiche (Datenerfassung, Datenorganisation, Datenaufbereitung und -verwendung, Datensicherheit und -schutz) ▪ Systematisierung von Zielen und relevanten Fragen in den jeweiligen Bereichen des DM 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herausforderungen an das DM im RFID-Umfeld können zur Ableitung von Anforderungen an das RFID-System herangezogen werden: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Äußere Einwirkungen auf die Datenerfassung sind zu berücksichtigen (diese mindern die Datenqualität) ➢ Es sind eine adäquate Infrastruktur und Datenfilterungsmechanismen zur Bewältigung der hohen Datenmengen zu implementieren ➢ Da die Datenerfassung automatisch und unsichtbar erfolgt, sind Schutzmechanismen zu erwägen ➢ Die Versorgung der Netzwerkpartner mit RFID-basierten Informationen ist im Vorfeld zu klären ➢ Fehlende Datenstandards sind zu beachten ▪ Identifizierte Chancen sollten bei der Entscheidung für eine RFID-Investition Berücksichtigung finden
<p>Forschungsfrage 2: Wann ist eine objektbegleitende Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken (LN) sinnvoll?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konzeption eines Bezugsrahmens zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten LN <ul style="list-style-type: none"> ➢ Bezugsrahmen kann als Ausgangspunkt für die Anwendung unterschiedlicher Forschungsmethoden dienen ➢ Theoretische und fallstudienbasierte Herleitung der Einflussfaktoren und Nutzenpotenziale des Data-on-Tag-Ansatzes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Data-on-Tag sollte eingesetzt werden, insbesondere wenn... <ul style="list-style-type: none"> ➢ die Komplexität und Dynamik der Beziehungen im LN niedrig sind ➢ die Produktart innovativ und der Produktwert hoch sind ➢ die Leistungsfähigkeit des Transponders den Anforderungen an die zusätzliche Datenspeicherung entspricht ➢ die Transponderpreise einen wirtschaftlichen Einsatz leistungsfähiger Tags erlauben ➢ eine Kennzeichnung auf Produktebene angestrebt wird ➢ die Informatisierung im LN unterstützt werden soll (und keine reine Automatisierung das Ziel ist)
<p>Forschungsfrage 3: Wie können RFID-Daten in LN effizient aufbereitet und verwertet werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herleitung von Herausforderungen der RFID-Datenaufbereitung ▪ Konzeption eines Referenzmodells, welches als Ausgangspunkt für konkrete Systeme bzw. prototypische Implementierungen dienen kann 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Orientierung am vorgeschlagenen Vorgehensmodell zur Datenaufbereitung ▪ Beachtung der formulierten Prinzipien: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Vorverarbeitung der Daten nah an der Quelle bei Erhaltung der notwendigen Flexibilität der Datenauswertung ➢ Verstärkte Datenfilterung und Auslagerung älterer Daten ➢ Transformation simpler in komplexe Ereignisse durch das Hinzufügen von Kontext ➢ Anwendungsneutrale Aufbereitung der Daten ▪ Implementierung der vorgestellten Auswertungsmöglichkeiten
<p>Forschungsfrage 4: Welchen Beitrag können RFID-Daten zur Erhöhung der Visibilität in LN leisten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorschlag einer alternativen Wirtschaftlichkeitsberechnung von RFID-Projekten, die auf dem Konstrukt der Datengranularität aufbaut ▪ Erklärung des Beitrags von RFID-Daten zur Visibilität in LN anhand des Kosten-Nutzen-Modells 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abgleich von SCM-Visibilitätsbedarfen mit dem RFID-Visibilitätspotenzial im Vorfeld des RFID-Einsatzes notwendig ▪ Wahl einer ausgewogenen Visibilitätsstufe bezüglich der Ortsgranularität und Kennzeichnungsebene ▪ Slap-and-Ship-Lösungen sind für Produzenten bzw. Lieferanten nicht erstrebenswert ▪ Händler sollten einen RFID-Einsatz auf der Produktebene anstreben

Tabelle 6-1: Implikationen für die Wissenschaft und Praxis

Ausblick

Zu den erwarteten Ergebnissen zählt u. a. die Ableitung neuer Forschungsfragen. Anhand der vorliegenden Arbeit lassen sich folgende zukünftige Forschungsmöglichkeiten identifizieren.

In Kapitel 3.2 wurden aktuelle Fragestellungen des RFID-Datenmanagements formuliert. Aufgrund der spezifischen Fokussierung der Arbeit konnten nicht alle Fragen aufgegriffen werden. Forschungsbedarf existiert im Rahmen der Datenorganisation im Hinblick auf die *effiziente Speicherung der Daten am Transponder*. In dieser Arbeit wurden die Nutzenpotenziale des Data-on-Tag-Konzepts verdeutlicht, jedoch auch die Erkenntnis gewonnen, dass diese Datenorganisationsform in der Praxis u. a. aufgrund des hohen Speicherbedarfs selten Anwendung findet. Effiziente Formen der Datenspeicherung könnten diese Problematik entschärfen. Eine weitere Forschungsmöglichkeit liegt in der *Standardisierung der objektbezogenen Daten*: Bisher verhindert die mangelnde Standardisierung den unternehmensübergreifenden Einsatz der objektbegleitenden Datenspeicherung. Es gibt zwar erste Bemühungen zur Vereinheitlichung der Speicherstruktur von Data-on-Tag-Transpondern für einzelne Branchen, allerdings hat sich noch keine allgemein akzeptierte Lösung des Problems herauskristallisiert.

Weiterhin könnten Folgeuntersuchungen an die Ergebnisse der hier durchgeführten empirischen Erhebung anknüpfen. Es bietet sich eine *Replikation bzw. Reproduktion¹⁷³ der vorliegenden Studie* an. Zukünftig ist dabei aufgrund der schnell voranschreitenden Diffusion der RFID-Technologie von einer höheren Stichprobe auszugehen. Damit würde sich die Möglichkeit eröffnen, die Kausalzusammenhänge mithilfe eines Strukturgleichungsmodells zu untersuchen.

In Abschnitt 5.2.3 wurde ein Vorgehensmodell zur Aufbereitung von RFID-Daten konzipiert. Zukünftige Forschungsvorhaben könnten auf die *prototypische Implementierung des vorgeschlagenen Referenzmodells zur Datenaufbereitung* abzielen. Auch fehlt es bisher an Studien, die *geeignete Visualisierungsmöglichkeiten für RFID-basierte Informationen* analysieren. Hier bieten sich also auch Forschungsmöglichkeiten zur Entwicklung von prototypischen Softwarelösungen an.

Schließlich könnte auch das in Kapitel 5.3.3 entwickelte *Kosten-Nutzen-Modell um weitere Dimensionen der Datengranularität erweitert* werden. Hier könnte z. B. die zeitliche Dimension (echtzeitnahe vs. verzögerte Bereitstellung der Daten) einer Analyse unterzogen werden. Auch ist eine veränderte Konstellation des Logistiknetzwerks (weitere Stufen, Berücksichtigung alternativer Transportprozesse etc.) für weitere Studien in Erwägung zu ziehen.

In die Zukunft blickend ist zu erwarten, dass die Erforschung des RFID-Datenmanagements insbesondere an Bedeutung zunehmen wird, wenn die Implementierung der Technologie nicht nur zu Automatisierungszwecken bzw. zur Erfüllung von Mandaten vorgenommen wird, sondern auf den betriebswirtschaftlichen Nutzen abzielt, der aus RFID-basierten Informationen gezogen werden kann. Vor diesem Hintergrund hegt der Autor die Hoffnung, mit der vorliegenden Arbeit einen Beitrag zur Popularisierung dieses Forschungszweigs geleistet zu haben.

¹⁷³ Die Replikation ist die Wiederholung einer wissenschaftlichen Studie. Bei der Reproduktion handelt es sich um die Erweiterung einer Studie um neue Methoden bzw. neue Daten.

Literaturverzeichnis

A

- Abadi et al. 2003: Abadi, J./Carney, D./Centimel, U./Cherniack, M./Convey, C./Lee, S./Stonebraker, N./Tatbul, N./Zdonik, S.: Aurora: a new model and architecture for data stream management. In: The VLDB Journal 12 (2003) 2, S. 120-139.
- Abel 2004: Abel, P.: RFID benefits. In: Productivity Conference (Präsentation), 2004, Nashville, TN, USA, http://www.fmi.org/events/productivity/2004/Prod_CDROM/presentations/RFID_benefits.pdf (Letzter Abruf am 15.08.2006).
- Aberdeen Group 2006: Aberdeen Group: Global Supply Chain Bench Mark Report, 2006, http://www.aberdeen.com/summary/report/benchmark/RA_GlobalTrade_BE_3172.asp (Letzter Abruf am 10.08.2008).
- ADT 2007: O. V.: ADT eröffnet Europas erstes permanentes Testzentrum für RFID-Dense-Reader-Umgebungen, Pressemitteilung, http://www.adt-deutschland.de/Pressemitteilungen-2007/070220%20ADT%20release%20RFID%20dense%20reader%20FINAL%20_2_.pdf (Letzter Abruf am 21.05.2009).
- Agarwal 2001: Agarwal, V.: Assessing the benefits of Auto-ID Technology in the Consumer Goods Industry, Auto-ID Center White Paper, Cambridge 2001, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/CAM-WH-003.pdf> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Agrawal et al. 2006: Agrawal, R./Cheung, A./Kailing, K./Schönauer, S.: Towards Traceability across Sovereign, Distributed RFID Databases. In: Proceedings of the 10th International Database Engineering and Applications Symposium, Delhi, Indien 2006, S. 174-184.
- Agrawal et al. 2008: Agrawal, J./Diao, Y./Gyllstrom, D./Immerman, N.: Efficient Pattern Matching over Event Streams. In: Proceedings of SIGMOD 2008, Vancouver, Kanada 2008, S. 147-160.
- Alicke 2005: Alicke, K.: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken: unternehmensübergreifendes Supply Chain Management, 2, Berlin [u. a.] 2005.
- Allen 2006: Allen, B.: Texas Instruments: Lessons from Successful RFID Applications. In: Garfinkel, S./Rosenberg, B. (Hrsg.): RFID: Applications, Security, and Privacy, Upper Saddle River, NJ 2006, S. 359-366.
- Alt et al. 2004: Alt, R./Cäsar, M./Leser, F./Österle, H./Puschmann, T./Reichmayr, C.: Architektur des Echtzeit-Unternehmens. In: Alt, R./Österle, H. (Hrsg.): Real-time Business: Lösungen, Bausteine und Potenziale des Business Networking, Berlin [u. a.] 2004, S. 19-52.
- Amador et al. 2009: Amador, C./Emond, J./Do Nascimento Nunes, M. C.: Application of RFID technologies in the temperature mapping of the pineapple supply chain. In: Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety 3 (2009) 1, S. 26-33.

- An et al. 2007: An, D./Yang, H./Yang, S./Kim, S./Yook, J./Kang, B.: A POI-Based RFID Reader Deployment and Associated Interference Effect. In: IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences 91 (2008) 2, S. 700-703.
- Angeles 2007: Angeles, R.: An empirical study of the anticipated consumer response to RFID product item tagging. In: Industrial Management & Data Systems 107 (2007) 4, S. 461-483.
- Arndt 2004: Arndt, H.: Supply Chain Management: Optimierung logistischer Prozesse, Wiesbaden 2004.
- Asif/Mandviwalla 2005: Asif, Z./Mandviwalla, M.: Integrating the Supply Chain with RFID: A technical and business analysis, Report, Fox School of Business and Management, Temple University 2005.
- Atali et al. 2006: Atali, A./Lee, H./Özer, Ö.: If the Inventory Manager Knew: Value of Visibility and RFID under Imperfect Inventory Information, Technical Paper, Stanford University, http://www.columbia.edu/~ao92/pdf/RFID_AHO.pdf (Letzter Abruf am 03.06.2009).
- Auramo et al. 2002: Auramo, J./Aminoff, A./Punaki, M.: Research agenda for e-business logistics based on professional opinions. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 32 (2002) 7, S. 513-531.
- 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 (Letzter Abruf am 02.03.2006).
- AVANTE International Technology 2005: AVANTE International Technology: Supply Chain Security and Loss Prevention Through Effective Counterfeit Prevention and Detection RFID Data Structure, White Paper 2005, www.avantetech.com/uploads/pdf/Counterfeit%20Prevention.pdf (Letzter Abruf am 10.06.2009).

B

- Babcock et al. 2002: Babcock, B./Babu, S./Datar, M./Motwani, R./Widom, J.: Models and Issues in Data Stream Systems. In: Proceedings of 21st ACM Symposium on Principles of Database Systems (PODS 2002), Madison, Wisconsin, USA 2002.
- Backhaus et al. 2006: Backhaus, K./Erichson, B./Plinke, W./Weber, R.: Analysemethoden, Berlin [u. a.] 2006.
- Bagchi et al. 2007: Bagchi, U./Guiffrida, A./O'Neill, L./Zeng, A./Hayya, J.: The Effect of RFID On Inventory Management and Control. In: Jung, H./Chen, F. F./Jeong, B. (Hrsg.): Trends in Supply Chain Design and Management, London 2007, S. 71-92.
- Bai et al. 2006: Bai, Y./Wang, F./Peiya, L.: Efficiently Filtering RFID Data Streams. In: Proceedings of the First International VLDB Workshop on Clean Databases (CleanDB 2006), Seoul, Korea 2006.
- Bai et al. 2008: Bai, L./Szmerekovsky, J./Zhang, J.: Modeling Inventory Inaccuracy and Demand Deviation to Assess the Value of RFID, Research Paper, <http://faculty.valpo.edu/lbai/files/Inaccuracy.pdf> (Letzter Abruf am 14.11.2008).

- Bald 2004: Bald, C.: RFID in der Wertschöpfungskette von Konsumgütern. In: Handel im Fokus 56 (2004) 2, S. 90-104.
- Banks 2007: Banks, J.: RFID applied, Hoboken, NJ 2007.
- Barcodat 2004: Barcodat: 2D-Code-Fibel, http://www.kompetenzzentrum-autoid.de/contents/pdfs/2d_code_fibel_2004.pdf (Letzter Abruf am 09.01.2006).
- Barlow et al. 2006: Barlow, W. E./Brannon, M. T./Jiannuzzi, J. L./Moss, T. B./Wright, D. H./Baker, R. K.: Radio Frequency Identification (RFID) Technology at Dell Computer Corporation. In: Proceedings of the 2006 Southern Association for Information Systems Conference, Jacksonville, Florida, USA 2006, S. 187-190.
- Beckenbauer et al. 2004: Beckenbauer, B./Fleisch, E./Strassner, M.: RFID Management Guide. In: IM 19 (2004) 4, S. 43-50.
- Becker et al. 2003: Becker, J./Holten, R./Knackstedt, R./Niehaves, B.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen und ihre Rolle für eine konsensorientierte Informationsmodellierung. In: Proceedings of the Wissenschaftstheorie in Ökonomie und Wirtschaftsinformatik 2003, S. 307-334.
- Becker/Niehaves 2007: Becker, J./Niehaves, B.: Epistemological Perspectives on IS Research – A Framework for Analyzing and Systemizing Epistemological Assumptions. In: Informations Systems Journal 17 (2007) 2, S. 197-214.
- Behrendt et al. 2003: Behrendt, H./Dümmler, P./Kruse, C./Thierstein, A.: Einsatz von Wirkungs- und Prozessmodellen zur Gewinnung von Hypothesen in komplexen Themen, http://www.nsl.ethz.ch/IRL/raumordnung/Daten/pdfs/Behrendt_etal_DISP_2003.pdf (Letzter Abruf am 21.05.2009).
- Beier et al. 2006: Beier, S./Grandison, T./Kailing, K./Rantzau, R.: Discovery Services - Enabling RFID Traceability in EPCglobal Networks. In: Proceedings of the 13th International Conference on Management of Data (COMAD) 2006, Delhi, Indien 2006.
- Beigl et al. 2008: Beigl, M./Riedel, T./Decker, C.: Smart Objects – Auswirkungen massengedruckter Einfachelektronik auf die IT-Infrastrukturen. In: Information Technology 50 (2008) 3, S. 175-184.
- Berekoven et al. 2004: Berekoven, L./Eckert, W./Ellenrider, P.: Marktforschung – Methodische Grundlagen und praktische Anwendung, 10, Wiesbaden 2004.
- Bertolazzi/Scannapieco 2001: Bertolazzi, P./Scannapieco, M.: Introducing Data Quality in a Cooperative Context. In: Proceedings of the 6th International Conference on Information Quality (IQ'01), MIT, Cambridge, USA 2001.
- Beutin 2006: Beutin, N.: Verfahren zur Messung der Kundenzufriedenheit im Überblick. In: Homburg, C. (Hrsg.): Kundenzufriedenheit – Konzepte, Methoden, Erfahrungen, 6, Wiesbaden, S. 17-51.
- Bird et al. 2007: Bird, N./Conrado, C./Guajardo, J./Maubach, S./Schrijen, G.-J./Skoric, B./Tombeur A. M. H./Thueringer, P./Tuyls, P.: Combining Physics and Cryptography to Enhance Security and Privacy in RFID Systems, Lecture Notes in Computer Science 4572 (2007), S.187-202.
- BITKOM 2005: BITKOM: White Paper RFID, Berlin 2005, www.bitkom.org/files/documents/White_Paper_RFID_deutsch_11.08.2005__final.pdf (Letzter Abruf am 28.05.2007).

