

Manfred Helmus | Selcuk Nisancioglu | Berit Offergeld  
Oliver Sachs (Hrsg.)

Arbeitsschutz im Bauwesen mit RFID

# VIEWEG+TEUBNER RESEARCH

## **RFID im Bauwesen**

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

Der wachsende internationale Wettbewerb in der Bauindustrie sowie der Wunsch nach zunehmenden Bauzeitverkürzungen und geringeren Baukosten bei gleichzeitig höheren Bauqualitäten zwingt die deutsche Bau- und Immobilienwirtschaft dazu, neue Wege zu gehen.

Die Initiatoren der Reihe „RFID im Bauwesen“ hoffen, dass sich weitere Institutionen an der Erweiterung der Reihe beteiligen werden, so dass die deutsche Bau- und Immobilienwirtschaft stets über den aktuellen Forschungsstand zum Thema „RFID im Bauwesen“ informiert bleibt.

Manfred Helmus | Selcuk Nisancioglu  
Berit Offergeld | Oliver Sachs (Hrsg.)

# Arbeitsschutz im Bauwesen mit RFID

Forschungsbericht zum Projekt  
„Sicherheitstechnik mit RFID – Entwicklung, Erpro-  
bung und Optimierung von geeigneten Instrumenten  
zur nachhaltigen Verbesserung des Arbeitsschutzes  
auf Grundlage von RFID“

VIEWEG+TEUBNER RESEARCH

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

1. Auflage 2010

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2010

Lektorat: Ute Wrasmann | Sabine Schöller

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

[www.viewegteubner.de](http://www.viewegteubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Druck und buchbinderische Verarbeitung: STRAUSS GMBH, Mörlenbach

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1030-4

## Vorwort

Das Interesse jedes Unternehmens, gesunde und leistungsfähige Mitarbeiter zu beschäftigen, leitet sich schon allein aus humanen und ethischen Gründen ab. Gleichzeitig tragen die wirtschaftlichen Vorteile eines funktionierenden betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutzes zur Steigerung der unternehmerischen Leistungsfähigkeit bei. Bestehende Managementsysteme und Handlungsanweisungen des Arbeits- und des Gesundheitsschutzes können in Ergänzung mit innovativer Technik helfen, die Arbeit auf Baustellen insgesamt sicherer zu gestalten, Unfälle zu vermeiden und das damit verbundene menschliche Leid zu reduzieren. Eine vielversprechende Technik in diesem Zusammenhang ist die Radio Frequenz Identifizierung (RFID), ein System, das die Identität eines Objektes oder einer Person drahtlos per Funkwellen übermittelt. Das durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) geförderte Forschungsprojekt *Sicherheitstechnik mit RFID* hatte die Entwicklung, Erprobung und Optimierung von geeigneten Instrumenten zur Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes auf Grundlage dieser Technologie zum Inhalt. Die Entwicklung einer automatischen Kontrolle der Persönlichen Schutzausrüstung (PSA) auf Vollständigkeit lag dabei im Fokus. Mit dem entwickelten Kontrollportal kann nun sichergestellt werden, dass Personen Gefahrenbereiche nur dann betreten, wenn Sie mit der notwendigen PSA ausgestattet sind. Optional kann die Prüfung der PSA mit einer Zugangskontrolle, einem Zeitwirtschaftssystem, einer Kontrolle der Schutzausrüstung auf Einhaltung von Prüfterminen und einer Kontrolle der technischen Zulassung der Schutzausrüstung kombiniert werden. Die Idee, RFID im Bereich des Arbeits- Gesundheitsschutzes zu nutzen, eröffnet ein breites Anwendungsspektrum. Bis heute konnten sich RFID-Lösungen in einigen Bereichen etablieren und bestätigen die Einschätzung, dass die RFID-Technik ein großes Potenzial zur nachhaltigen Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes bietet und sich mittelfristig auch hier durchsetzen wird.