- BMBF 2007: Bundesministerium für Bildung und Forschung: RFID: Potenziale für Deutschland, März 2007, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/rfid-potenziale-fuer-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Böhler 2004: Böhler, H.: Marktforschung, 3, Stuttgart 2004.
- Bolan 2006: Bolan, C.: The Lazarus Effect: Resurrecting Killed RFID Tags. In: Proceedings of the 4th Australian Information Security Management Conference, Edith Cowan University, Perth, Australien 2006.
- Bolotnyy et al. 2007: Bolotnyy, L./Krize, S./Robins, G.: The Practicality of Multi-Tag RFID Systems. In: Proceedings of the International Conference on Enterprise Information System (ICEIS 2007), International Workshop on RFID Technology - Concepts, Applications, Challenges (IWRT 2007), Funchal, Portugal 2007, S. 100-116.
- Bolotnyy/Robins 2005: Bolotnyy, L./Robins, G.: Randomized Pseudo-Random Function Tree Walking Algorithm for Secure Radio-Frequency Identification. In: Proceedings of the IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies 2005, S. 43-48.
- Bolotnyy/Robins 2009: Bolotnyy, L./Robins, G.: Multi-tag RFID systems. In: Zhang, Y./Kitsos, P. (Hrsg.): Security in RFID and Sensor Networks, Boca Raton 2009, S. 3-28.
- Bornhövd et al. 2004: Bornhövd, C./Lin, T./Haller, S./Schaper, J.: Integrating Automatic Data Acquisition with Business Processes Experiences with SAP's Auto-ID Infrastructure. In: Proceedings of the 30th VLDB Conference, Toronto, Kanada 2004, S. 1182-1188.
- Bortz/Döring 2003: Bortz, J./Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler, 3, Berlin [u. a.] 2003.
- Bottani/Rizzi 2008: Bottani, E./Rizzi, A.: Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the fast-moving consumer goods supply chain. In: International Journal of Production Economics 112 (2008) 2, S. 548-569.
- Boute 2006: Boute, R. N.: Impact of replenishment rules with endogenous lead times on supply chain performance. In: 4OR: A Quarterly Journal of Operations Research 5 (2007) 3, S. 261-264.
- Braun 2007: Braun R.: Forschungsdesign in der Wirtschaftsinformatik. In: WISU 1/2007, S. 61-66.
- Braun/Esswein 2006: Braun, R./Esswein, W.: Eine Methode zur Konzeption von Forschungsdesigns in der konzeptuellen Modellierungsforschung. In: Schelp, J./Winter, R./Frank, U./Rieger, B./Turowski, K. (Hrsg.): Integration, Informationslogistik und Architektur: DW 2006, Friedrichshafen, S. 143-171.
- Brenna et al. 2007: Brenna, L./Demers, A. J./Gehrke, J./Hong, M./Ossher, J./Panda, B./Riedewald, M./Thatte, M./White, W. M.: Cayuga: a high-performance event processing engine. In: Proceedings of SIGMOD 2007, Peking, China 2007, S. 1100-1102.
- Briggs/Cecere 2003: Briggs, P./Cecere, L.: Finding a visibility solution: answering the question 'where is my stuff'. Proceedings of the Council of Supply Chain Management Professionals Annual Meeting 2003.
- Brock 2001a: Brock, D.: The Electronic Product Code, Auto-ID Center White Paper, Cambridge 2001.

- Brock 2001b: Brock, D.: The Physical Markup Language, Auto-ID Center White Paper, Cambridge 2001.
- Brown 2007: Brown, D.: RFID Implementation, McGraw-Hill 2007.
- BSI 2004: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen: Trends und Entwicklungen in Technologien, Anwendungen und Sicherheit, Ingelheim 2004.
- Buettner/Wetherall 2008: Buettner, M./Wetherall, D.: An Empirical Study of UHF RFID Performance. In: Proceedings of the MobiCom 2008, San Francisco, USA 2008.
- Bühl/Zöfel 2006: Bühl, A./Zöfel, P.: SPSS 14. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows, 9, München 2006.
- Busch 2002: Busch, A.: Integriertes Supply Chain Management: Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse, Wiesbaden 2002.
- Business Dictionary 2009: Business Dictionary, <http://www.businessdictionary.com/definition/information-overload.html> (Letzter Abruf am 21.05.2009).

C

- Cambium-Forstbetriebe 2006: Cambium-Forstbetriebe: RFID-Challenge 2006: The LTS-Log-Tracking-System Goes on the Offensive (2006). http://www.cambium-forstbetriebe.de/cambium/uploads/File/PDF/Cambium-News_Englisch.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Canatatore et al. 2007: Canatatore, E./Geuns, T./Grujthuijsen, A./Gelinck, G./Drews, S./de Leeuw, D.: A 13.56 MHz RFID System based on Organic Transponders. In: IEEE Journal of Solid-State Circuits 42 (2007), S. 84-92.
- Cannon et al. 2008: Cannon, A. R./Reyes, P. M./Frazier, G. V./Prater, E. L.: RFID in the contemporary supply chain: multiple perspectives on its benefits and risks. In: International Journal of Operations & Production Management 28 (2008) 5, S. 433-454.
- Carbunar et al. 2005: Carbunar, B./Ramanathan, M. K./Koyuturk, M./Grama, A./Hoffmann, C.: Redundant-Reader Elimination in RFID-Systems. In: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), Santa Clara, USA 2005.
- Cash/Konsynski 1985: Cash, J. I./Konsynski, B. R.: IS Redraws Competitive Boundaries. In: Harvard Business Review, 3/4 (1985), S. 134-142.
- Chalasani/Boppana 2007: Chalasani, S./Boppana, R. V.: Data Architectures for RFID Transactions. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics 3 (2007) 3, S. 246-257.
- Chappell et al. 2002: Chappell, G./Durdan, D./Gilbert, G./Ginsberg, L./Smith, J./Tobolski, J.: Auto-ID in the box: The value of auto-ID technology in retail stores, MIT Auto-ID Center White Paper 2002, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/ACN-AUTOID-BC006.pdf> (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Chawathe et al. 2004: Chawathe, S. S./Krishnamurthy, V./Ramachandran, S./Sarma, S.: Managing RFID Data. In: Proceedings of the 30th VLDB Conference, Toronto, Kanada 2004, S. 1189-1195.

- Chen 1976: Chen, P.: The Entity Relationship Model – Toward a Unified View of Data. In: ACM Transactions on Database Systems 1 (1976) 1, S. 9-36.
- Chen et al. 2007: Chen, Y. C./Hsieh, M. F./Wang, C. C./Lee, H. R.: RFID-Based Intelligent Systems for Home-Healthcare. In: International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2007), Las Vegas, USA 2007, S. 1-2.
- Cheong/Kim 2005: Cheong, T./Kim, Y.: RFID Data Management and RFID Information Value Chain Support with RFID Middleware Platform Implementation. In: Lecture Notes in Computer Science 3760 (2005), S. 557-575.
- Cheung et al. 2006: Cheung, C. M./Cheung, C. F./Lee, W. B./Kwok, S. K.: An RFID Enabled Topology Visualization System for Supply Chain Management. In: Annual Journal of IIE (HK) 26 (2006), S. 61-70.
- Cheung et al. 2007: Cheung, A./Kailing, K./Schönauer, S.: Theseos: A Query Engine for Traceability across Sovereign, Distributed RFID Databases. In: IEEE 23rd International Conference on Data Engineering (ICDE 2007), Istanbul, Türkei 2007, S. 1495-1496.
- Choi/Kim 2005: Choi, H. S./Kim, J. H.: A Novel Tag Identification Algorithm for RFID System Using UHF. In: Lecture Notes in Computer Science 3824 (2005), S. 629-638.
- Choi/Lee 2007: Choi, J./Lee, W.: Comparative Evaluation of Probabilistic and Deterministic Tag Anti-collision Protocols for RFID Networks. In: Lecture Notes in Computer Science 4809 (2007), S. 538-549.
- Chopra/Meindl 2007: Chopra, S./Meindl, P.: Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation, 3, Upper Saddle River 2007.
- Chow et al. 2007: Chow, H. K. H./Choy, K. L./Lee, W. B./Chan, F. T. S.: Integration of web-based and RFID technology in visualizing logistics operations – a case study. In: Supply Chain Management: An International Journal 12 (2007) 3, S. 221-234.
- Chowdhury et al. 2008: Chowdhury, B./Chowdhury, M. U./D'Souza, C.: Challenges Relating to RFID Implementation within the Electronic Supply Chain Management - A Practical Approach. In: Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing 149 (2008), S. 49-59.
- Christ et al. 2003: Christ, O./Fleisch, E./Mattern, F.: M-Lab: The Mobile and Ubiquitous Computing Lab - Phase 2, St. Gallen/Zürich 2003.
- Churchill 1979: Churchill, G. A.: A Paradigm for Developing Better Measures of Marketing Constructs. In: Journal of Marketing Research 16 (1979), S. 64-73.
- CIO 2008: O. V.: Lemmi geht funken, CIO online, <http://www.cio.de/retailit/analysen/830402> (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Clark 2004: Clark, R.: Inventory tops RFID benefits list in web-based pool, usingRFID.com, <http://www.usingrfid.com/news/read.asp?lc=o14448mx252zf> (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Clasen 2006: Clasen, M.: Aktueller Stand der RFID-Standardisierung. In: Workshop: Intelligente Funketiketten – Chancen und Herausforderungen, Erlangen, ITG-Fachbericht (2006) 195.

- Cocca/Schoch 2005: Cocca, A./Schoch, T.: RFID-Anwendungen bei der Volkswagen AG - Herausforderungen einer modernen Ersatzteillogistik, In: Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u. a.] 2005, S. 197-208.
- Cocci et al. 2007: Cocci, R./Diao, Y./Shenoy, P.: SPIRE: Scalable Processing of RFID Event Streams. In: Proceedings of the 5th RFID Academic Convocation, Orlando, USA, April 2007.
- Cocci et al. 2008: Cocci, R./Tran, T./Diao, Y./Shenoy, P.: Efficient Data Interpretation and Compression over RFID Streams. In: IEEE 24th International Conference on Data Engineering 2008, Cancun, Mexiko 2008, S. 1445-1447.
- Collins 2006: Collins, J.: BP Tests RFID Sensor Network at U.K. Plant. In: RFID Journal 2006, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2443> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Corsten 1998: Corsten, H.: Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, 7, München [u. a.] 1998.
- Corsten et al. 2004: Corsten, D./Dittmann, L./Schuh, G./Straube, F.: Wie kann komplexes Netzwerkmanagement erlernt werden? In: Jahrbuch Logistik, Korschbroich, S. 276-281.
- Corsten/Gabriel 2002: Corsten, D./Gabriel, C.: Supply Chain Management erfolgreich umsetzen: Grundlagen, Realisierung und Fallstudien, Berlin [u. a.] 2002.
- Cox et al. 1998: Cox, J. F./Blackstone, J. H./Spencer, M. S.: APICS Dictionary, The APICS Educational and Research Foundation, 9, Falls Church, VA 1998.
- Curtin et al. 2007: Curtin, J./Kauffman, R. J./Riggins, F. J.: Making the 'MOST' out of RFID technology: a research agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID. In: Information technology management 8 (2007) 2, S. 87-110.
- CW 2006: O. V.: Data Warehouse analysiert RFID-Daten in Echtzeit, Computerwoche, http://www.computerwoche.de/knowledge_center/scm_rfid/573303/ (Letzter Abruf am 24.05.2009).

D

- Dada/Thiesse 2008: Dada, A./Thiesse, F.: Sensor applications in the supply chain: The example of quality-based issuing of perishables. In: Lecture Notes in Computer Science 4952 (2008), S. 140-154.
- Damgard/Pedersen 2008: Damgard, I./Pedersen, M. O.: RFID Security: Tradeoffs between Security and Efficiency. In: Lecture Notes in Computer Science 4964 (2008), S. 318-332.
- Darcy et al. 2009: Darcy, P./Stantic, B./Sattar, A.: Improving the Quality of RFID Data by Utilising a Bayesian Network Cleaning Method. In: Online Proceedings of the Artificial Intelligence and Applications Conference (AIA 2009), Innsbruck, Österreich 2009.
- De Kok et al. 2007: De Kok, A. G./Van Donselaar, K. H./Van Woensel, T.: A break-even analysis of RFID technology for inventory sensitive to shrinkage. In: International Journal of Production Economics 112 (2007) 2, S. 521-531.
- De Man 2006: De Man, A.: The Network Economy, Cheltenham, UK [u. a.] 2006.

- De Treville et al. 2004: De Treville, S./Shapiro, R. D./Hameri, A.: From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance. In: *Journal of Operations Management* 21 (2004), S. 613-627.
- Decker et al. 2003: Decker, C./Kubach, U./Beigl, M.: Revealing the Retail Black Box by Interaction Sensing. In: *23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW 2003)*, S. 328-333.
- Decker et al. 2008: Decker, C./Berchtold, M./Chaves, L. W. F./Beigl, M./Roehr, D./Riedel, T./Beuster, M./Herzog, T./Herzig, D.: Cost-Benefit Model for Smart Items in the Supply Chain. In: *Lecture Notes in Computer Science 4952* (2008), S. 155-172.
- Deloitte 2005: Deloitte: Chips with everything. Deloitte Consulting Consumer Business, <http://www.ebusinessassociation.org/ssi/events/presentations/Chips%20with%20everything.pdf> (Letzter Abruf am 18.06.2006).
- Deolalikar et al. 2005: Deolalikar, V./Recker, J./Mesarina, M./Pradhan, S.: Optimal Scheduling for Networks of RFID Readers. In: *Lecture Notes in Computer Science 3823* (2005), S. 1025-1035.
- Derakhshan et al. 2007: Derakhshan, R./Orlowska, M. E./Li, X.: RFID Data Management: Challenges and Opportunities. In: *IEEE 1st International Conference on RFID*, Grapevine, Texas, USA 2007, S. 175-182.
- Diekmann 2006: Diekmann, A.: *Empirische Sozialforschung – Grundlagen, Methoden, Anwendungen*, 16, Reinbek 2006.
- Diekmann 2007: Diekmann, T.: *Ubiquitous Computing-Technologien im betrieblichen Umfeld – Technische Überlegungen, Einsatzmöglichkeiten und Bewertungsansätze*, Göttingen 2007.
- Diekmann et al. 2007: Diekmann, T./Melski, A./Schumann, M.: Data-on-Network vs. Data-on-Tag: Managing Data in Complex RFID Environments. In: *40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07)*, Big Island, Hawaii, USA 2007.
- Dimitriou 2008: Dimitriou, T.: RFID Security and Privacy. In: Kitsos, P./Zhang, Y. (Hrsg.): *RFID Security: Techniques, Protocols and System-on-Chip Design*, Berlin [u. a.] 2008, S. 57-79.
- Distel 2005: Distel, R.: *Graphentheorie*, 3, Heidelberg 2005.
- Dittmann 2006: Dittmann, L.: *Der angemessene Grad an Visibilität in Logistik-Netzwerken – Die Auswirkungen von RFID*, Wiesbaden 2006.
- Dittrich et al. 1995: Dittrich, K. R./Gatziu, S./Geppert, A.: The active database management system manifesto: A rulebase of ADBMS features. In: *Lecture Notes in Computer Science 985* (1995), S. 1-17.
- Djassemi/Sena 2006: Djassemi, M./Sena, J. A.: The Paperless Factory: A Review of Issues and Technologies. In: *International Journal of Computer Science and Network Security* 6 (2006) 12, S. 185-191.
- Dos Santos/Smith 2008: Dos Santos, B. L./Smith, L. S.: RFID in the Supply Chain: Panacea or Pandora's Box? In: *Communications of the ACM* 51 (2008) 10, S. 127-131.

- Dubé/Paré 2001: Dubé, L./Paré, G.: Case Research in Information Systems: Current Practices, Trends, and Recommendations. In: Cahier du GReSI Nr. 1-12, HEC Montréal, Juli 2001.
- Duc et al. 2007: Duc, D. N./Lee, H./Kim, K.: Enhancing Security of Class I Generation 2 RFID against Traceability and Cloning. In: Cole, P. H./Ranasinghe, D. C. (Hrsg.): Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography, Berlin [u. a.] 2007, S. 269-277.
- Dutta et al. 2007a: Dutta, K./Ramamritham, K./Karthik, B./Laddhad, K.: Real-Time Event Handling in an RFID Middleware System. In: Proceedings of the 5th International Workshop on Databases in Networked Information Systems (DNIS 2007), Aizu-Wakamatsu, Japan 2007, S. 232-251.
- Dutta et al. 2007b: Dutta, A./Lee, H. L./Whang, S.: RFID and Operations Management: Technology, Value, and Incentives. In: Production and Operations Management 16 (2007) 5, S. 646-655.

E

- Ebbinghaus 2003: Ebbinghaus, H., Einführung in die Mengenlehre, 4, Heidelberg [u. a.] 2003.
- Eilon 1964: Eilon, S.: Tafeln und Tabellen für Wirtschaft und Industrie, München 1964.
- Eisenhardt 1989: Eisenhardt, K. M.: Building Theories from Case Study Research. In: The Academy of Management Review 14 (1989) 4, S. 532-550.
- Ellerbrock 2007: Ellerbrock, K.: Papierlose Fertigung und visualisierte Montageführung und Qualitätssicherung. In: Dickmann, P. (Hrsg.): Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen, Berlin [u. a.] 2007, S. 375-381.
- Engel et al. 2003: Engel, A./Schmidt, K. A./Geraedts, S.: Fourth Party Logistics Provider (4PL): Ein neues Logistikkonzept (2003), http://www.ec-net.de/EC-Net/Redaktion/Pdf/Logistik/fourth-party-logistics-provider,property=pdf,bereich=ec__net,sprache=de,rwb=true.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Engels et al. 2004: Engels, D. W./Koh, R./Lai, E./Schuster, E. W.: An introductory Analysis of Auto-ID Applications in the Department of Defense Supply Chains, Auto-ID Center Report, Cambridge, USA, www.racoindustries.com/downloads/RFID/RFID%20in%20DOD.pdf (Letzter Abruf am 05.09.2008).
- EPCGlobal 2007: EPCglobal: EPC Information Services (EPCIS) Version 1.0.1 Specification, http://www.epcglobalinc.org/standards/epcis/epcis_1_0_1-standard-20070921.pdf (Letzter Abruf am 26.05.2009).
- Escort Memory Systems 1998: Escort Memory Systems: RFID Application Case Study - FORD (1998), <http://www.ems-rfid.com/apps/casestudies/fordcase.html> (Letzter Abruf am 03.11.2008).

F

- Fasolo et al. 2006: Fasolo, E./Prehofer, C./Rossi, M./Wei, Q./Widmer, J./Zanella, A./Zorzi, M.: Challenges and New Approaches for Efficient Data Gathering and Dissemination in Pervasive Wireless Networks. In: Proceedings of the 1st International Conference in Integrated Internet Ad Hoc and Sensor Networks (InterSense 2006), Nice, Frankreich 2006.

- Finkenzeller 2002: Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten, 3, München [u. a.] 2002.
- Fisher 1997: Fisher, M. L.: What is the right supply chain for your product? In: Harvard Business Review 75 (1997) 2, S. 105-116.
- Fishkin et al. 2005: Fishkin, K. P./Roy, S./Jiang, B.: Some Methods for Privacy in RFID Communication. In: Lecture Notes in Computer Science 3313 (2005), S. 42-53.
- Fleisch et al. 2003: Fleisch, E./Mattern, F./Billinger, S.: Betriebswirtschaftliche Applikationen des Ubiquitous Computing. In: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik 229 (2003) 2, S. 5-15.
- Fleisch et al. 2005: Fleisch, E./Christ, O./Dierkes, M.: Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge. In: Fleisch, E./Mattern F. (Hrsg.): Internet der Dinge, Berlin [u. a.] 2005, S. 3-38.
- 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.
- Flörkemeier 2005: Flörkemeier, C.: EPC-Technologie - vom Auto-ID Center zu EPCglobal. In: Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u. a.] 2005, S. 87-100.
- Flörkemeier 2008: Flörkemeier, C.: Integrating RFID Readers in the Enterprise IT – Overview of Intra-organizational RFID System Services and Architectures, Auto-ID Labs White Paper, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/IntegratingReadersV1dot02.pdf> (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Flörkemeier et al. 2005: Flörkemeier, C./Schneider, R./Langheinrich, M.: Sensors and Tags - Scanning with a Purpose - Supporting the Fair Information Principles in RFID Protocols. In: Lecture Notes in Computer Science 3598 (2005), S. 214-231.
- Flörkemeier/Lampe 2005: Flörkemeier, C./Lampe, M.: RFID middleware design - addressing application requirements and RFID constraints. In: Proceedings of the 2005 joint conference on Smart objects and ambient intelligence, Grenoble, Frankreich 2005, S. 219-224.
- Foster 1986: Foster, R. N.: Innovation: die technologische Offensive, Wiesbaden 1986.
- Francis 2008: Francis, V.: Supply Chain Visibility: Lost in Translation? In: Supply Chain Management: An International Journal 13 (2008) 3, S. 180-184.

G

- Gambon 2007: Gambon, J.: Best RFID Implementation: Keeping Tabs on Printers. In: RFID Journal 2007, www.oatsystems.com/media/Best_RFID_Implem_article2.pdf (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Gampl 2006: Gampl, B.: Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln. Eine empirische Analyse kettenübergreifender Informationssysteme, Göttingen 2006.
- Garber 2005: Garber, T.: RFID-Technologie goldene Zukunft oder nur ein Marketing-Hype? In: Absatzwirtschaft (2005) 2, S. 30-33.

- Garfinkel et al 2005: Garfinkel, S./Juels, A./Pappu, R.: RFID Privacy: An Overview of Problems and Proposed Solutions. In: IEEE Security and Privacy 3 (2005) 3, S. 34-43.
- Garfinkel/Holtzman 2006: Garfinkel, S./Holtzman, H.: Understanding RFID Technology. In: Garfinkel, S./Rosenberg, B. (Hrsg.): RFID: Applications, Security, and Privacy, Upper Saddle River, NJ 2006, S. 15-36.
- Garstka 2006: Garstka, H.: Datenschutz bei RFID und Ubiquitous Computing. In: Klumpp, D./Kubicek, H./Roßnagel, A./Schulz, W.: Medien, Ordnung und Innovation, Berlin [u. a.] 2006, S. 323-329.
- Gaukler et al. 2007: Gaukler, G. M./Seifert, R. W./Hausmann, W. H.: Item-Level RFID in the Retail Supply Chain. In: Production and Operations Management 16 (2007) 1, S. 65-76.
- Gaukler/Seifert 2007: Gaukler, G. M./Seifert, R. W.: Applications of RFID in Supply Chains. In: Jung, H./Chen, F. F./Jeong, B. (Hrsg.): Trends in Supply Chain Design and Management: technologies and methodologies, London 2007, S. 29-48.
- Gehrke et al. 2006: Gehrke, J. D./Behrens, C./Jedermann, R.: The Intelligent Container - Toward Autonomous Logistic Processes. In: 29th annual German Conference on Artificial Intelligence, Bremen 2006, Demo Presentations, S. 15-18.
- Gerhäuser/Pflaum 2004: Gerhäuser, H./Pflaum, A.: RFID verändert die Architektur logistischer Informationssysteme: vom Identifikationsmedium zu selbststeuernden Transportobjekten. In: Prockl, G./Bauer, A./Pflaum, A./Müller-Steinfahrt, U. (Hrsg.): Entwicklungspfade und Meilensteine moderner Logistik: Skizzen einer Roadmap, Wiesbaden 2004, S. 267-294.
- Gillert/Hansen 2007: Gillert, F./Hansen, W.: RFID für die Optimierung von Geschäftsprozessen, München 2007.
- Gomez/Probst 1997: Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens - Vernetzt denken, unternehmerisch handeln, persönlich überzeugen, 2, Bern 1997.
- Gonzales et al. 2006a: Gonzales, H./Han, J./Li, X./Klabjan, D.: Warehousing and Analyzing Massive RFID Data Sets. In: Proceedings of the International Conference on Data Engineering (ICDE 2006), Atlanta, Georgia, USA 2006.
- Gonzales et al. 2006b: Gonzales, H./Han, J./Li, X.: Mining Compressed Commodity Workflows From Massive RFID Data Sets. In: Proceedings of the 15th ACM international conference on Information and knowledge management (CIKM 2006), Arlington, Virginia, USA 2006, S. 162-171.
- Göpfert 2002: Göpfert, I.: Einführung, Abgrenzung und Weiterentwicklung des Supply Chain Managements, In: Busch, A./Dangelmaier, W. (Hrsg.): Integriertes Supply Chain Management, Wiesbaden 2002, S. 25-44.
- Graf/Janssens 2008: Graf, J./Janssens, U.: Historie des Qualitätsmanagements. In: Intensivmedizin und Notfallmedizin 45 (2008) 4, S. 171-181.
- Gronau 2004: Gronau, N.: Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management: Architektur und Funktionen, München [u. a.] 2004.

- Gross 2005: Gross, S.: Implementierung und Betrieb von integrierten RFID-Systemen. M-Lab Arbeitsbericht 28/2005, St. Gallen, http://www.m-lab.ch/docs/WP28_Implementierung_und_Betrieb_von_integrierten_RFID-Systemen.pdf (Letzter Abruf am 27.05.2009).
- Gruen et al. 2002: Gruen, T. W./Corsten, D. S./Bharadwaj, S.: Retail out of stocks: A worldwide examination of extent, causes, and consumer responses, Grocery Manufacturer's of America, <http://www.gmabrands.com/publications/docs/retOOS.pdf> (Letzter Abruf am 19.06.2006).
- Grummt/Müller 2008: Grummt, E./Müller, M.: Fine-Grained Access Control for EPC Information Services. In: Lecture Notes in Computer Science 4952 (2008), S. 35-49.
- Gudehus 2006: Gudehus, T.: Dynamische Disposition: Strategien und Algorithmen zur optimalen Auftrags- und Bestandsdisposition, 2, Berlin [u. a.] 2006.
- Guillemette et al. 2008: Guillemette, M. G./Fontaine, I./Caron, C.: Hybrid RFID-GPS Real-Time Location System for Human Resources: Development, Impacts and Perspectives. In: Online Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'08), Big Island, Hawaii, USA, 2008.
- Guizzardi/Montanari 2007: Guizzardi, M./Montanari, R.: RFID's Benefits in the Cold Chain. In: RFID Vortrag auf der Tagung Journal LIVE Europe 2007, Amsterdam, Niederlande, 6-8 November 2007.
- ## H
- Hackathorn 2002: Hackathorn, R.: Current Practices in Active Data Warehousing, <http://www.bolder.com/pubs/NCR200211-ADW.pdf> (Letzter Zugriff am 11.10.2007).
- Hagiwara et al. 2003: Hagiwara, D./Inoue, S./Yasuura, H.: Error Detection for the Reliable Digitally Named World with RFID Tags. In: The 6th Joint Workshop on System Development 2006, https://qir.kyushu-u.ac.jp/dspace/bitstream/2324/6041/1/hagiwara03_1.pdf (Letzter Abruf am 04.06.2009).
- Hanebeck 2004: Hanebeck, C.: Managing Data from RFID and Sensor-based Networks, <http://www.globeranger.com/pdfs/futureoftheedge/GlobeRangerRFIDData.pdf> (Letzter Abruf am 27.05.2009).
- Hansmann 2001: Hansmann, U.: Pervasive Computing Handbook, Berlin [u.a.] 2001.
- Hardgrave et al. 2007: Hardgrave, B. C./Armstrong, D. J./Riemenschneider C. K.: RFID Assimilation Hierarchy. In: Proceedings of the 40th Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, Hawaii, USA 2007.
- Hardgrave et al. 2009: Hardgrave, B. C./Aloysius, J./Goyal, S.: Does RFID improve inventory accuracy? A preliminary analysis. In: International Journal of RF Technologies: Research and Applications 1 (2009) 1, S. 44-56.
- Harmon 2006: Harmon, C. K.: The necessity for a uniform organisation of user memory in RFID. In: International Journal of RFID Technology and Applications 1 (2006) 1, S. 41-51.

- Harrison 2003: Harrison, M.: EPC Information Service - Data Model and Queries, White Paper Auto-ID Center, Cambridge 2003, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/CAM-AUTOID-WH025.pdf> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Harrison/Parlikad 2006: Harrison, M./Parlikad, A. K.: Lifecycle ID and Lifecycle Data Management, White Paper Auto-ID Labs, Cambridge 2006, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/AUTOIDLABS-WP-BIZAPP-032.pdf> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Hars 1994: Hars, A.: Referenzdatenmodelle – Grundlagen effizienter Datenmodellierung, Wiesbaden 1994.
- 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 2005c: Heinrich, L. J.: Forschungsmethodik einer Integrationsdisziplin: Ein Beitrag zur Geschichte der Wirtschaftsinformatik. In: International Journal of History & Ethics of Natural Sciences, Technology and Medicine 13 (2005), S. 104-117.
- 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.
- Heinrich/Lehner 2005: Heinrich, L. J./Lehner, F.: Informationsmanagement: Planung, Überwachung und Steuerung der Informationsinfrastruktur, 8, München [u. a.] 2005.
- Held 2007: Held, P.: Im Wald zieht RFID ein. In: Blickpunkt: KMU (2007) 2, S. 66-67.
- Henning et al. 2004: Henning, J./Ladkin, P./Sieker, B.: Privacy enhancing technology concepts for RFID technology scrutinised, Bielefeld 2004.
- Henrici et al. 2004: Henrici, D./Müller, J./Müller, P.: Sicherheit und Privatsphäre in RFID-Systemen. In: 18. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze, Düsseldorf 2004, S. 45-60.
- Hewlett-Packard 2007: Hewlett-Packard: HP tunes in with Supply Chain Radio Frequency Identification, White Paper (2007), h71028.www7.hp.com/ERC/downloads/4AA1-7308ENW.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Heydari et al. 2009: Heydari, J./Kazemzadeh, R. B./Chaharsooghi, S. K.: A study of lead time variation impact on supply chain performance. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 40 (2009) 11-12, S. 1206-1215.
- Hiemsch 2005: Hiemsch, C.: Radio Frequency Identification - Wo sich RFID heute schon lohnen kann. In: It-Fokus (2005) 3-4, S. 14-17.
- Higuera/Montalvo 2007: Higuera, A. G./Montalvo, A. C.: RFID-enhanced multi-agent based control for a machining system. In: International Journal of Flexible Manufacturing Systems 19 (2007) 1, S. 41-61.
- Hildebrandt 2006: Hildebrandt, M.: Profiling: From data to knowledge. In: Datenschutz und Datensicherheit 30 (2006) 9, S. 548-552.

- Hingley et al. 2007: Hingley, M./Taylor, S./Ellis, C.: Radio frequency identification tagging: supplier attitudes to implementation in the grocery retail sector. In: *International Journal of Retail & Distribution Management* 35 (2007) 10, S. 803-820.
- Hollmann-Hespos 2008: Hollmann-Hespos, T.: Rückverfolgbarkeitssysteme in der Ernährungswirtschaft: eine empirische Untersuchung des Investitionsverhaltens deutscher Unternehmen, Hamburg 2008.
- Homburg/Fürst 2005: Homburg, C./Fürst, A.: Überblick über die Messung von Kundenzufriedenheit und Kundenbindung. In: Bruhn, M./Homburg, C. (Hrsg.): *Handbuch Kundenbindungsmanagement – Strategien und Instrumente für ein erfolgreiches CRM*, 5, Wiesbaden 2005, S. 555-588.
- Hosoda/Disney 2006: Hosoda, T./Disney, S. M.: On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting. In: *Omega* 34 (2006), S. 344-358.
- Hover 2006: Hover, R.: Air Worthy - RFID Tags help Boeing track parts, reduce inventory. In: *realtime* (2006), S. 36-40.
- Hsu et al. 2009: Hsu, C.-H./Chen, S.-C./Yu, C.-H./Park, J.-H.: Alleviating reader collision problem in mobile RFID networks. In: *Personal and Ubiquitous Computing* (online), <http://www.springerlink.de/content/k82293r604022312/fulltext.pdf> (Letzter Abruf am 27.05.2009).
- Hu et al. 2005: Hu, Y./Sundara, S./Chorma, T./Srinivasan, J.: Supporting RFID-based Item Tracking Applications in Oracle DBMS Using a Bitmap Datatype. In: *Proceedings of the 31st VLDB Conference*, Trondheim, Norwegen 2005, S. 1140-1151.
- Huang et al. 2008: Huang, G. Q./Zhang, Y. F./Chen, X./Newman, S. T.: RFID-enabled real-time wireless manufacturing for adaptive assembly planning and control. In: *Journal of Intelligent Manufacturing* 19 (2008) 6, S. 701-713.
- Hübner 2008: Hübner, A.: Gedruckte Elektronik – Ende des Siliziums? In: *Information Technology* 50 (2008) 3, S. 147-148.
- Hunt et al. 2007: Hunt, V. D./Puglia, A./Puglia, M.: *RFID - a guide to radio frequency identification*, Hoboken, NJ 2007.
- I**
- IDTechEx 2005: O. V.: RFID progress at Wal-Mart, IDTechEx.com, http://www.idtechex.com/research/articles/rfid_progress_at_wal_mart_00000161.asp (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Ilic et al. 2009: Ilic, A./Andersen, T./Michahelles, F.: *EPCIS-based Supply Chain Visualization Tool*, White Paper Auto-ID Labs, 2009.
- Intel 2004: Intel: EPC-RFID solutions that power the high-resolution supply chain, White Paper (2004), <http://www.intel.com/business/bss/solutions/blueprints/pdf/oatsystems.pdf> (Letzter Abruf am 29.04.2007).
- Ivantysynova/Ziekow 2008: Ivantysynova, L./Ziekow, H.: RFID in Manufacturing: From Shop Floor to Top Floor. In: Günther, O./Kletti, W./Kubach, U. (Hrsg.): *RFID in Manufacturing*, Berlin [u. a.] 2008, S. 1-24.