Wuppertal, im März 2010

Karl-Heinz Noetel  
Leiter Prävention, BG BAU

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Berufsgenossenschaftliche Relevanz und eigene Vorarbeiten</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Zielstellung</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Radio Frequency Identification</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Auto-ID-Systeme</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Technik und Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 Transponder, Tag oder Smart-Label .....	7
2.2.2 RFID-Reader .....	9
2.2.3 Datenverarbeitungssystem .....	10
<b>2.3 Allgemeine RFID-Anwendungen</b> .....	<b>10</b>
2.3.1 Personenidentifikation .....	11
2.3.2 Objektidentifikation .....	13
<b>2.4 RFID-Anwendungen für den Bereich der Arbeitssicherheit</b> .....	<b>16</b>
<b>3 Projektmodul 1 - „Grundlagen“</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1 Allgemeines</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2 Analyse von Unfallstatistiken und Gefährdungsbeurteilungen</b> .....	<b>27</b>
3.2.1 Grundlagen .....	27
3.2.2 Analyse betriebsinterner Unfallstatistiken .....	29
<b>3.3 Workshops</b> .....	<b>30</b>
3.3.1 Anwendungsbereiche in Zusammenhang mit dem Kontrollportal.....	30
3.3.2 Anwendungsbereiche in Zusammenhang mit der Maschinensteuerung .....	32
3.3.3 Sonstige Anwendungsbereiche .....	33
<b>3.4 Experten-Interviews</b> .....	<b>33</b>
3.4.1 Anwendungsbereiche in Zusammenhang mit dem Kontrollportal.....	33

3.4.2	Anwendungsbereiche in Zusammenhang mit der Maschinensteuerung .....	34
3.4.3	Sonstige Anwendungsbereiche .....	35
<b>3.5</b>	<b>Teilnehmer der Workshops und Experten-Interviews .....</b>	<b>35</b>
3.5.1	Teilnehmer aus dem Bereich der Berufsgenossenschaften und Institutionen .....	35
3.5.2	Teilnehmer aus den Unternehmen .....	36
<b>3.6</b>	<b>Patentrechtliche Untersuchung .....</b>	<b>36</b>
3.6.1	Allgemeines .....	36
3.6.2	Projektbezogene Einschätzung .....	36
3.6.3	Recherche .....	37
3.6.4	Einschätzung .....	39
<b>3.7</b>	<b>Pflichtenheft .....</b>	<b>40</b>
3.7.1	Überblick .....	40
3.7.1.1	<i>Aufgaben</i> .....	40
3.7.1.2	<i>Funktionsbeschreibung</i> .....	41
3.7.1.3	<i>Schematischer Aufbau des Systems</i> .....	41
3.7.2	Softwaremodule .....	42
3.7.2.1	<i>Das Modul Lesersteuerung</i> .....	42
3.7.2.1.1	<i>Kommunikation</i> .....	42
3.7.2.1.2	<i>Parametrierung</i> .....	42
3.7.2.1.3	<i>Antennensteuerung</i> .....	42
3.7.2.1.4	<i>Ereignisdatenverarbeitung</i> .....	42
3.7.2.2	<i>Das Modul Auswertung</i> .....	43
3.7.2.2.1	<i>Tagzuordnung</i> .....	43
3.7.2.2.2	<i>Schutzprofil</i> .....	43
3.7.2.2.3	<i>Vollständigkeitsprüfung</i> .....	43
3.7.2.2.4	<i>Ausgabe</i> .....	43
3.7.2.3	<i>Das Modul Signalisierung</i> .....	43
3.7.2.4	<i>Das Datenbankmodul</i> .....	44
3.7.2.4.1	<i>Schutzgegenstand-Tabelle</i> .....	44
3.7.2.4.2	<i>Tag-Tabelle</i> .....	44
3.7.2.4.3	<i>Schutzprofil-Tabelle</i> .....	45
3.7.2.4.4	<i>Personen-Tabelle</i> .....	45
3.7.2.4.5	<i>Ereignisdaten-Tabelle</i> .....	45
3.7.3	Feinspezifikation .....	45
<b>3.8</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>45</b>