J

- Jain/Das 2006: Jain, S./Das, S. R.: Collision Avoidance in a Dense RFID Network. In: Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networking 2006, Los Angeles, CA 2006, S. 49-56.
- Jamali et al. 2008: Jamali, B./Cole, P. H./Engels, D.: RFID Tag Vulnerabilities in RFID Systems. In: Cole, P. H./Ranasinghe, D. C. (Hrsg.): Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography, Berlin [u. a.] 2008, S. 147-155.
- Jansen/Mannel 2005: Jansen, R./Mannel, A.: Wirtschaftlichkeit von RFID-Anwendungen. In: Seifert, W./Decker, J. (Hrsg.): RFID in der Logistik – Erfolgsfaktoren für die Praxis, Hamburg 2005, S. 86-97.
- Janz et al. 2005: Janz, B. D./Pitz, M. G./Otondo, R. F.: Information Systems and Health Care II: Back to the Future with RFID: Lessons Learned - Some Old, Some New. In: Communications of the Association for Information Systems 15 (2005) 7, S. 1-32.
- Jarvenpaa/Makinen 2008: Jarvenpaa, H./Makinen, S. J.: Empirically detecting the Hype Cycle with the life cycle indicators: An exploratory analysis of three technologies. In: IEEE Proceedings of the Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2008), Singapur 2008, S. 12-16.
- Jedermann/Lang 2008: Jedermann, R./Lang, W.: The Benefits of Embedded Intelligence – Tasks and Applications for Ubiquitous Computing in Logistics. In: Lecture Notes in Computer Science 4952 (2008), S. 105-122.
- Jeffery et al. 2005: Jeffery, S. R./Alonso, G./Franklin, M. J./Hong, W./Widom, J.: A Pipelined Framework for Online Cleaning of Sensor Data Streams, Report No. UCB/CSD-5-1413, University of Berkeley, California 2005.
- Jeffery et al. 2006a: Jeffery, S. R./Alonso, G./Franklin, M. J./Hong, W./Widom, J.: Declarative Support for Sensor Data Cleaning. In: Lecture Notes in Computer Science 3698 (2006), S. 83-100.
- Jeffery et al. 2006b: Jeffery, S. R./Garofalakis, M./Franklin, M. J.: Adaptive Cleaning for RFID Data Streams. In: Proceedings of the 32nd VLDB Conference, Seoul, Korea 2006, S. 163-174.
- Jharkharia/Shankar 2005: Jharkharia, S./Shankar, R.: IT-enablement of supply chains: understanding the barriers. In: The Journal of Enterprise Information Management 18 (2005) 1, S. 11-27.
- Jilovec 2004: EDI, UCCnet and RFID: Synchronizing the Supply Chain, Loveland, Colorado 2004.
- Jones et al. 2006: Jones, A. K./Dontharaju, S./Tung, S./Hawrylak, P. J./Mats, L./Hoare, R./Cain, J. T./Mickle, M. H.: Passive active radio frequency identification tags. In: International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications 1 (2006) 1, S. 52-73.
- Juels 2005: Juels, A.: RFID Security and Privacy: A research Survey, RSA Laboratories 2005.
- Juels 2005a: Juels, A.: RFID Security and Privacy: A research Survey, www.rsa.com/rsalabs/staff/bios/ajuels/publications/pdfs/rfid_survey_28_09_05.pdf (Letzter Abruf 27.05.2009).
- Juels 2005b: Juels, A.: Authentication and Identification - Minimalist Cryptography for Low-Cost RFID Tags. In: Lecture Notes in Computer Science 3352 (2005), S. 149-164.

K

- Kang/Gershwin 2005: Kang, Y./Gershwin, S.: Information Inaccuracy in Inventory Systems: Stock Loss and Stockout. In: IIE Transactions 9/2005, S. 843-859.
- Kärkkäinen et al. 2007: Kärkkäinen, M./Laukkanen, S./Sarpola, S./Kemppainen, K.: Roles of interfirm information systems in supply chain management. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 37 (2004) 4, S. 264-286.
- Kehrwald 2004: Kehrwald, M.: RFID - Intelligenzzuwachs für die Supply Chain? In: IM 19 (2004) 4, S. 16-19.
- Keith et al. 2002: Keith, A./Gilliam, T./Gramling, K./Grubelic, C./Kleinberger, H./Leng, S./Moogimane, D./Sheedy, C.: Applying Auto-ID to Reduce Losses Associated with Product Obsolescence, Auto-ID Center White Paper, Cambridge 2002, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/IBM-AUTOID-BC-004.pdf> (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Kelepouris et al. 2006: Kelepouris, T./Baynham, T./McFarlane, D.: Track and Trace Case Studies Report, Auto-ID Labs White Paper 2006, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/AUTOIDLABS-WP-BIZAPP-035.pdf> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Keller 2004: Keller, S.: Die Reduzierung des Bullwhip-Effektes : eine quantitative Analyse aus betriebswirtschaftlicher Perspektive, Wiesbaden 2004.
- Kemper et al. 2006: Kemper, H.-G./Mehanna, W./Unger, C.: Business Intelligence – Grundlagen und praktische Anwendungen: Eine Einführung in die IT-basierte Managementunterstützung, 2, Wiesbaden 2006.
- Kern 2006: Kern, C.: Anwendung von RFID-Systemen, Berlin [u. a.] 2006.
- Kim et al. 2008a: Kim, C. Y./Melski, A./Caus, T./Christmann, S./Thoroë, L./Schumann, M.: Personalize the Brick 'n Mortar. In: Proceedings of the Korea Management Information Systems (KMIS) Fall Conference 2008, Seoul, Korea, S. 1088-1095.
- Kim et al. 2008b: Kim, D.-S./Kashif, A./Ming, X./Kim, J.-H./Park, M.-S.: Energy Efficient In-Network Phase RFID Data Filtering Scheme. In: Lecture Notes in Computer Science 5061 (2008), S. 311-322.
- King/Zhang 2008: King, B./Zhang, X.: RFID: An Anticounterfeiting Tool. In: Kitsos, P./Zhang, Y. (Hrsg.): RFID Security, New York 2008, S. 27-55.
- Knott 2004: Knott, T.: Smart surrogates. In: Frontiers 4/2004, S. 6-10.
- Koch/Deiters 2007: Koch, O./Deiters, W.: RFID im Gesundheitswesen – Nutzenpotenziale und Stolpersteine auf dem Weg zu einer erfolgreichen Anwendung. In: Bullinger, H./ten Hompel, M. (Hrsg.): Internet der Dinge, Berlin [u. a.] 2007, S. 191-201.
- Kodialam/Nandagopal 2006: Kodialam, M./Nandagopal, T.: Fast and Reliable Estimation Schemes in RFID Systems. In: Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking, ACM Press, New York, USA 2006, S. 322-333.

- Koh/Staake 2005: Koh, R./Staake, T.: Nutzen von RFID zur Sicherung der Supply Chain der Pharmaindustrie. In: Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u. a.] 2005, S. 161-175.
- Konrad 2006: Konrad, I.: Mode in Bestform. In: IT-Mittelstand 12 (2006) 12, S. 36-37.
- Kotler/Bliemel 2001: Kotler, P./Bliemel, F.: Marketing-Management – Analyse, Planung und Verwirklichung, 10, Stuttgart 2001.
- Krämer/Seeger 2004: Krämer, J./Seeger, B.: PIPES – A Public Infrastructure for Processing and Exploring Data Streams. Proceedings of the 2004 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Paris, Frankreich 2004, S. 925-926.
- Krcmar 2005: Krcmar, H.: Informationsmanagement, 4, Berlin [u. a.] 2005.
- Krotov/Junglas 2008: Krotov, V./Junglas, I.: RFID as a Disruptive Innovation. In: Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research 3 (2008) 2, S. 44-59.
- Ku et al. 2008: Ku, T./Zhu, Y. L./Hu, K. Y./Lv, C. X.: A Novel Pattern for Complex Event Processing in RFID Applications. In: Mertins K./Ruggaber, R./Poppewell, K./Xu, X. (Hrsg.): Enterprise Interoperability III – New Challenges and Industrial Approaches, London 2008, S. 595-607.
- Kubach 2003: Kubach, U.: Integration von Smart Items in Enterprise-Software-Systeme. In: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik 229 (2003) 2, S. 56-67.
- Kuhlen 2004: Kuhlen, R.: Information. In: Kuhlen, R./Laisiepen, K. (Hrsg.): Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation, München 2004, S. 3-20.
- 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? Arbeitsbericht Nr. 2, Wilhelmshaven 2004.
- Kürschner et al. 2008a: Kürschner, C./Condea, C./Kasten, O./Thiesse, F.: Discovery Service Design in the EPCglobal Network – Towards Full Supply Chain Visibility. In: Lecture Notes in Computer Science 4952 (2008), S. 19-34.
- Kürschner et al. 2008b: Kürschner, C./Thiesse, F./Fleisch, E.: An Analysis of Data-on-Tag Concepts in Manufacturing, In: Breitner, M. H./Breunig, M./Fleisch, E./Pousttchi, K./Turowski, K. (Hrsg.): Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme - Technologien, Prozesse, Marktfähigkeit, Bonn 2008, S. 122-135.

L

- Lambert et al. 1998: Lambert, D. M./Cooper, M. C./Pagh, J. D.: Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. In: International Journal of Logistics 9 (1998) 2, S. 1-19.
- Lammert/Grauer 2006: Lammert, U./Grauer, M.: RFID im Blickpunkt wirtschaftlicher Überlegungen. In: Wirtschaftsinformatik 48 (2006) 3, S. 198-205.

- Lampe et al. 2005: Lampe, M./Flörkemeier, C./Haller, S.: Einführung in die RFID-Technologie. In: Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.): 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, S. 64-67.
- Lange 2006: Lange, B.: Aufbruchstimmung: RFID-Systeme in Handel und Logistik. In: ix - Magazin für professionelle Informationstechnik 3/2006, S. 88-92.
- Laniel et al. 2009: Laniel, M./Edmond, J./Altunbas, A. E.: RFID behavior study in enclosed marine container for real time temperature tracking. In: Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety 3 (2009) 1, S. 34-40.
- Lee 2004: Lee, H.: Supply Chain Security – Are You Ready? Research Report SGSCMF-W1-2004, Stanford University, Stanford, CA 2004.
- Lee et al. 1997: Lee, H. L./Padmanabhan, V./Whang, S.: Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. In: Management Science 43 (1997) 3, S. 546-558.
- Lee et al. 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.
- Lee/Özer 2007: Lee, H./Özer, Ö.: Unlocking the value of RFID. In: Production and Operations Management 16 (2007) 1, S. 40-64.
- Lee/Wolfe 2003: Lee, H. L./Wolfe, M.: Supply Chain Security Without Tears. In: Supply Chain Management Review 7 (2003) 1, S. 12-20.
- Lehtonen et al. 2007: Lehtonen, M./Staae, T./Michahelles, F./Fleisch, E.: The Potential of RFID and NFC in Anti-Counterfeiting. In: Cole, P. H./Ranasinghe, D. C. (Hrsg.): Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography, Berlin [u. a.] 2007, S. 211-222.
- Leong et al. 2006: Leong, K. S./Ng, M. L./Grasso, A. R./Cole, P. H.: Synchronization of RFID Readers for Dense RFID Reader Environments. In: IEEE Proceedings of 2006 Symposium on Applications and the Internet (SAINT Workshop), Phoenix, USA 2006, S. 48-51.
- Leung/Lam 2007: Leung, S. Y. Y./Lam, D. C. C.: Performance of Printed Polymer-Based RFID Antenna on Curvilinear Surface. In: IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing 30 (2007) 3, S. 200-205.
- Liu 2007: Liu, S.: Extended memory RFID tags provide immediate access to data anywhere, anytime (2007), www.industrial-embedded.com/pdfs/Intelleflex.Win07.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Liu/Chi 2002: Liu, L./Chi, L. N.: Evolutional Data Quality: A Theory-Specific View, Cambridge, MA 2002.
- Loebbecke 2005: Loebbecke, C.: RFID Technology and Applications in the Retail Supply Chain: The Early Metro Group Pilot. In: Online Proceedings 18th Bled eConference, Bled, Slovenien 2005.

- Lohringer 2008: Lohringer, C.: Integrate RFID To Sharpen Supply Chain Visibility. In: *IntegratedSolutionsMag.com* 3/2008, <http://www.rfidsolutionsonline.com/download.mvc/Integrate-RFID-To-Sharpen-Supply-Chain-Visibi-0003> (Letzter Abruf am 06.10.2008).
- Lu et al. 2006: Lu, B. H./Bateman, R. J./Cheng, K.: RFID enabled manufacturing: fundamentals, methodology and applications. In: *International Journal of Agile Systems and Management* 1 (2006) 1, S. 73-92.
- Luckham 2002: Luckham, D.: *The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems*, Amsterdam 2002.
- Luckham/Palmer 2004: Luckham, D./Palmer, M.: Separating Wheat from Chaff. In: *RFID Journal* 2004, <http://www.rfidjournal.com/article/view/1196> (Letzter Abruf am 27.05.2009).
- Lummus/Alber 1997: Lummus, R. R./Alber, K. L.: *Supply Chain Management: Balancing the Supply Chain with Customer Demand*, The Educational and Resource Foundation of APICS, Falls Church, VA 1997.

M

- Maass/Varshney 2008: Maass, W./Varshney, U.: Preface to the Focus Theme Sections: 'Smart Products'. In: *Electronic Markets* 18 (2008) 3, S. 211-215
- Machemer 2004: Machemer, I.: RFID - Die Vernetzung des Alltags. In: *IM* 19 (2004) 4, S. 27-30.
- Mandal/Deshmukh 1993: Mandal, A./Deshmukh, S. G.: Vendor Selection Using Interpretative Structural Modelling (ISM). In: *International Journal of Operations & Production Management* 14 (1993) 6, S. 52-59.
- Matta/Moberg 2006: Matta, V./Moberg, C.: The Development of a Research Agenda for RFID Adoption and Effectiveness in Supply Chains. In: *Issues in Information Systems* 7 (2006) 2, S. 246-251.
- 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.
- McCrea 2005: McCrea, B.: EMS completes the visibility picture. In: *Logistics Management* 44 (2005) 6, S. 57-61.
- 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.
- McKinsey 2003: O. V.: Why retail wants radio tags. In: *McKinsey Quarterly*, September 2003, http://www.mckinseyquarterly.com/newsletters/chartfocus/2003_09.htm (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Melville et al. 2004: Melville, N./Kraemer, K./Gurbaxani, V.: Information Technology and Organizational Performance: An Integrative Model of IT Business Value. In: *MIS Quarterly* 28 (2004) 2, S. 283-322.
- Mentzer et al. 2001: Mentzer, J. T./DeWitt, W. J./Keebler, J. S./Min, S./Nix, N. W./Smith, C. D./Zacharia, Z. G.: Defining Supply Chain Management. In: *Journal of Business Logistics* 22 (2001) 2, S. 1-26.

- Mertens et al. 2005: Mertens, P./Bodendorf, M./König, W./Picot, A./Schumann, M./ Hess, T.: Grundzüge der Wirtschaftsinformatik, 9, Berlin [u. a.] 2005.
- Metro Group 2004: Metro Group: RFID: Uncovering the Value, Düsseldorf 2004.
- Metro Group 2008: Metro Group: Vorreiter im Handel (2008), <http://www.future-store.org/fsi-internet/html/de/1477/index.html> (Letzter Abruf am 28.05.2009).
- Meyer 2005: Meyer, J.: Wie RFID funktioniert - und wie nicht. In: Computerwoche 25 (2005) 25, S. 22-23.
- Miano 2000: Miano, J.: Compressed Image File Formats, Reading 2000.
- Michael/McCathie 2005: Michael, K./McCathie, L.: The pros and cons of RFID in supply chain management. In: Proceedings of the International Conference on Mobile Business (ICMB 2005), Sydney, Australien 2005, S. 623-629.
- Mills-Harris et al. 2006: Mills-Harris, M. D./Soylemezoglu, A./Saygin, C.: Adaptive inventory management using RFID data. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 32 (2006) 9-10, S. 1045-1051.
- Moon et al. 2007: Moon, Y./Bae, J. H./Jeon, B./Yeo, S. M./Cho, H./Oh, H./Seong, Y. R./Park, J. S./Joung, M./Lee, Y.: Analysis of Interference Effects on UHF RFID Dense-Reader Environment, www.erasip.org/Proceedings/Ext/RFID2007/pdf/poster4.pdf (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Moore 1965: Moore, G.: Cramming more components onto integrated circuits. In: Electronics (1965) 38, S. 114-117.
- Mullen/Moore 2006: Mullen, D./Moore, B.: Automatic Identification and Data Collection: What the Future Holds. In: Garfinkel, S./Rosenberg, B. (Hrsg.): RFID: Applications, Security, and Privacy, Upper Saddle River, NJ 2006, S. 3-14.
- Müller/Handy 2005: Müller, J./Handy, M.: RFID als Technik des Ubiquitous Computing – Eine Gefahr für die Privatsphäre? In: Ferstl, O. K./Sinz, E. J./Eckert, S./Isselhorst, T. (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik 2005: eEconomy, eGovernment, eSociety, Heidelberg 2005, S. 1145-1164.
- Myung/Lee 2006: Myung, J./Lee, W.: Adaptive splitting protocols for RFID tag collision arbitration. In: Proceedings of the seventh ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, ACM Press, New York, USA 2006, S. 202-213.

N

- Naumann 2007: Naumann, F.: Datenqualität. In: Informatik-Spektrum 30 (2007) 1, S. 27-31.
- Neumann 2006: Neumann, G.: Prozessführung mit intelligenten Logistikobjekten. In: Engelhardt-Nowitzki, C./Lackner, E. (Hrsg.): Chargenverfolgung – Möglichkeiten, Grenzen, Anwendungsgebiete, Wiesbaden 2006, S. 73-92.
- Newland 2004: Newland, G.: The Potential Impact of RFID on Retail Enterprise. In: Proceedings of the Retail Technology Summit 2004.
- Nguyen et al. 2007: Nguyen, T./Lee, Y./Huq, R./Jeong, B./Lee, S.: A Data Model for EPC Information Services. In: Proceedings of the DEWS 2007, Moto-Ushina, Japan 2007.

Niemayer et al. 2003: Niemayer, A./Pak, M. H./Ramaswamy, S. E.: Smart tags for your supply chain. In: The McKinsey Quarterly 4/2003, S. 6-8.

Nissen 2002: Nissen, V.: Supply Chain Event Management. In: Wirtschaftsinformatik 44 (2002) 5, S. 477-480.

Nunnally 1978: Nunnally, J.: Psychometric Theory, New York 1978.

O

O. V. 2006: O. V.: Transporting Pure Sake Using Sensor Tags (2006), <http://ubiks.net/local/blog/jmt/archives3/005123.html> (Letzter Abruf am 03.11.2008).

O'Leary 2008: O'Leary, D. E.: Supporting decisions in real-time enterprises: autonomic supply chain systems. In: Information Systems and E-Business Management 6 (2008) 3, S. 239-255.

O'Connor 2004: O'Connor, M. C.: RFID Users want clean data. In: RFID Journal 2004, <http://www.rfidjournal.com/article/view/1232/1/1> (Letzter Abruf am 05.06.2009).

Osaka et al. 2008: Osaka, K./Mitsugi, J./Nakamura, O./Murai, J.: Generalized Handling of User-Specific Data in Networked RFID. In: Lecture Notes in Computer Science 4952 (2008), S. 173-183.

Österle et al. 1992: Österle, H./Brenner, W./Hilbers, K.: Unternehmensführung und Informationssystem. Der Ansatz des St. Galler Informationssystem-Managements, Wiesbaden 1992.

Overmeyer/Höhn 2004: Overmeyer, L./Höhn, R.: Logistikdatenerfassung und -verarbeitung in der Produktion auf Basis von intelligenten Transpondern, St. Gallen 2004.

Özelkan/Galambosi 2008: Özelkan, E. C./Galambosi, A.: When Does RFID Make Business Sense for Managing Supply Chains? In: International Journal of Information Systems and Supply Chain Management 1 (2008) 1, S. 15-47.

P

Palmer 2004: Palmer, M.: Seven Principles of Effective RFID Data Management, Progress Software, http://www.objectstore.com/docs/articles/7principles_rfid_mgmnt.pdf (Letzter Abruf am 28.05.2009).

Palvia et al. 2003: Palvia, P./Mao, E./Salam, A. F./Solman, K. S.: Management Information System Research: What's There in the Methodology? In: Communications of the Association for Information Systems 11/2003, S. 289-309.

Park/Kim 2006: Park, H./Kim, J.: Design and Implementation of a High-Speed RFID Data Filtering Engine. In: Lecture Notes in Computer Science 4097 (2006), S. 423-434.

Penttilä et al. 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.

Peris-Lopez et al. 2006: Peris-Lopez, P./Hernandez-Castro J. C./Estevez-Tapiador, J. M./Ribagorda, A.: RFID Systems: A Survey on Security Threats and Proposed Solutions. In: Lecture Notes in Computer Science 4217 (2006), S. 159-170.

- Pfaff/Skiera 2002: Pfaff, D./Skiera, B.: Ubiquitous Computing – Abgrenzung, Merkmale und Auswirkungen aus betriebswirtschaftlicher Sicht. In: Britzelmaier, B. (Hrsg.): Der Mensch im Netz - Ubiquitous Computing, Stuttgart [u. a.] 2002, S. 24-37.
- Pflaum 2001: Pflaum, A.: Transpondertechnologie und Supply-Chain-Management: Elektronische Etiketten - bessere Identifikationstechnologie in logistischen Systemen? Hamburg 2001.
- Popovski et al. 2007: Popovski, P./Fitzek, F. H. P./Prasad, R.: A Class of Algorithms for Collision Resolution with Multiplicity Estimation. In: *Algorithmica* 49 (2007) 4, S. 286-317.
- Porter 1980: Porter, M. E.: *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, New York 1980.
- Potdar et al. 2005: Potdar, V./Wu, C./Chang, E.: Intrusion Detection - Tamper Detection for Ubiquitous RFID-Enabled Supply Chain. In: *Lecture Notes in Computer Science* 3802 (2005), S. 273-278.
- Progress Software 2005: Progress Software: RFID-Technologie in der Forstwirtschaft, White Paper 2005, www.progress.com/progress_software/worldwide_sites/de/kunden/docs/cambium_d.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Prozeus 2007: Prozeus: EPC/RFID in der Mehrweg-Frischelogistik, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Prozeus - Prozesse und Standards 2007, http://www.prozeus.de/imperia/md/content/prozeus/broschueren/rfid-brosch__re-final.pdf (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Pupuwiat 2007: Pupunwiat, P./Stantic, B.: Location Filtering and Duplication Elimination for RFID Data Streams. In: *International Journal of Principles and Applications of Information Science and Technology* 1 (2007) 1, S. 29-43.

Q

- Quan et al. 2006: Quan, C./Hong, W./Kim, H.: Performance Analysis of Tag Anti-collision Algorithms for RFID Systems. In: *Lecture Notes in Computer Science* 4097 (2006), S. 382-391.

R

- Ramachandra 2005: Ramachandra, G.: RFID Tagging - Is the time ripe for Retail early adopters? http://www.infosys.com/rfid/RFID_Tagging.pdf (Letzter Abruf am 15.02.2006).
- Ranasinghe 2007: Ranasinghe, D. C.: Lightweight Cryptography for Low Cost RFID. In: Cole, P. H./Ranasinghe, D. C. (Hrsg.): *Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography*, Berlin [u. a.] 2007, S. 311-346.
- Ranasinghe et al. 2007: Ranasinghe, D. C./Harrison, M./Cole, P. H.: EPC Network Architecture. In: Cole, P. H./Ranasinghe, D. C. (Hrsg.): *Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography*, Berlin [u. a.] 2007, S. 59-78.
- Rao et al. 2006: Rao, J./Doraiswamy, S./Thakkar, H./Colby, L. S.: A deferred Cleansing Method for RFID Data Analytics. In: *Proceedings of the 32nd VLDB Conference*, Seoul, Korea 2006, S. 175-186.

- Resatsch et al. 2008: Resatsch, F./Sandner, U./Leimeister, J. M./Krcmar, H.: Do Point of Sale RFID-Based Information Services Make a Difference? Analyzing Consumer Perceptions for Designing Smart Product Information Services in Retail Business. In: *Electronic Markets* 18 (2008) 3, S. 216-231.
- REWE Group 2007: REWE Group: Mit RFID zu frischen Prozessen in der Fleischlogistik (2007), [http://logistics.de/logistik/branchen.nsf/E4C005A9571EDD50C12573DF00573BD0/\\$File/rfid-prozess-fleisch-nahrung-logistik-dlk-2007-vogedes-rewe.pdf](http://logistics.de/logistik/branchen.nsf/E4C005A9571EDD50C12573DF00573BD0/$File/rfid-prozess-fleisch-nahrung-logistik-dlk-2007-vogedes-rewe.pdf) (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- RFID Journal 2003: O. V.: Report: RFID benefits not equal, <http://www.rfidjournal.com/article/view/651/1/1> (Letzter Abruf am 03.06.2009).
- RFID-Atlas 2006a: RFID-Atlas: RFID - Anwenderbeispiel AIRBUS Deutschland GmbH (2006), http://www.rfidatlas.de/images/stories/RFID_Fallstudien/airbus_april2006.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008)
- RFID-Atlas 2006b: RFID-Atlas: RFID - Anwenderbeispiel Volkswagen AG (2006), http://www.opal-holding.com/newsletter/newsletter_sap_2_07/pdf/vw_april2006.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008)
- Rieback et al. 2005: Rieback, M. R./Crispo, B./Tanenbaum, A. S.: Mobile Security - RFID Guardian: A Battery-Powered Mobile Device for RFID Privacy Management. In: *Lecture Notes in Computer Science* 3574 (2005), S. 184-194.
- Rizvi et al. 2005: Rizvi, S./Jeffery, S. R./Krishnamurthy, S./Franklin, M. J./Burkhart, N./Edakkunni, A./Liang, L.: Events on the Edge. In: *Proceedings of SIGMOD 2005*, Baltimore, Maryland, USA 2005, S. 885-887.
- Rizvi et al. 2008: Rizvi, S./Gebriel, E./Riasat, A.: A New Software Based Solution to Avoid Interference. In: Sobh, T. (Hrsg.): *Advances in Computer and Information Sciences and Engineering*, Berlin [u. a.] 2008, S. 521-525.
- Romero/Rodriguez 2007: Romero, M./Rodriguez, M. A.: A Graph-Oriented Model and Query Language for Events. In: *Lecture Notes in Computer Science* 4802 (2007), S. 358-367.
- Rozsnyai et al. 2007: Rozsnyai, S./Schiefer, J./Schatten, A.: Solution architecture for detecting and preventing fraud in real time. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2007)*, Lyon 2007, S. 152-158.
- Rybak 2007: Rybak, C.: Log Agency SCM-Datenprozessplattform – RFID-Anwendungen als SaaS-Lösung. In: Bullinger, H./ten Hompel, M. (Hrsg.): *Internet der Dinge*, Berlin [u. a.] 2007, S. 295-304.
- Ryu/Hong 2009: Ryu, W./Hong, B.: A Reprocessing Model Based on Continuous Queries for Writing Data to RFID Tag Memory. In: *Lecture Notes in Computer Science* 5463 (2009), S. 201-214.

S

- Sabbaghi/Vaidyanathan 2008: Sabbaghi, A./Vaidyanathan, G.: Effectiveness and efficiency of RFID technology in supply chain management: strategic values and challenges. In: Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research 3 (2008) 2, S. 71-81.
- Salminen et al. 2006: Salminen, T./Hosio, S./Riekkki, J.: Enhancing Bluetooth Connectivity with RFID. In: Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Pisa, Italien 2006, S. 36-41.
- Sander et al. 2006: Sander, U./Leimeister, J. M./Krcmar, H.: Business Potentials of Ubiquitous Computing, In: Kern, E.-M./Hegering, H.-G./Brügge, B. (Hrsg.): Managing Development and Application of Digital Technologies (2006), Heidelberg [u. a.], S. 277-291.
- Sander/Stieler 2006: Sander, M./Stieler, K.: RFID – Geschäftsprozesse mit Funktechnologie unterstützen, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden 2006.
- SAP 2003: O. V.: SAP Auto-ID Infrastructure, SAP White Paper 2003.
- Sari 2008: Sari, K.: Inventory inaccuracy and performance of collaborative supply chain practices. In: Industrial Management & Data Systems 108 (2008) 4, S. 495-509.
- Sarma 2001: Sarma, S.: Towards the 5 Cent Tag, White Paper Auto-ID Labs, Cambridge 2001, <http://www.autoidlabs.org/whitepapers/MIT-AUTOID-WH-006.pdf> (Letzter Abruf am 11.12.2005).
- Sarma 2004: Sarma, S.: Integrating RFID. In: QUEUE 10/2004, S. 50-57.
- Sarma 2006: Sarma, S.: A History of the EPC. In: Garfinkel, S./Rosenberg, B. (Hrsg.): RFID: Applications, Security, and Privacy, Upper Saddle River, NJ 2006, S. 37-56.
- Sarma et al. 2007: Sarma, A. D./Jeffery, S. R./Franklin, M. J./Widom, J.: Estimating Data Stream Quality for Object-Detection Applications, Technical Report, Stanford, <http://ilpubs.stanford.edu:8090/701/1/2005-37.pdf> (Letzter Abruf am 08.06.2009).
- Schmidt 2006: Schmidt, D.: RFID im Mobile-Supply-Chain-Event-Management: Anwendungsszenarien, Verbreitung und Wirtschaftlichkeit, Wiesbaden 2006.
- Schoenthaler 2003: Schoenthaler, R.: Creating real-time supply chain visibility. In: Electronic Business 29 (2003) 8, S. 12.
- Schoetzke/Krischel 2005: Schoetzke, F./Krischel, P.: AirCargo mit RFID, time2 Business Consulting White Paper, 2005.
- Schoetzke/Urban 2008: Schoetzke, F./Urban, F. K.: Traceability – Der Handel setzt auf RFID! http://www.rfid-ready.de/files/traceability-rfid-im_handel.pdf (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Scholz-Reiter et al. 2007: Scholz-Reiter, B./Gorltd, C./Hinrichs, U./Tervo, J. T./Lewandowski, M.: RFID – Einsatzmöglichkeiten und Potentiale in logistischen Prozessen. In: Mobile Research Center (Hrsg.): MRC Technologie- und Trendanalysen 1/2007, Bremen 2007.
- Schönsleben 2002: Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement: Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen, 3, Berlin [u. a.] 2002.

- Schönsleben 2007: Schönsleben, P.: *Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken*, Springer, 5., Berlin [u. a.] 2007.
- Schreiber/Krybus 2007: *Interoperabilität im Mobile SCEM mit ontologiebasierten MAS*. In: *Informatik trifft Logistik*, Band 1, Beiträge der 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Bremen 2007, S. 147-152.
- Schumann 1992: Schumann, M.: *Betriebliche Nutzeffekte und Strategiebeiträge der großintegrierten Informationsverarbeitung*, Berlin [u. a.] 1992.
- Schumann/Diekman 2005: Schumann, M./Diekmann, T.: *Objektbegleitender Datentransport entlang der industriellen Wertschöpfungskette - Möglichkeiten und Grenzen*, Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Professur für Anwendungssysteme und E-Business, Universität Göttingen, Nr. 6, Göttingen 2005.
- Schürmann/Wiechert 2007: Schürmann, A./Wiechert, T. J. P.: *Reduktion von Out-of-Stock Situationen im Einzelhandel durch die Neugestaltung der Filialprozesse*, M-Lab Arbeitsbericht Nr. 33, http://www.m-lab.ch/docs/WP33_Reduktion_von_Out-of-Stock_Situationen_im_Einzelhandel_durch_die_Neugestaltung_der_Filialprozesse.pdf (Letzter Abruf am 28.05.2009).
- Schütte 1998: Schütte, R.: *Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung – Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle*, Wiesbaden 1998.
- Schweitzer/Bea 2000: Schweitzer, M./Bea, F. X.: *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, Stuttgart 2000.
- Sellitto et al. 2007: Sellitto, C./Burgess, S./Hawking, P.: *Information quality attributes associated with RFID-derived benefits in the retail supply chain*. In: *International Journal of Retail & Distribution Management* 35 (2007) 1, S. 69-87.
- Seol/Kim 2007: Seol, J./Kim, S.: *Collision-Resilient Multi-state Query Tree Protocol for Fast RFID Tag Identification*. In: *Lecture Notes in Computer Science* 4456 (2007), S. 733-742.
- Shakir 2002: Shakir, M.: *The selection of case studies: Strategies and their applications to IS impementation case studies*. In: *Res. Lett. Inf. Math. Sci.* 3/2002, S. 191-198.
- Shankarapani et al. 2008: Shankarapani, M. K./Sulaiman, A./Mukkamala, S.: *Fragmented malware through RFID and its defenses*. In: *Journal in Computer Virology* (online), <http://www.springerlink.de/content/xp51522234202530/fulltext.pdf> (Letzter Abruf am 29.05.2009).
- Shapiro 2001: Shapiro, J. F.: *Modeling the Supply Chain*, Pacific-Grove, CA, 2001.
- Shepard 2005: Shepard, S.: *Radio frequency identification*, New York [u. a.] 2005.
- Shih et al. 2005a: Shih, D./Sun, P./Lin, B.: *Securing industry-wide EPCglobal Network with WS-Security*. In: *Industrial Management & Data Systems* 105 (2005) 7, S. 972-996.
- Shih et al. 2005b: Shih, D./Lin, C./Lin, B.: *RFID Tags: Privacy and Security Aspects*. In: *International Journal of Mobile Communications* 3 (2005) 3, S. 214-230.
- Shin et al. 2007: Shin, J./Yeo, S./Kim, T./Kim, S. K.: *Hybrid Tag Anti-collision Algorithms in RFID Systems*. In: *Lecture Notes in Computer Science* 4490 (2007), S. 693-700.
- Simchi-Levi et al. 2003: Simchi-Levi, D./Kaminsky, P./Simchi-Levi, E.: *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies*, 2, Boston, Mass. [u. a.] 2003.

- Simoneit 2004: Simoneit, O.: Ubiquitous Computing. Neue Dimensionen technischer Kultur. In: Internet-Zeitschrift für Kulturwissenschaften, 15/2004, Schwerpunktheft: Das Verbindende der Kulturen, http://www.inst.at/trans/15Nr/10_4/simoneit_oliver15.pdf (Letzter Abruf am 29.05.2009).
- Sirico 2005: Sirico, L.: The cost of compliance, <http://mrrfid.com/index.php?itemid=4> (Letzter Abruf am 15.06.2006).
- Smith 2005a: Smith, A. D.: Exploring the inherent benefits of RFID and automated self-service check-outs in a B2C environment. In: International Journal of Business Information Systems 1 (2005) 1/2, S. 149-181.
- Smith 2005b: 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.
- Smith/Offodile 2002: Smith, A. D./Offodile, F.: Information management of automated data capture: an overview of technical developments. In: Information Management and Computer Security 10 (2002) 3, S. 109-118.
- Son et al. 2007: Son, B./Lee, J./Park, K./Kim, C./Kim, H./Kim, S.: An Efficient Method to Create Business Level Events Using Complex Event Processing Based on RFID Standards. In: Lecture Notes in Computer Science 4761 (2007), S. 1-10.
- Soon/Gutiérrez 2008: Soon, C./Gutiérrez, J. A.: Effects of the RFID Mandate on Supply Chain Management. In: Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research 3 (2008) 1, S. 81-91.
- Speer 2006: Speer, J. K.: Making (13.56) Waves. In: Apparel (2006) 2, S. 22-24.
- Spiekermann 2007: Spiekermann, S.: Privacy Enhancing Technologies for RFID in Retail - An Empirical Investigation. In: Lecture Notes in Computer Science 4717 (2007), S. 56-72.
- Staake et al. 2007: Staake, T./Michahelles, F./Fleisch, E./Williams, J. R./Min, H./Cole, P. H./Lee, S./McFarlane, D./Murai, J.: Anti-Counterfeiting and Supply Chain Security In: Cole, P. H./Ranasinghe, D. C. (Hrsg.): Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography, Berlin [u. a.] 2007, S. 33-43.
- Steven/Krüger 2002: Steven, M./Krüger, R.: Advanced Planning Systems - Grundlagen, Funktionalitäten, Anwendungen. In: Busch, A./Dangelmaier, W. (Hrsg.): Integriertes Supply Chain Management, Wiesbaden 2002, S. 169-186.
- Steven/Krüger 2004: Steven, M./Krüger, R.: Supply Chain Event Management für globale Logistikprozesse - Charakteristika, konzeptionelle Bestandteile und deren Umsetzung in Informationssysteme, In: Spengler, T./Voß, S./Kopfer, H. (Hrsg.): Logistik Management, Heidelberg 2004, S. 179-195.
- Strassner 2005: Strassner, M.: RFID im Supply Chain Management: Auswirkungen und Handlungsempfehlungen am Beispiel der Automobilindustrie, Wiesbaden 2005.