3.8.1	Zusammenfassung .....	45
3.8.2	Ausblick .....	46
3.8.2.1	<i>Technische Entwicklung</i> .....	47
3.8.2.2	<i>Analyse von RFID-Anwendungen in der Maschinensteuerung</i> .....	48
<b>4</b>	<b>Projektmodul 2 - „Anwendungsorientierte Entwicklung“ .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Zielstellung.....</b>	<b>51</b>
4.1.1	Entwicklung des Portals zur automatischen Kontrolle der PSA .....	52
4.1.2	Analyse von RFID-Anwendungen in der Maschinensteuerung .....	53
<b>4.2</b>	<b>Organisatorische Konzeption.....</b>	<b>53</b>
<b>4.3</b>	<b>Datenverarbeitung .....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Funktionsbeschreibung .....	56
4.3.2	Schematischer Aufbau des Datenverarbeitungssystems.....	56
4.3.3	Der Leseradapter.....	58
4.3.3.1	<i>Schematischer Aufbau des Leseradapters</i> .....	59
4.3.3.2	<i>Inhaltlicher Aufbau des Leseradapters</i> .....	60
4.3.3.2.1	<i>PLI: Physical Layer Interface:</i> .....	60
4.3.3.2.2	<i>RPI: Reader Protocol Interface</i> .....	60
4.3.3.2.3	<i>MAL: Manufacturer Abstraction Layer</i> .....	61
4.3.4	Das Applikationsinterface CAI: Common Application Interface .....	62
4.3.5	Applikationen und Softwaremodule.....	64
4.3.5.1	<i>Die Lesersteuerung: Registerblatt „Leser“</i> .....	65
4.3.5.1.1	<i>Feld „Lesertyp“, Modul 1 / Reader</i> .....	66
4.3.5.1.2	<i>Felder zum Netzwerk-Interface, Modul 10 / IPCom</i> .....	66
4.3.5.1.3	<i>Feld „Leser-Info“, Modul 12 / ReaderInfo:</i> .....	68
4.3.5.1.4	<i>Feld „Leistungseinstellung“, Modul 4 / Power1:</i> .....	68
4.3.5.1.5	<i>Feld „Frequenz“, Modul 3 / Param1</i> .....	69
4.3.5.1.6	<i>Feld „Antennenmultiplexer“, Modul 5 / AntMux:</i> .....	69
4.3.5.1.7	<i>Großes unteres Listenfeld, Modul 8 / Syslog</i> .....	70
4.3.5.2	<i>Die PSA-Applikation: Registerblatt „Starten“</i> .....	70
4.3.5.2.1	<i>Feld „Betriebsart“, Modul 2 / Mode:</i> .....	71
4.3.5.2.2	<i>Feld „Sound“, Modul 6 / Sound</i> .....	72
4.3.5.2.3	<i>Feld „Integrationszeit“, Modul 3 / Param1</i> .....	73
4.3.5.2.4	<i>Feld „Standby“, Modul 3 / Param1</i> .....	74
4.3.5.2.5	<i>Felder zur PSA-Kontrollinformation, Modul 25 / PSAList</i> .....	75
4.3.5.3	<i>Registerblatt „Info / Hilfe“, Modul 26 / PSAInfo</i> .....	77