- Strassner et al. 2005: Strassner, M./Plenge, C./Stroh, S.: Potenziale der RFID-Technologie für das Supply Chain Management in der Automobilindustrie. In: Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u. a.] 2005, S. 177-196.
- Strassner/Fleisch 2005: Strassner, M./Fleisch, E.: Innovationspotenzial von RFID für das Supply-Chain-Management. In: Wirtschaftsinformatik 47 (2005) 1, S. 45-56.
- Strong et al. 1997: Strong, D. M./Lee, Y. W./Wang, R. Y.: Data Quality in Context. In: Association for Computing Machinery: Communications of the ACM 40 (1997) 5, S. 103-110.
- Strüker et al. 2008: Strüker, J./Gille, D./Faupel, T.: RFID Report 2008 - Optimierung von Geschäftsprozessen in Deutschland, IIG-Telematik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, VDI nachrichten, Düsseldorf 2008.
- Subirana et al. 2003: Subirana, B./Eckes, C./Herman, G./Sarma, S./Barrett, M.: Measuring the Impact of Information Technology on Value and Productivity using a Process-Based Approach: The Case for RFID Technologies, Research Paper MIT Sloan No. 223, <http://ccs.mit.edu/papers/pdf/wp223.pdf> (Letzter Abruf am 09.06.2009).
- Sulaiman et al. 2008: Sulaiman, A./Mukkamala, S./Sung, A.: SQL infections through RFID. In: Journal in Computer Virology 4 (2008) 4, S. 347-356.
- Sullivan 2005: Sullivan, L.: RFID Implementation Challenges Persist, All This Time Later, InformationWeek 2005, <http://www.informationweek.com/news/mobility/RFID/showArticle.jhtml?articleID=171203904> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Supply-Chain Council 2006: Supply-Chain Operations Reference-Model – SCOR Version 7.0 Overview, <http://www.supply-chain.org/galleries/default-file/SCOR%2080%20Overview%20Booklet2.pdf> (Letzter Abruf am 29.05.2009).
- Swamy/Sarma 2003: Swamy, G./Sarma, S.: Manufacturing cost simulations for low cost RFID systems, White Paper Auto-ID Labs 2003, <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/MIT-AUTOID-WH017.pdf> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Sydänheimo et al. 2006: Sydänheimo, L./Ukkonen, L./Kivikoski, M.: Effects of size and shape of metallic objects on performance of passive radio frequency identification. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 30 (2006) 9-10, S. 897-905.

T

- Tangens 2006: Tangens, R.: RFID in der Kritik, In: Eberspächer, J./von Reden, W. (Hrsg.): Umhegt oder abhängig? Der Mensch in einer digitalen Umgebung, Heidelberg 2006, S. 93-108.
- Tellkamp et al. 2007: Tellkamp, C./Wiechert, T./Thiesse, F./Fleisch, E.: The Adoption of RFID-based Self-Check-Out-Systems at the Point-of-Sale. In: Proceedings of the 6th IFIP International Conference on e-Commerce, e-Business, and e-Government 2006, Turku, Finnland 2006, S. 153-165.
- 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. (Hrsg.):

- Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin [u. a.] 2005, S. 143-160.
- Teufel 2005: Teufel, A.: RFID - Supporting the aircraft supply chain, http://www.airbus.com/store/mm_repository/pdf/att00004903/08_fast_36_rfid.pdf (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Thakkar et al. 2008: Thakkar, J./Kanda, A./Deshmukh, S. G.: Interpretative structural modeling (ISM) of IT-enablers for Indian manufacturing SMEs. In: *Information Management & Computer Security* 16 (2008) 2, S. 113-136.
- Thiesse 2005: Thiesse, F.: Architektur und Integration von RFID-Systemen. In: Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.): *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*, Berlin [u. a.] 2005, S. 101-117.
- Thiesse/Gross 2006: Thiesse, F./Gross, S.: Integration von RFID in die betriebliche IT-Landschaft. In: *Wirtschaftsinformatik* 48 (2006) 3, S. 178-187.
- Thiesse/Michahelles 2006: Thiesse, F./Michahelles, F.: An overview of EPC technology. In: *Sensor Review* 26 (2006) 2, S. 101-105.
- Thorndike/Kasch 2004: Thorndike, A./Kasch, L.: RFID in Handel und Konsumgüterindustrie: Potenziale, Herausforderungen, Chancen. In: *IM* 19 (2004) 4, S. 31-36.
- Thuraisingham 1998: Thuraisingham, B.: *Handbook of Data Management*, New York 1998.
- Tsogas 2006: Tsogas, N.: Digital Camels: The hunger for more data on passive RFID tags, *RFID Journal* 2006, www.rfidba.org/s-rfidba/news/files/Digital-Camels-RFID-Nick-T-Article.pdf (Letzter Abruf am 08.06.2007).
- Tu/Piramuthu 2008: Tu, Y./Piramuthu, S.: Reducing False Reads in RFID-Embedded Supply Chains. In: *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research* 3 (2008) 2, S. 60-70.
- Tuyls/Batina 2006: Tuyls, P./Batina, L.: RFID-Tags for Anti-counterfeiting. In: *Lecture Notes in Computer Science* 3860 (2006), S. 115-131.

U

- Uckelmann 2007: Uckelmann, D.: Utilizing application- and data fact identifiers for structured RFID-based data communication (2007), <http://www.rfidconvocation.eu/Papers%20presented/Technical/Utilizing%20application-%20and%20data%20fact%20identifiers%20for%20structured%20RFID-based%20data%20communication.pdf> (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Uckelmann/Böse 2006: Uckelmann, D./Böse, F.: Von der Chargenverfolgung zur Produktverfolgung - Veränderungen in der logistischen Rückverfolgung auf Basis innovativer Identifikationstechnologien. In: Engelhardt-Nowitzki, C./Lackner, E. (Hrsg.): *Chargenverfolgung - Möglichkeiten, Grenzen und Anwendungsgebiete*, Wiesbaden 2006, S. 133-148.
- Ukkonen et al. 2007: Ukkonen, L./Sydänheimo, L./Kivikoski, M.: Read Range Performance Comparison of Compact Reader Antennas for a Handheld UHF RFID Reader. In: *IEEE Applications & Practice* 7/2007, S. 24-31.

Ulrich 1981: Ulrich, H.: Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft. In: Geist, M./Köhler, R. (Hrsg.): Die Führung des Betriebes, Stuttgart, S. 1-25.

Urosevic/Bolan 2006: Urosevic, U./Bolan, C.: Tags at War: A Review of the United States Department of Defense RFID Tag Data Standard. In: Proceedings of the 7th Australian Information Warfare and Security 2006, Perth, Australien 2006, S. 158-173.

V

Vaidya/Das 2008: Vaidya, N./Das, S. R.: RFID-Based Networks – Exploiting Diversity and Redundancy. In: Mobile Computing and Communications Review 12 (2008) 1, S. 2-14.

Vance 2005: Vance, A.: An Empirical Investigation of the Potential of RFID Technology to Enhance Supply Chain Agility. In: Baskerville, R. L./Mathiassen, L./Pries-Heje, J./DeGross, J. I. (Hrsg.): Business Agility and Information Technology Diffusion, New York, S. 147-156.

Vaudenay 2006: Vaudenay, S.: RFID Privacy Based on Public-Key Cryptography. In: Lecture Notes in Computer Science 4296 (2006), S. 1-6.

Veeramani et al. 2008: Veeramani, D./Tang, J./Gutierrez, A.: A Framework for Assessing the Value of RFID Implementation by Tier-One Suppliers to Major Retailers. In: Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research 3 (2008) 1, S. 55-70.

Vilkov 2007: Vilkov, L.: Prozessorientierte Wirtschaftlichkeitsanalyse von RFID-Systemen: Ein ganzheitlicher Ansatz für Supply Chain Management und Logistik, Berlin 2007.

Visich et al. 2008: Visich, J. K./Li, S./Khumawala, B. M./Reyes, P. M.: Empirical evidence of RFID impacts on supply chain performance. In: Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Decision Sciences Institute, Baltimore, Maryland, USA 2008, S. 1-33.

Vowels 2006: A Strategic Case for RFID: An Examination of Wal-Mart and its Supply Chain. In: Proceedings of the 2006 Southern Association for Information Systems Conference, Jacksonville, Florida, USA 2006, S. 148-152.

W

Waldrop et al. 2002: Waldrop, J./Engels, D. W./Sarma, S. E.: Colorwave: An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem. In: IEEE International Conference on Communications 2 (2002) 2, S. 1206-1210.

Walter/Grabner 1975: Walter, C. K./Grabner, J. R.: Stockout Cost Models: Empirical Tests in a Retail Situation. In: Journal of Marketing 39 (1970) 3, S. 56-68.

Wang et al. 2005: Wang, W./McFarlane, D./Brusey, J.: Timing Analysis of Real-Time Networked RFID Systems. In: Proceedings of the 17th Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS05), 4th Workshop on Real-Time Networks (RTN05), Palma de Mallorca, Spanien 2005.

Wang et al. 2006: Wang, F./Liu, S./Liu, P./Bai, Y.: Bridging Physical and Virtual Worlds: Complex Event Processing for RFID Data Streams. In: Vortrag auf der 10th International Conference on Extending Database Technology (EDBT 2006), München 2006.

- Wang et al. 2007: Wang, L./Norman, B. A./Rajgopal, J.: Placement of Multiple RFID Reader Antennas to Maximize Portal Read-Accuracy. In: International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications 1 (2007) 3, S. 260-277.
- Wang/Liu 2005: Wang, F./Liu, P.: Temporal Management of RFID Data. In: Proceedings of the 31st VLDB Conference, Trondheim, Norwegen, 2005, S. 1128-1139.
- Want 2004: Want, R.: The Magic of RFID. In: Queue (2004) 10, S. 41-48.
- Warfield 1974: Warfield, J. W.: Developing interconnected matrices in structural modeling. In: IEEE Transcript on Systems, Men and Cybernetics 4 (1974) 1, S. 81-87.
- Wassermann 2005: Wassermann, E.: Purdue Pharma to Run Pedigree Pilot. In: RFID Journal 2005, www.rfidjournal.com/article/pdf/1626/1/1/rfidjournal-article1626.PDF (Letzter Abruf am 05.08.2007).
- Wei/Wang 2007: Wei, H./Wang E. T. G.: Creating Strategic Value from Supply Chain Visibility – the Dynamic Capabilities View. In: Online Proceedings of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07), Big Island, Hawaii, USA, 2007.
- Weier 2006: Weier, M. H.: Nissan Plant Embraces RFID, InformationWeek 2006, <http://www.informationweek.com/news/infrastructure/management/showArticle.jhtml?articleID=195900157> (Letzter Abruf am 03.11.2008).
- Weis et al. 2003: Weis, S. A./Sarma, S. E./Rivest, R. L./Engels, D. W.: Security and privacy aspects of low-cost radio frequency identification systems. In: Hutter, D./Müller, G./Stephan, W./Ullmann, M. (Hrsg.): International Conference on Security in Pervasive Computing – SPC 2003, S. 454-469.
- Weiser 1991: Weiser, M.: The Computer for the 21st Century. In: Scientific American 272 (1991) 3, S. 78-89.
- Werner et al. 2007: Werner, K./Grummt, E./Groß, S./Ackermann, R.: Data-on-Tag: An Approach to Privacy friendly Usage of RFID Technologies. In: Online Proceedings of the 3rd European Workshop on RFID Systems and Technologies (RFID SysTech 2007), Duisburg 2007.
- Wessel 2007: Wessel, R.: RFID Keeps Cherries Fresh. In: RFID Journal 2007, <http://www.rfidjournal.com/article/view/3554> (Letzter Abruf am 10.06.2009).
- Whitaker et al. 2007: Whitaker, J./Mithas, S./Krishnan, M. S.: A Field Study of RFID Deployment and Return Expectations. In: Production and Operations Management 16 (2007) 5, S. 599-612.
- White et al. 2008: White, A./Johnson, M./Wilson, H.: RFID in the supply chain: lessons from European early adopters. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 38 (2) 2008, S. 88-107.
- Widder et al. 2009: Widder, A./Ammon, R./Hagemann, G./Schönfeld, D.: An Approach for Automatic Fraud Detection in the Insurance Domain. In: AAAI 2009 Spring Symposia / Intelligent Event Processing, Stanford, California, USA 2009, <http://www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/2009/SS-09-05/SS09-05-017.pdf> (Letzter Abruf am 06.02.2009).
- Wilde/Hess 2007: Wilde, T./Hess, T.: Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik. Eine empirische Untersuchung. In: Wirtschaftsinformatik 49 (2007) 4, S. 280-287.

Witzki 2002: Witzki, A.: Transponder in der Logistik. In: Funkschau (2002) 7, S. 16-17.

WKWI 1994: WKWI: Profil der Wirtschaftsinformatik: Ausführungen der Wissenschaftlichen Kommission der Wirtschaftsinformatik. In: Wirtschaftsinformatik 36 (1994) 1, S. 80-81.

Wöhrle 2005: Wöhrle, T.: Chargenrein in den Handel. In: LOG.Punkt (2005) 4, S. 32-33.

Wolfram 2007: Wolfram, G.: RFID - Schlüsseltechnologie für die Zukunft des Handels. In: Bullinger, H./ten Hompel, M. (Hrsg.): Internet der Dinge, Berlin [u. a.] 2007, S. 305-313.

Y

Yang/Jarvenpaa 2005: Yang, G./Jarvenpaa, S. L.: Trust and Radio Frequency Identification (RFID) Adoption within an Alliance. In: Online Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'05), Big Island, Hawaii, USA, 2005.

Yeo/Kim 2005: Yeo, S./Kim, S. K.: Scalable and Flexible Privacy Protection Scheme for RFID Systems. In: Lecture Notes in Computer Science 3813 (2005), S. 153-163.

Yin 2007: Yin, R. K.: Case study research: design and methods, 3, Thousand Oaks, California [u. a.] 2007.

Z

Zampolli et al. 2008: Zampolli, S./Elmi, I./Cozzani, E./Cardinali, G. C./Scorzoni, A./Cicioni, M./Santiago, M./Palacio, F./Gómez-Cama, J. M./Sayhan, I./Becker, T.: Ultra-low-power components for an RFID Tag with physical and chemical sensors. In: Microsystem Technologies 14 (2008) 4-5, S. 581-588.

Zang et al. 2008: Zang, C./Fan, Y./Liu, R.: Architecture, implementation and application of complex event processing in enterprise information systems based on RFID. In: Information Systems Frontiers 10 (2008) 5, S. 543-553.


Zeng/Pathak 2003: Zeng, A. Z./Pathak, B. K.: Achieving information integration in supply chain management through B2B e-hubs: concepts and analyses. In: Industrial Management & Data Systems 103 (2003) 9, S. 657-665.

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, Berlin [u. a.] 2001.

Zhang et al. 2006: Zhang, X./Hu, T./Janz, B. D./Gillenson, M. L.: Radio Frequency Identification: The Initiator of a Domino Effect. In: Proceedings of the 2006 Southern Association for Information Systems Conference, Jacksonville, Florida, USA 2006, S. 191-196.

Anhang

Anhang A – Fragebogen der empirischen Erhebung

EvaSys	Befragung zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken	
2. Fragen zur RFID-Technologie und zum Einsatzgebiet [Fortsetzung]		
Bitte beurteilen Sie die folgenden Aussagen in Hinblick auf die eingesetzte Technologie. Geben Sie dazu bitte auf einer Skala von (1) = "trifft überhaupt nicht zu" bis (7) = "trifft vollkommen zu" an, inwieweit Sie der jeweiligen Aussage zustimmen.		
2.9 Der Preis für Transponder mit hoher Leistungsfähigkeit (hohe Speicherkapazität / Wiederbeschreibbarkeit) ist derzeit zu hoch.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft vollkommen zu (7)
2.10 Wir ziehen günstige Transponder den leistungsfähigen Transpondern vor.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft vollkommen zu (7)
2.11 Auf welcher Kennzeichnungsebene erfolgt der RFID-Einsatz?		
<input type="checkbox"/> Palette	<input type="checkbox"/> Box / Verpackung	<input type="checkbox"/> Produkt
<input type="checkbox"/> Sonstiges		
2.12 Werden die RFID-Tags mehrfach verwendet?		
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	
2.13 In welchem Bereich kommt die RFID-Technologie zum Einsatz? <i>Mehrfachnennungen sind möglich.</i>		
<input type="checkbox"/> Transport	<input type="checkbox"/> Lagerhaltung	<input type="checkbox"/> Produktion
<input type="checkbox"/> Asset Management	<input type="checkbox"/> Sonstiges	
2.14 Bitte geben Sie die exakten Einsatzgebiete an:		
2.15 Welche Funktionen unterstützt die RFID-Technologie? <i>Mehrfachnennungen sind möglich.</i>		
<input type="checkbox"/> Prozessautomatisierung	<input type="checkbox"/> Tracking und Tracing	<input type="checkbox"/> Gewährleistung der Produktsicherheit
<input type="checkbox"/> Dezentrale Produktionssteuerung	<input type="checkbox"/> Sonstiges	
2.16 Bitte beurteilen Sie auf einer Skala von 1 = "wenige Datenerfassungspunkte" (z.B. Prozessanfang/-ende) bis 7 = "viele Datenerfassungspunkte" (z.B. alle wichtigen Prozessschritte), wie häufig die Daten erfasst werden.	wenige Datenerfassungspunkte (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> viele Datenerfassungspunkte (7)
Bitte beurteilen Sie die folgenden Aussagen bezüglich der Netzwerkinfrastruktur. Geben Sie dazu bitte auf einer Skala von (1) = "trifft überhaupt nicht zu" bis (7) = "trifft vollkommen zu" an, inwieweit Sie der jeweiligen Aussage zustimmen.		
2.17 Es besteht eine ausreichende Netzwerkabdeckung im Bereich des RFID-Einsatzes.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft vollkommen zu (7)
2.18 Die Daten zu logistischen Objekten werden am Ort des Geschehens erfasst, wo eine Netzwerkanbindung nicht immer gewährleistet werden kann.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft vollkommen zu (7)
F1151U0P2PL0V0	MUSTER	25.05.2009, Seite 2/7

EvaSys	Befragung zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken	
--------	---	---

3. Fragen zum Produkt bzw. Ladungsträger

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen in Hinblick auf das Produkt bzw. den Ladungsträger, das / der mit RFID versehen wird.

3.1 Um welches Produkt bzw. welchen Ladungsträger handelt es sich?

3.2 Wie hoch ist der Wert eines Produkts bzw. Ladungsträgers?

- weniger als 10 Euro
 11 bis 50 Euro
 51 bis 100 Euro
 101 bis 200 Euro
 201 bis 500 Euro
 über 500 Euro

3.3 Falls die Kennzeichnung am Ladungsträger erfolgt, geben Sie bitte an, welche Produkte dieser beinhaltet, und setzen die Befragung dann bei Abschnitt 4 "Fragen zur Datenspeicherung" fort. Ansonsten beantworten Sie bitte die folgenden Fragen zum gekennzeichneten Produkt.

3.4 Wie hoch ist die Anzahl der Produktvarianten?

- gering
 hoch

3.5 Um welche Art von Produkten handelt es sich?

- kundenspezifisch gefertigte Produkte
 Produkte mit kundenspezifischen Varianten
 Standarderzeugnisse mit Varianten
 Standarderzeugnisse ohne Varianten

3.6 Falls RFID in der Produktion eingesetzt wird: Um welche Fertigungsart handelt es sich?

- Einmalfertigung
 Einzel- und Kleinserienfertigung
 Serienfertigung
 Massenfertigung

3.7 Wie lang ist der Produktlebenszyklus der Produkte?

- unter 6 Monate
 7 bis 12 Monate
 1 bis 2 Jahre
 über 2 Jahre

4. Fragen zur Datenspeicherung


4.1 Werden abgesehen von einer ID zusätzliche Daten auf dem RFID-Tag gespeichert?


- Ja, es werden weitere Daten gespeichert.
 Nein, es wird ausschließlich eine ID gespeichert.

4.2 Wie erfolgt die Datenspeicherung im Netzwerk?

- Die Daten werden an einer zentralen Stelle gesammelt, verdichtet und ausgewertet.
 Die Datenspeicherung erfolgt dezentral bei den einzelnen Akteuren des Logistiknetzwerks.

Falls auf dem RFID-Tag ausschließlich eine ID gespeichert wird, setzen Sie die Befragung bitte bei Abschnitt 5 "Fragen zum RFID-gestützten Logistiknetzwerk" fort.

EvaSys	Befragung zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken	
4. Fragen zur Datenspeicherung [Fortsetzung]		
4.3 Welche weiteren Daten werden auf dem RFID-Tag gespeichert?		
<div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>		
4.4 Werden vertrauliche Daten auf dem RFID-Tag gespeichert?		
<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
4.5 Sind die auf dem RFID-Tag gespeicherten Daten geschützt?		
<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
4.6 Falls nein: Warum wird kein Datensicherungsmechanismus eingesetzt?		
<div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>		
4.7 Falls ja: Wie werden die Daten geschützt?		
<input type="checkbox"/> Passwortschutz <input type="checkbox"/> Verschlüsselung <input type="checkbox"/> Sonstiges		
Bitte beurteilen Sie die folgenden Aussagen bezüglich der Datenschutzbedenken Ihrer Kunden bzw. Kooperationspartner und der Datensicherungskonzepte. Geben Sie dazu bitte auf einer Skala von (1) = "trifft überhaupt nicht zu" bis (7) = "trifft vollkommen zu" an, inwieweit Sie der jeweiligen Aussage zustimmen.		
4.8 Eine objektbegleitende Datenspeicherung erhöht die Datenschutzbedenken unserer Kunden bzw. Kooperationspartner.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4.9 Unsere Kunden bzw. Kooperationspartner legen Wert darauf, dass die Datenspeicherung am Objekt nur auf das Nötigste beschränkt wird.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4.10 Die Datensicherheit auf den Transponder kann derzeit nicht gewährleistet werden.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4.11 Der Zugriff auf bestimmte Datenbereiche auf dem Transponder kann derzeit nicht beschränkt werden.	trifft überhaupt nicht zu (1)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4.12 Welche Funktionen haben die am Objekt gespeicherten Daten?		
<input type="checkbox"/> Es werden weitere Informationen zum Objekt zur Verfügung gestellt.	<input type="checkbox"/> Es erfolgt eine Dokumentation von Informationen über die Historie des Objekts.	<input type="checkbox"/> Aufgrund einer fehlenden Anbindung an das Netzwerk werden Daten temporär auf dem Transponder zwischengespeichert und später in eine zentrale Datenbank verschoben.
<input type="checkbox"/> Der Transponder ist mit einem Mikroprozessor ausgestattet und kann eigene Berechnungen durchführen. Die gespeicherten Daten haben dabei eine Steuerungsfunktion.		

EvaSys	Befragung zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken	
4. Fragen zur Datenspeicherung [Fortsetzung]		

Bitte geben Sie auf einer Skala von (1) = "sehr gering" bis (7) = "sehr hoch" an, wie Sie die Nutzenpotenziale der objektbegleitenden Datenspeicherung beurteilen.

- | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|----------------|
| 4.13 Es stellt eine effiziente Möglichkeit der Datenübermittlung an Netzwerkpartner dar. | sehr gering
(1) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | sehr hoch
(7) | <input type="checkbox"/> | nicht relevant |
| 4.14 Papiergebundene Informationsflüsse werden ersetzt. | sehr gering
(1) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | sehr hoch
(7) | <input type="checkbox"/> | nicht relevant |
| 4.15 Es werden dem Objekt keine falschen Daten durch eventuelle Fehler bei der Referenzierung der zentralen Datenbank zugeordnet. | sehr gering
(1) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | sehr hoch
(7) | <input type="checkbox"/> | nicht relevant |
| 4.16 Die Datenerfassung kann auch ohne Netzwerkanbindung erfolgen. | sehr gering
(1) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | sehr hoch
(7) | <input type="checkbox"/> | nicht relevant |
| 4.17 Die Dokumentation der Produktions-, Wartungs- oder Inspektionsprozesse kann am Objekt gespeichert werden. | sehr gering
(1) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | sehr hoch
(7) | <input type="checkbox"/> | nicht relevant |
| 4.18 Die notwendigen Daten können auch ausgelesen werden, wenn zentrale Systeme oder Netzwerke ausfallen. | sehr gering
(1) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | sehr hoch
(7) | <input type="checkbox"/> | nicht relevant |
| 4.19 Zentrale Systeme werden entlastet, weil die Transponder eigene Berechnungen durchführen können. | sehr gering
(1) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | sehr hoch
(7) | <input type="checkbox"/> | nicht relevant |

4.20 Gibt es weitere Nutzenpotenziale der objektbegleitenden Datenspeicherung?

5. Fragen zum RFID-gestützten Logistiknetzwerk

5.1 Ist der Einsatz der RFID-Tags auf das eigene Unternehmen beschränkt oder erfolgt der Einsatz unternehmensübergreifend?

- unternehmensinterner Einsatz unternehmensübergreifender Einsatz

Falls die Verwendung unternehmensübergreifend erfolgt, beantworten Sie bitte die folgenden Fragen zum Logistiknetzwerk. Ansonsten setzen Sie die Beantwortung des Fragebogens bitte bei Abschnitt 6 "Informationen zum Unternehmen" fort.

5.2 Kehren die RFID-Tags innerhalb eines geschlossenen logistischen Systems zum Unternehmen zurück oder handelt es sich um ein offenes logistisches System?

- geschlossener Kreislauf (closed loop) offener Kreislauf (open loop)

EvaSys	Befragung zur objektbegleitenden Datenspeicherung in RFID-gestützten Logistiknetzwerken	
--------	---	---

5. Fragen zum RFID-gestützten Logistiknetzwerk [Fortsetzung]

Bitte beurteilen Sie die folgenden Aussagen in Hinblick auf das Logistiknetzwerk, in dem der RFID-Einsatz erfolgt, und die Standardisierung. Geben Sie dazu bitte auf einer Skala von (1) = "trifft überhaupt nicht zu" bis (7) = "trifft vollkommen zu" an, inwieweit Sie der jeweiligen Aussage zustimmen.

- | | | | | |
|-----|--|-------------------------------|---|--------------------------|
| 5.3 | Unser Unternehmen unterhält ein komplexes Netzwerk an Kooperationspartnern. | trifft überhaupt nicht zu (1) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | trifft vollkommen zu (7) |
| 5.4 | Die Anzahl der beteiligten Akteure im gesamten Logistiknetzwerk ist hoch. | trifft überhaupt nicht zu (1) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | trifft vollkommen zu (7) |
| 5.5 | Die beteiligten Akteure wechseln häufig. | trifft überhaupt nicht zu (1) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | trifft vollkommen zu (7) |
| 5.6 | Unser Unternehmen nutzt EDI (Electronic Data Interchange) zur Kommunikation mit seinen Lieferanten bzw. Kunden. | trifft überhaupt nicht zu (1) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | trifft vollkommen zu (7) |
| 5.7 | Innerhalb des Logistiknetzwerks wird eine Onlineplattform zum Datenaustausch genutzt. | trifft überhaupt nicht zu (1) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | trifft vollkommen zu (7) |
| 5.8 | Es fehlen Standards für die Datenstrukturen auf dem Transponder. | trifft überhaupt nicht zu (1) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | trifft vollkommen zu (7) |
| 5.9 | Der derzeitige Stand der Standardisierung ermöglicht es, Daten zu logistischen Objekten aus Datenbanken der Kooperationspartner abzurufen. | trifft überhaupt nicht zu (1) | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | trifft vollkommen zu (7) |

6. Informationen zum Unternehmen

Bitte machen Sie noch die folgenden Angaben zu Ihrem Unternehmen.

- 6.1 Wie viele Mitarbeiter sind in Ihrem Unternehmen derzeit beschäftigt?
- 6.2 Welchen Umsatz (in Mio. €) erzielte Ihr Unternehmen ungefähr im vergangenen Geschäftsjahr?
- 6.3 Welcher Branche ist Ihr Unternehmen zuzuordnen?
- 6.4 In welchem Land befindet sich der Hauptsitz Ihres Unternehmens?

7. Persönliche Angaben

- 7.1 Bitte kreuzen Sie an, welche Kategorie am ehesten Ihrer Position entspricht.
- | | | |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> Geschäftsführung / Top Management | <input type="checkbox"/> Abteilungsleitung / Mittleres Management | <input type="checkbox"/> Angestellte(r) im kaufmännischen Bereich |
| <input type="checkbox"/> Angestellte(r) im technischen Bereich | <input type="checkbox"/> Sonstiges | |
- 7.2 Und in welchem Bereich sind Sie tätig?
- | | | |
|---|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Geschäftsführung | <input type="checkbox"/> Logistik / SCM | <input type="checkbox"/> IT |
| <input type="checkbox"/> Marketing / Vertrieb | <input type="checkbox"/> Einkauf | <input type="checkbox"/> Sonstiges |

Anhang B – Diagramme zum Kosten-Nutzen-Modell

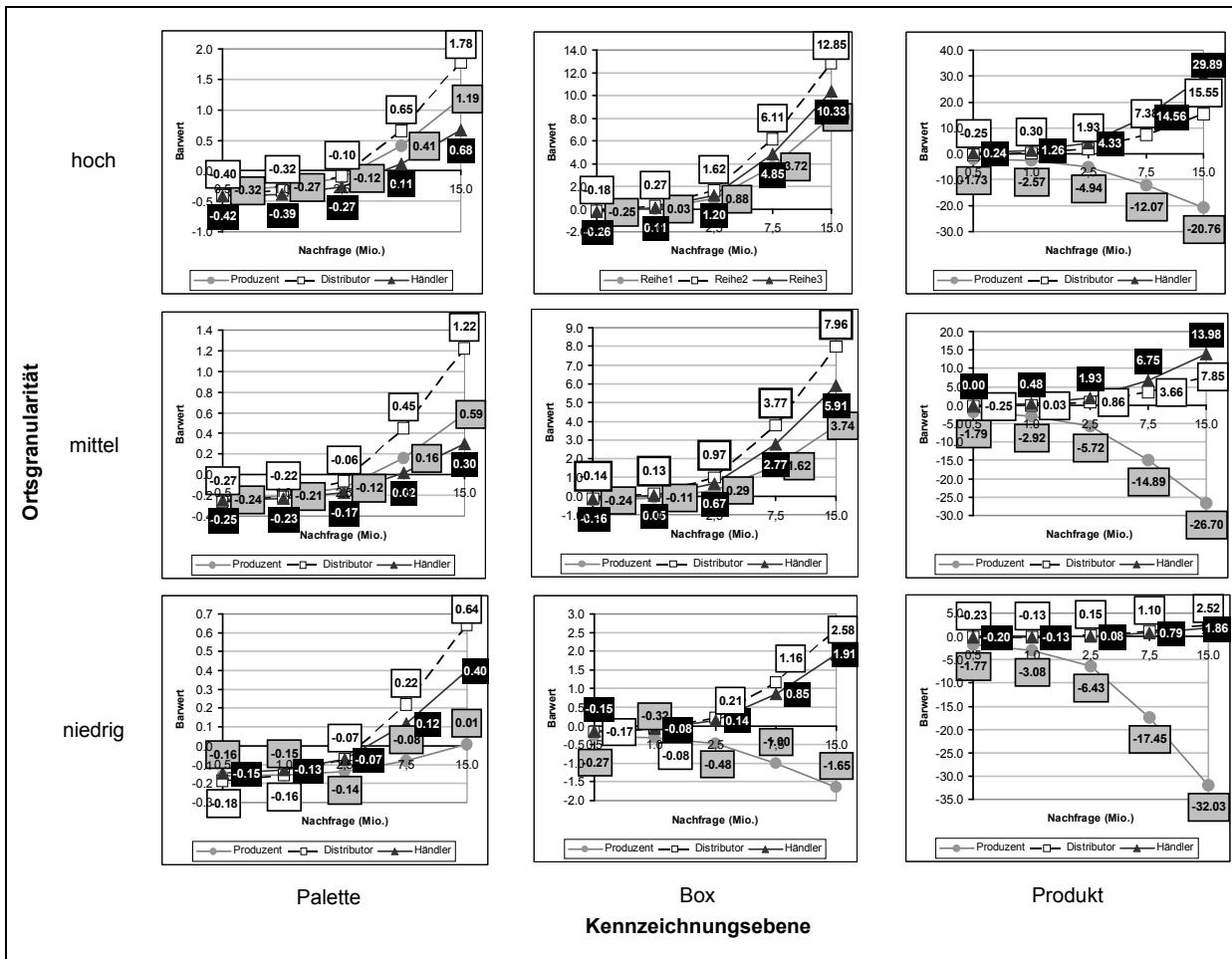


Abbildung B-1: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit von der Nachfrage – Transponderkosten trägt der Produzent

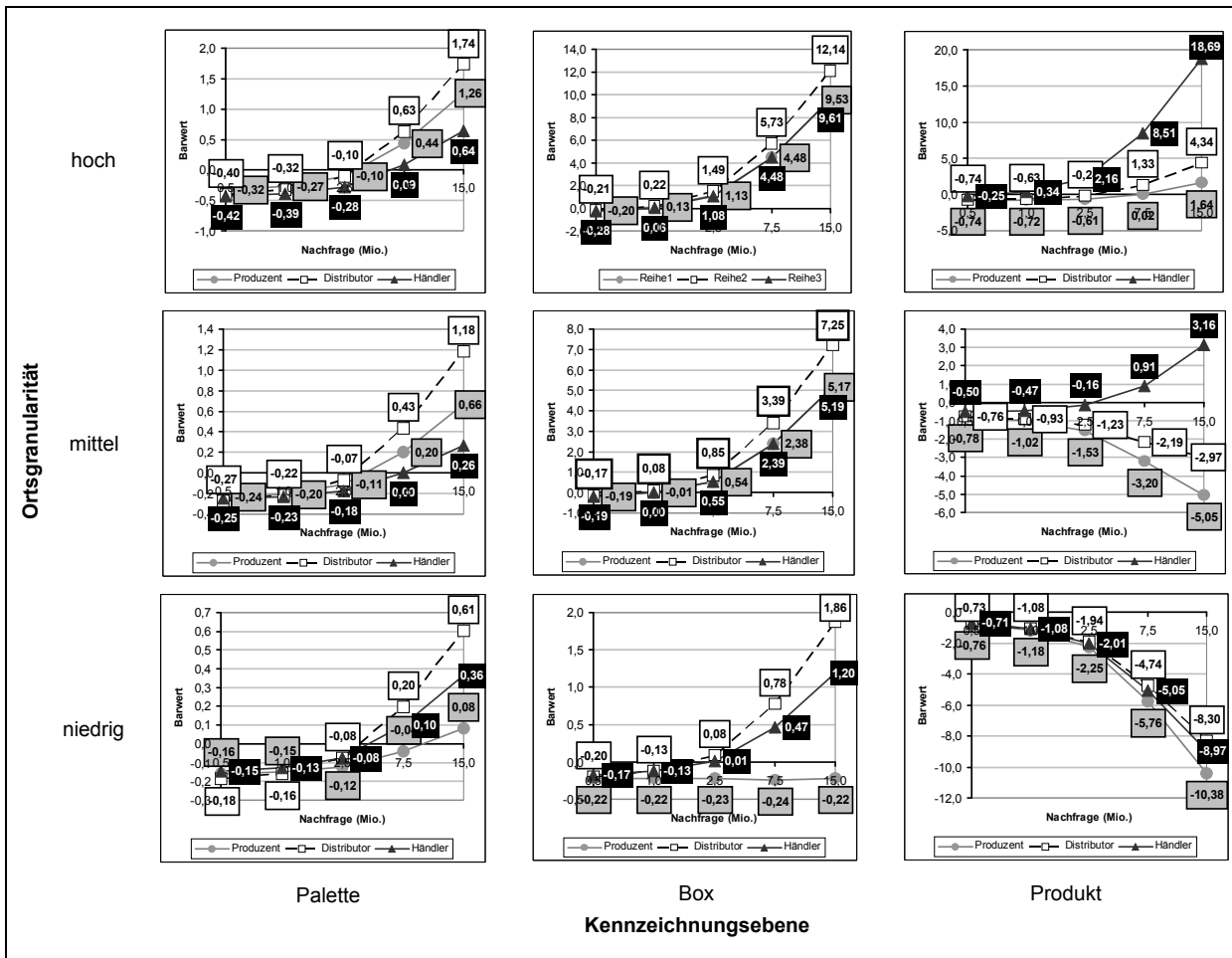


Abbildung B-2: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit von der Nachfrage – Verteilte Transponderkosten