4.3.5.4	<i>Die Signalsteuerung</i> .....	78
4.3.5.4.1	<i>Signalisierung am Touch-Screen, Modul 22 / PSATouch</i> .....	78
4.3.5.4.2	<i>Signalisierung an der Leuchtfläche, Modul 26 / PSASignal</i> .....	82
4.3.5.5	<i>Hilfsprogramm zum Beschreiben von RFID-(UHF)-Transpondern</i> .....	83
4.3.6	<i>Der PSA-Datenbankserver</i> .....	84
4.3.6.1	<i>PSA-Profilverwaltung</i> .....	85
4.3.6.1.1	<i>PSA-Profil anlegen</i> .....	86
4.3.6.1.2	<i>PSA-Profil bearbeiten</i> .....	87
4.3.6.2	<i>Personalverwaltung</i> .....	87
4.3.6.2.1	<i>Mitarbeiter-Profil anlegen</i> .....	88
4.3.6.2.2	<i>Mitarbeiter-Profil verwalten</i> .....	89
4.3.6.3	<i>Reportfunktion</i> .....	90
<b>4.4</b>	<b>Grundlagen des Elektromagnetismus</b> .....	<b>91</b>
4.4.1	<i>Ausbreitung elektromagnetischer Wellen</i> .....	91
4.4.2	<i>Leistungsangaben</i> .....	94
4.4.3	<i>Strahlungsdichte</i> .....	95
4.4.4	<i>Die RFID-(UHF)-Luftschnittstelle</i> .....	95
4.4.5	<i>Das Backscatter-Prinzip</i> .....	96
4.4.6	<i>Antikollisionsverfahren</i> .....	98
<b>4.5</b>	<b>Technische Voruntersuchungen</b> .....	<b>99</b>
4.5.1	<i>Frequenzbereiche</i> .....	100
4.5.2	<i>Hardware-Komponenten</i> .....	102
4.5.2.1	<i>RFID-(UHF)-Lesegerät</i> .....	103
4.5.2.1.1	<i>Hardware-Vorauswahl</i> .....	106
4.5.2.1.2	<i>Voruntersuchungen</i> .....	108
4.5.2.1.3	<i>Hardware-Auswahl</i> .....	108
4.5.2.2	<i>RFID-(UHF)-Leser-Antennen</i> .....	109
4.5.2.2.1	<i>Hardware-Vorauswahl</i> .....	109
4.5.2.2.2	<i>Voruntersuchungen</i> .....	112
4.5.2.2.3	<i>Hardware-Auswahl</i> .....	115
4.5.2.2.4	<i>RFID-(UHF)-Transponder</i> .....	116
4.5.2.2.5	<i>Hardware-Vorauswahl</i> .....	125
4.5.2.2.6	<i>Voruntersuchungen</i> .....	132
4.5.2.2.7	<i>Hardware-Auswahl</i> .....	144
<b>4.6</b>	<b>Untersuchungen zur anwendungsorientierten Entwicklung</b> .....	<b>146</b>
4.6.1	<i>Systemaufbau</i> .....	146

---

4.6.1.1	<i>Technische Komponenten</i> .....	146
4.6.1.2	<i>Entwicklung des Demonstrators</i> .....	147
4.6.1.3	<i>Kosten der Umsetzung</i> .....	151
4.6.2	<i>Untersuchungen am Systemaufbau</i> .....	151
4.6.2.1	<i>Leistungsstärke der Antennenstrahlung</i> .....	151
4.6.2.1.1	<i>Kabeldämpfung</i> .....	152
4.6.2.1.2	<i>Antennengewinn</i> .....	154
4.6.2.1.3	<i>Resultierende Leistungsstärke</i> .....	155
4.6.2.2	<i>Reichweite der Antennenstrahlung</i> .....	156
4.6.2.3	<i>Feldbeeinflussung durch Reflexion und Absorption</i> .....	159
4.6.3	<i>Laborversuche zur persönlichen Schutzausrüstung</i> .....	162
4.6.3.1	<i>Mitarbeiterausweise</i> .....	163
4.6.3.2	<i>Sicherheitsschuhe</i> .....	164
4.6.3.3	<i>Industrieschutzhelme</i> .....	170
4.6.3.4	<i>Augenschutz</i> .....	171
4.6.3.5	<i>Absturzsicherung</i> .....	172
4.6.3.6	<i>Kapsel-Gehörschutz</i> .....	173
4.6.3.7	<i>Sicherheitshandschuhe</i> .....	174
4.6.4	<i>Laborversuche zur Abstimmung von PSA und Demonstrator</i> .....	176
<b>4.7</b>	<b><i>Vorbereitung der Praxistests</i></b> .....	<b>178</b>
4.7.1	<i>InHaus2-Baustelle</i> .....	178
4.7.1.1	<i>Entwicklung der erforderlichen PSA-Profile</i> .....	179
4.7.1.2	<i>Kennzeichnung der Transponder zur Identifikation der PSA</i> .....	180
4.7.1.3	<i>Anbindung des RFID-Portals an eine Zutrittskontrolle</i> .....	181
4.7.2	<i>Ford Werke GmbH</i> .....	183
4.7.3	<i>Weitere Praxistests</i> .....	185
4.7.3.1	<i>Westfälischer Zoologischen Garten Münster GmbH (Allwetterzoo)</i> .....	185
4.7.3.2	<i>Stockmeyer GmbH &amp; Co. KG Westfälische Fleischwarenfabrik</i> .....	186
<b>4.8</b>	<b><i>Standardisierung und Normung</i></b> .....	<b>186</b>
4.8.1	<i>Standardisierung und Normung bei PSA</i> .....	186
4.8.2	<i>Klassifizierungs- und Ordnungsnummernsysteme</i> .....	188
4.8.2.1	<i>United Nations Standard Products and Services Code UNSPSC</i> .....	189
4.8.2.2	<i>Standardwarenklassifikation</i> .....	191
4.8.2.3	<i>Global Product Classification GPC</i> .....	192
4.8.2.4	<i>eCl@ss</i> .....	196
4.8.2.5	<i>proficl@ss</i> .....	201
4.8.3	<i>Vorhandene Normen und Standards für die RFID-Technologie</i> .....	206

4.8.3.1	<i>Aufgaben und Entwicklung von GS1</i> .....	206
4.8.3.2	<i>Standards nach EPCglobal</i> .....	212
4.8.3.2.1	<i>Physische Standards: Der Electronic Product Code (EPC)</i> .....	214
4.8.3.2.2	<i>Infrastruktur-Standards</i> .....	215
4.8.3.2.3	<i>Standards für den Datenaustausch</i> .....	215
4.8.4	<i>Handlungskonzept</i> .....	217
<b>4.9</b>	<b>Rechtliche Betrachtung</b> .....	<b>218</b>
4.9.1	<i>Datenschutz</i> .....	218
4.9.2	<i>Arbeitsrechtliche Rahmenbedingungen</i> .....	219
<b>4.10</b>	<b>Analyse von RFID-Anwendungen in der Maschinensicherheit</b> .....	<b>220</b>
4.10.1	<i>Ausgangssituation</i> .....	220
4.10.2	<i>Workshop „RFID in der Maschinensicherheit“</i> .....	221
<b>4.11</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>222</b>
4.11.1	<i>Ausblick</i> .....	223
4.11.2	<i>Zusatznutzen</i> .....	224
4.11.2.1	<i>Zugangskontrolle</i> .....	224
4.11.2.2	<i>Zeiterfassung</i> .....	225
4.11.2.3	<i>Diebstahlschutz</i> .....	225
4.11.3	<i>Kritische Betrachtung</i> .....	226
<b>5</b>	<b>Projektmodul 3 - „Praxistests und Dokumentation“</b> .....	<b>229</b>
<b>5.1</b>	<b>Zielstellung</b> .....	<b>229</b>
<b>5.2</b>	<b>Praxistest Baustelle: InHaus2, Duisburg</b> .....	<b>230</b>
5.2.1	<i>Vorbereitung</i> .....	230
5.2.1.1	<i>Entwicklung der erforderlichen PSA-Profile</i> .....	230
5.2.1.2	<i>Kennzeichnung der Transponder zur Identifikation der PSA</i> .....	231
5.2.1.3	<i>Anbindung des RFID-(UHF)-Portals an ein Zutrittskontrollsystem</i> .....	232
5.2.2	<i>Umsetzung</i> .....	234
5.2.2.1	<i>Voruntersuchung</i> .....	235
5.2.2.2	<i>Mitwirkende Unternehmen</i> .....	236
5.2.3	<i>Ergebnis</i> .....	237
5.2.3.1	<i>Technische Umsetzung</i> .....	237
5.2.4	<i>Fazit</i> .....	243
<b>5.3</b>	<b>Praxistest Automobilindustrie: Ford Werke GmbH</b> .....	<b>243</b>