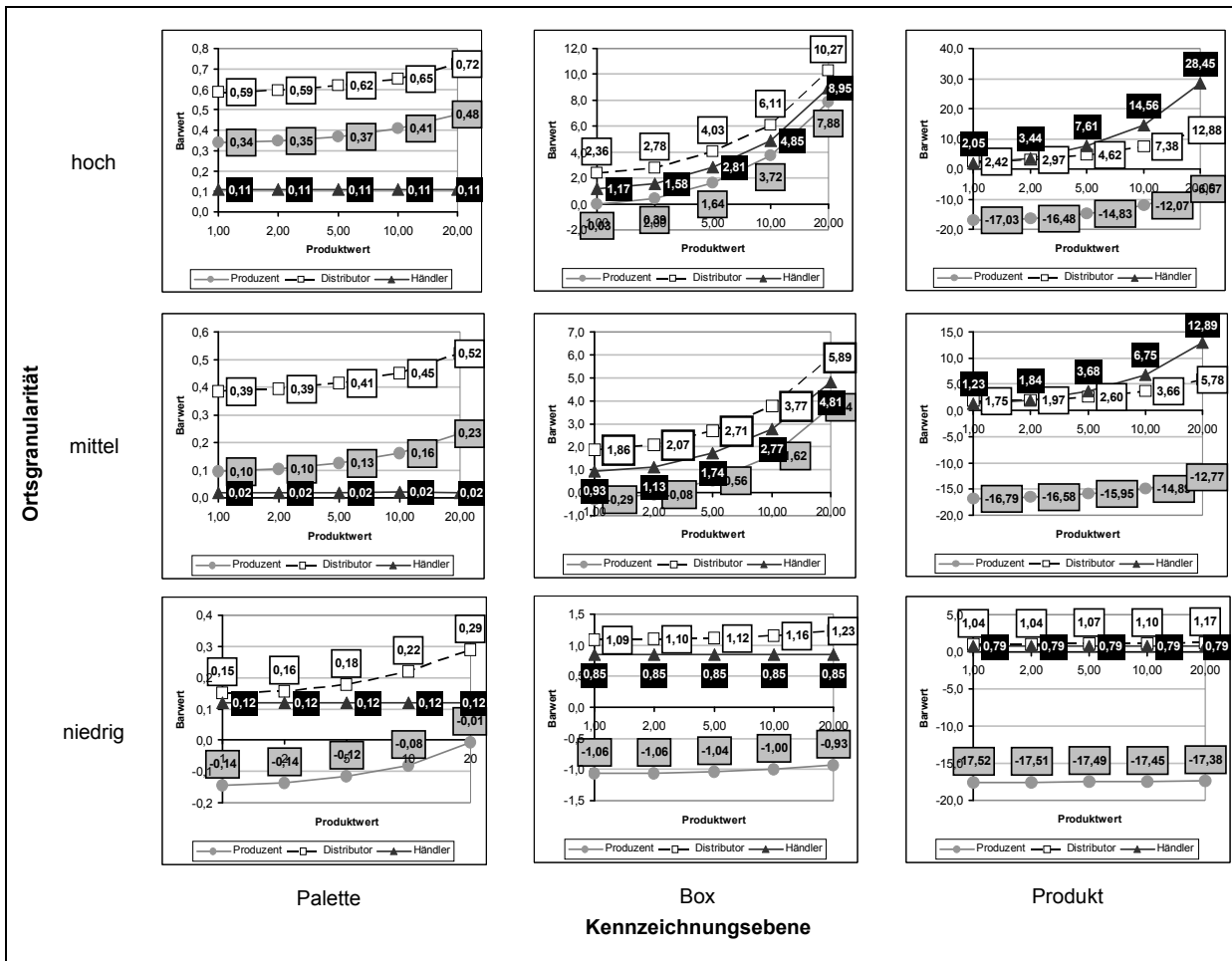


Abbildung B-3: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit vom Produktwert – Transponderkosten trägt der Produzent

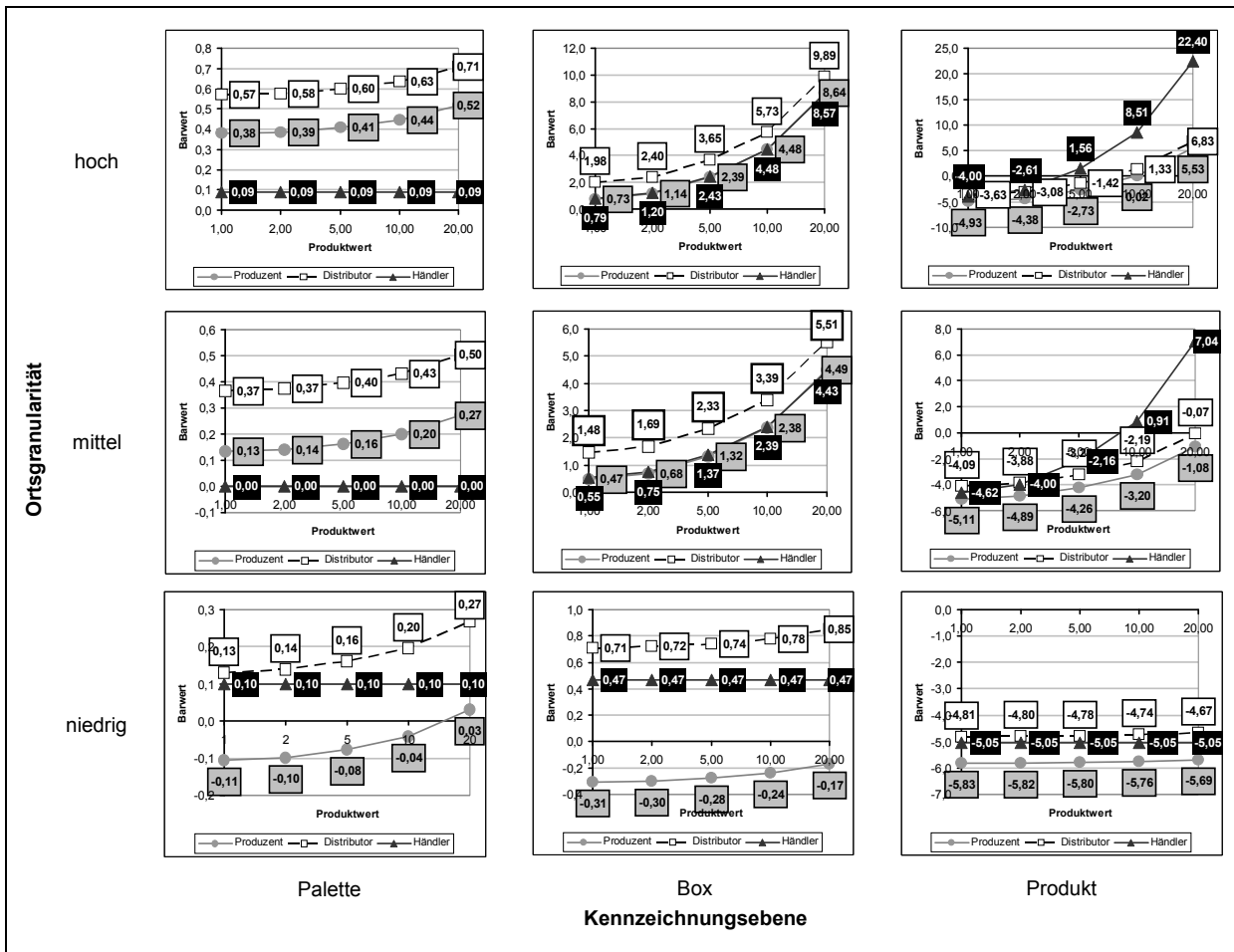


Abbildung B-4: Barwert [in Mio. €] in Abhängigkeit vom Produktwert – Verteilte Transponderkosten

Göttinger Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: Prof. Dr. J. Biethahn • Prof. Dr. M. Schumann

- Band 31: Dr. rer. pol. Christian Stummeyer
Integration von Simulationsmethoden und hochintegrierter betriebswirtschaftlicher PPS-Standardsoftware im Rahmen eines ganzheitlichen Entwicklungsansatzes
ISBN 3-89712-874-8
- Band 32: Dr. rer. pol. Stefan Wegert
Gestaltungsansätze zur IV-Integration von elektronischen und konventionellen Vertriebsstrukturen bei Kreditinstituten
ISBN 3-89712-924-8
- Band 33: Dr. rer. pol. Ernst von Stegmann und Stein
Ansätze zur Risikosteuerung einer Kreditversicherung unter Berücksichtigung von Unternehmensverflechtungen
ISBN 3-89873-003-4
- Band 34: Dr. rer. pol. Gerald Wissel
Konzeption eines Managementsystems für die Nutzung von internen sowie externen Wissen zur Generierung von Innovationen
ISBN 3-89873-194-4
- Band 35: Dr. rer. pol. Wolfgang Greve-Kramer
Konzeption internetbasierter Informationssysteme in Konzernen
Inhaltliche, organisatorische und technische Überlegungen zur internetbasierten Informationsverarbeitung in Konzernen
ISBN 3-89873-207-X
- Band 36: Dr. rer. pol. Tim Veil
Internes Rechnungswesen zur Unterstützung der Führung in Unternehmensnetzwerken
ISBN 3-89873-237-1
- Band 37: Dr. rer. pol. Mark Althans
Konzeption eines Vertriebscontrolling-Informationssystems für Unternehmen der liberalisierten Elektrizitätswirtschaft
ISBN 3-89873-326-2
- Band 38: Dr. rer. pol. Jörn Propach
Methoden zur Spielplangestaltung öffentlicher Theater
Konzeption eines Entscheidungsunterstützungssystems auf der Basis Evolutionärer Algorithmen
ISBN 3-89873-496-X

Cuvillier Verlag Göttingen

Nonnenstieg 8 • 37075 Göttingen

Göttinger Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: Prof. Dr. J. Biethahn • Prof. Dr. M. Schumann

- Band 39: Dr. rer. pol. Jochen Heimann
DV-gestützte Jahresabschlußanalyse
Möglichkeiten und Grenzen beim Einsatz computergeschützter Verfahren zur Analyse
und Bewertung von Jahresabschlüssen
ISBN 3-89873-499-4
- Band 40: Dr. rer. pol. Patricia Böning Spohr
Controlling für Medienunternehmen im Online-Markt
Gestaltung ausgewählter Controllinginstrumente
ISBN 3-89873-677-6
- Band 41: Dr. rer. pol. Jörg Koschate
Methoden und Vorgehensmodelle zur strategischen Planung von
Electronic-Business-Anwendungen
ISBN 3-89873-808-6
- Band 42: Dr. rer. pol. Yang Liu
A theoretical and empirical study on the data mining process for credit scoring
ISBN 3-89873-823-X
- Band 43: Dr. rer. pol. Antonios Tzouvaras
Referenzmodellierung für Buchverlage
Prozess- und Klassenmodelle für den Leistungsprozess
ISBN 3-89873-844-2
- Band 44: Dr. rer. pol. Marina Nomikos
Hemmnisse der Nutzung Elektronischer Marktplätze aus der Sicht von kleinen
und mittleren Unternehmen eine theoriegeleitete Untersuchung
ISBN 3-89873-847-7
- Band 45: Dr. rer. pol. Boris Fredrich
Wissensmanagement und Weiterbildungsmanagement
Gestaltungs- und Kombinationsansätze im Rahmen einer lernenden Organisation
ISBN 3-89873-870-1

Cuvillier Verlag Göttingen

Nonnenstieg 8 • 37075 Göttingen

Göttinger Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: Prof. Dr. J. Biethahn • Prof. Dr. M. Schumann

- Band 46: Dr. rer. pol. Thomas Arens
Methodische Auswahl von CRM Software
Ein Referenz-Vorgehensmodell zur methodengestützten Beurteilung und Auswahl von Customer Relationship Management Informationssystemen
ISBN 3-86537-054-3
- Band 47: Dr. rer. pol. Andreas Lackner
Dynamische Tourenplanung mit ausgewählten Metaheuristiken
Eine Untersuchung am Beispiel des kapazitätsrestriktiven dynamischen Tourenplanungsproblems mit Zeitfenstern
ISBN 3-86537-084-5
- Band 48: Dr. rer. pol. Tobias Behrendorf
Service Engineering in Versicherungsunternehmen
unter besonderer Berücksichtigung eines Vorgehensmodells zur Unterstützung durch Informations- und Kommunikationstechnologien
ISBN 3-86537-110-8
- Band 49: Dr. rer. pol. Michael Range
Aufbau und Betrieb konsumentenorientierter Websites im Internet
Vorgehen und Methoden unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen von kleinen und mittleren Online-Angeboten
ISBN 3-86537-490-5
- Band 50: Dr. rer. pol. Gerit Grübler
Ganzheitliches Multiprojektmanagement
Mit einer Fallstudie in einem Konzern der Automobilzulieferindustrie
ISBN 3-86537-544-8
- Band 51: Dr. rer. pol. Birte Pochert
Konzeption einer unscharfen Balanced Scorecard
Möglichkeiten der Fuzzyifizierung einer Balanced Scorecard zur Unterstützung des Strategischen Managements
ISBN 3-86537-671-1

Cuvillier Verlag Göttingen

Nonnenstieg 8 • 37075 Göttingen

Göttinger Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: Prof. Dr. J. Biethahn • Prof. Dr. M. Schumann

- Band 52: Dr. rer. pol. Manfred Peter Zilling
Effizienztreiber innovativer Prozesse für den Automotive
Aftermarket
Implikationen aus der Anwendung von kollaborativen und integrativen
Methoden des Supply Chain Managements
ISBN 3-86537-790-4
- Band 53: Dr. rer. pol. Mike Hieronimus
Strategisches Controlling von Supply Chains
Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes unter Einbeziehung der
Wertschöpfungspartner
ISBN 3-86537-799-8
- Band 54: Dijana Bergmann
Datenschutz und Datensicherheit unter
besonderer Berücksichtigung des elektronischen
Geschäftsverkehrs zwischen öffentlicher
Verwaltung und privaten Unternehmen
ISBN 3-86537-894-3
- Band 55: Jan Eric Borchert
Operatives Innovationsmanagement in Unternehmensnetzwerken
Gestaltung von Instrumenten für Innovationsprojekte
ISBN 3-86537-984-2
- Band 56: Andre Daldrup
Konzeption eines integrierten IV-Systems zur ratingbasierten
Quantifizierung des regulatorischen und ökonomischen Eigenkapitals
im Unternehmenskreditgeschäft unter Berücksichtigung von Basel II
ISBN 978-3-86727-189-9

Cuvillier Verlag Göttingen

Nonnenstieg 8 • 37075 Göttingen

Göttinger Wirtschaftsinformatik

Herausgeber: Prof. Dr. J. Biethahn • Prof. Dr. M. Schumann

- Band 57: Thomas Diekmann
Ubiquitous Computing-Technologien im betrieblichen Umfeld
Technische Überlegungen, Einsatzmöglichkeiten und Bewertungsansätze
ISBN 978-3-86727-194-3
- Band 58: Lutz Seidenfaden
Ein Peer-to-Peer-basierter Ansatz zur digitalen Distribution
wissenschaftlicher Informationen
ISBN 978-3-86727-321-3
- Band 59: Sebastian Rieger
Einheitliche Authentifizierung in heterogenen
IT-Strukturen für ein sicheres e-Science-Umfeld
ISBN 978-3-86727-329-9
- Band 60: Ole Björn Brodersen
Eignung schwarmintelligenter Verfahren für die betriebliche Entscheidungsunterstützung
Untersuchungen der Particle Swarm Optimization und Ant Colony Optimization anhand
eines stochastischen Lagerhaltungs- und eines universitären Stundenplanungsproblems
ISBN 978-3-86727-707-5
- Band 61: Jan Sauer
Konzeption eines wertorientierten Managementsystems unter besonderer Berücksichtigung
des versicherungstechnischen Risikos
ISBN 978-3-86727-858-4

Cuvillier Verlag Göttingen

Nonnenstieg 8 • 37075 Göttingen