---

5.3.1	Vorbereitung .....	244
5.3.2	Umsetzung .....	245
5.3.2.1	<i>Transponder-Wahl</i> .....	245
5.3.2.2	<i>Leserwahl</i> .....	246
5.3.2.3	<i>Dokumentation</i> .....	247
5.3.3	Ergebnis .....	248
5.3.4	Fazit.....	248
<b>5.4</b>	<b>Praxistest Fleischverarbeitende Industrie: Stockmeyer GmbH .....</b>	<b>248</b>
5.4.1	Vorbereitung .....	249
5.4.1.1	<i>Gehörschutz</i> .....	249
5.4.1.2	<i>Kettenhandschuh</i> .....	250
5.4.1.3	<i>Schutzschuhe</i> .....	251
5.4.1.4	<i>Datenschutz</i> .....	251
5.4.2	Umsetzung .....	251
5.4.3	Ergebnis .....	251
<b>5.5</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>252</b>
5.5.1	Zusammenfassung .....	252
5.5.2	Normung.....	254
5.5.3	Ausblick .....	254
<b>6</b>	<b>Ansprechpartner .....</b>	<b>257</b>
<b>7</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>258</b>
<b>7.1</b>	<b>Projektmodul 1.....</b>	<b>258</b>
<b>7.2</b>	<b>Projektmodul 2.....</b>	<b>259</b>
7.2.1	Literatur .....	259
7.2.2	Quellen .....	261
<b>7.3</b>	<b>Projektmodul 3.....</b>	<b>263</b>
<b>8</b>	<b>Anlagenverzeichnis.....</b>	<b>264</b>
<b>8.1</b>	<b>Anlage 1: Übersicht der RFID-(UHF)-Lesegeräte .....</b>	<b>264</b>
<b>8.2</b>	<b>Anlage 2: Übersicht der RFID-(UHF)-Leser-Antennen .....</b>	<b>265</b>

---

<b>8.3</b>	<b>Anlage 3: Übersicht der RFID-(UHF)-Transponder .....</b>	<b>267</b>
<b>8.4</b>	<b>Anlage 4: Richtcharakteristik der RFID-(UHF)-Leser-Antenne .....</b>	<b>272</b>
<b>8.5</b>	<b>Anlage 5: Referenztransponder, Y-Achse .....</b>	<b>275</b>
<b>8.6</b>	<b>Anlage 6: Referenztransponder, Z-Achse .....</b>	<b>276</b>
<b>8.7</b>	<b>Anlage 7: Transponder-Vergleichsmessungen .....</b>	<b>279</b>
<b>8.8</b>	<b>Anlage 8: Untergrundeinfluss .....</b>	<b>304</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	RFID-Portal in der Vorstudie.....	2
Abb. 1-2:	Schematische Darstellung eines RFID-Portals.....	3
Abb. 2-1:	Elemente eines RFID-Systems.....	5
Abb. 2-2:	Auswahl von Auto-ID-Systemen.....	6
Abb. 2-3:	Leistungsmerkmale von RFID.....	7
Abb. 2-4:	Verschiedene Bauformen von Transpondern.....	8
Abb. 2-5:	RFID-Tags mit Dipolantennen.....	8
Abb. 2-6:	RFID-Frequenzen im Überblick.....	9
Abb. 2-7:	RFID-Lesegeräte der Metro Future Store Initiative.....	10
Abb. 2-8:	Exemplarische Übersicht von RFID-Anwendungen.....	11
Abb. 2-9:	Vereinzelungsanlage von Skidata.....	12
Abb. 2-10:	Transponder für Schnürsenkel.....	13
Abb. 2-11:	Lieferkette von Warenhäusern.....	14
Abb. 2-12:	Prozesse einer Bibliothek.....	15
Abb. 2-13:	Laundry-Reader der Fa. Brooks.....	16
Abb. 2-14:	Transponder-Technologie bei Kali und Salz.....	17
Abb. 2-15:	Schlüsselschalter mit RFID-Technologie.....	18
Abb. 2-16:	Türmeldesystem via RFID.....	20
Abb. 2-17:	Sicherheitsschalter SIDENT.....	21
Abb. 2-18:	Elektronisches Produktverwaltungs- und -identifikationssystem EPIS.....	22
Abb. 2-19:	Zugangskontroll-, Allokations- und Evakuierungssystem „Watcher“.....	23
Abb. 2-20:	Gefahrgutüberwachung und Rückverfolgung durch RFID.....	26
Abb. 3-1:	Meldepflichtige Arbeitsunfälle je 1.000 Vollarbeiter 2004.....	28
Abb. 3-2:	Modulares System körpernah getragener elektronischen Baugruppen.....	37
Abb. 3-3:	Schematische Darstellung des Zugangskontrollportals gemäß US-Patent.....	38
Abb. 3-4:	Datenerfassung und -verarbeitung mit RFID.....	41
Abb. 3-5:	Projektmodule.....	47
Abb. 4-1:	Projektmodule.....	51
Abb. 4-2:	Konzept zum RFID-Portal zur Kontrolle der PSA auf Vollständigkeit.....	54
Abb. 4-3:	Konzept der möglichen Portalmeldungen.....	55
Abb. 4-4:	Architektur des gesamten Datenverarbeitungssystems.....	57
Abb. 4-5:	OSI-7-Schichten-Schema.....	58
Abb. 4-6:	Architektur des Leseradapters.....	59
Abb. 4-7:	Screenshot „PSA-Software“, exemplarische Darstellung der Steuerungsoberfläche.....	65
Abb. 4-8:	Screenshot „PSA-Software“, Feld „Lesertyp“.....	66
Abb. 4-9:	Screenshot „PSA-Software“, Felder zum Netzwerk-Interface.....	67
Abb. 4-10:	Screenshot „PSA-Software“, Felder zur Leistungseinstellung.....	68
Abb. 4-11:	Screenshot „PSA-Software“, Feld „Frequenz“.....	69
Abb. 4-12:	Screenshot „PSA-Software“, Feld „Antennenmultiplexer“.....	70
Abb. 4-13:	Screenshot „PSA-Software“, Registerblatt „Starten“.....	71
Abb. 4-14:	Screenshot „PSA-Software“, Feld „Betriebsart“.....	72
Abb. 4-15:	Screenshot „PSA-Software“, Feld „Betriebsart“.....	73
Abb. 4-16:	Screenshot „PSA-Software“, Feld „Betriebsart“.....	74
Abb. 4-17:	Screenshot „PSA-Software“, Feld „Betriebsart“.....	75
Abb. 4-18:	Screenshot „PSA-Software“, Felder zur PSA-Kontrollinformation.....	76
Abb. 4-19:	Screenshot „PSA-Software“, Registerblatt „Info/Hilfe“.....	77
Abb. 4-20:	Screenshot Touch-Screen „PSA-Software“, Begrüßungs-Bildschirm.....	79
Abb. 4-21:	Screenshot Touch-Screen „PSA-Software“, Erkennungsvorgang Zustand 1.....	80

Abb. 4-22: Screenshot Touch-Screen „PSA-Software“, Erkennungsvorgang Zustand 2 .....	81
Abb. 4-23: Screenshot Touch-Screen „PSA-Software“, abgeschlossener Erkennungsvorgang .....	82
Abb. 4-24: Screenshot „PSA-Software“, Modul zum Beschreiben von RFID-(UHF)-Transpondern .....	83
Abb. 4-25: Screenshot „PSA-Datenbankserver“, Begrüßungs-Bildschirm .....	85
Abb. 4-26: Screenshot „PSA-Datenbankserver“, Seite „PSA-Profilverwaltung“ .....	86
Abb. 4-27: Screenshot „PSA-Datenbankserver“, Seite „PSA-Profil bearbeiten“ .....	87
Abb. 4-28: Screenshot „PSA-Datenbankserver“, Seite „Personalverwaltung“ .....	88
Abb. 4-29: Screenshot „PSA-Datenbankserver“, Seite „Mitarbeiter-Profil bearbeiten“ .....	89
Abb. 4-30: Screenshot „PSA-Datenbankserver“, Seite „Report“ .....	91
Abb. 4-31: Elektromagnetische Welle an einem Dipol .....	92
Abb. 4-32: Ermittlung von Nah- und Fernfeld einer Richtantenne .....	94
Abb. 4-33: Systematische Darstellung der Luftschnittstelle .....	96
Abb. 4-34: Darstellung der Leistungsübertragung zwischen Leser- und Transponder-Antenne .....	97
Abb. 4-35: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablauf beim ALOHA-Verfahren .....	98
Abb. 4-36: Binärer Suchbaum .....	99
Abb. 4-37: Grundgedanke eines RFID-Systems .....	103
Abb. 4-38: Blockschaltbild der Steuerung eines Lesegerätes .....	105
Abb. 4-39: Lesegerät von Deister Electronic GmbH mit integrierter Antenne .....	105
Abb. 4-40: Stationäres UHF-Lesegerät OBID ID ISC.LRU2000 der Firma Feig Electronic GmbH .....	106
Abb. 4-41: Skizze UHF-Portal von Deister Electronic GmbH .....	106
Abb. 4-42: Typischer zweidimensionaler Richtkegel einer zirkularen RFID-(UHF)-Leser-Antenne .....	109
Abb. 4-43: Typischer dreidimensionaler Richtkegel einer zirkularen RFID-(UHF)-Leser-Antenne .....	109
Abb. 4-44: Versuchsaufbau zum Antennenvergleich durch lagenabhängiges Reichweitenverhalten .....	113
Abb. 4-45: Untersuchungsergebnisse mit dem Transponder RAFSEC Dogbone von UPM Raflatac .....	113
Abb. 4-46: Untersuchungsergebnisse mit dem Transponder AVERY DENNISON AD-420/AD-421 .....	114
Abb. 4-47: Untersuchungsergebnisse mit dem Transponder TEXAS INSTRUMENTS .....	115
Abb. 4-48: Horizontale Strahlungscharakteristik der ausgewählten RFID-(UHF)-Leser-Antenne .....	116
Abb. 4-49: Vertikale Strahlungscharakteristik der ausgewählten RFID-(UHF)-Leser-Antenne .....	116
Abb. 4-50: Aufbau eines RFID-(UHF)-Transponders .....	117
Abb. 4-51: Bauformen von Dipolantennen .....	120
Abb. 4-52: Sonderbauformen: Tripol-Antenne, Doppeldipol-Antenne .....	122
Abb. 4-53: Sonderbauform: Schlitz-Antenne .....	122
Abb. 4-54: Sonderbauform: Patch-Antenne .....	123
Abb. 4-55: Sonderbauform: Streifenleiter-Antenne .....	123
Abb. 4-56: Transponder für Metall .....	124
Abb. 4-57: a) lineare Polarisation, b) zirkulare Polarisation .....	133
Abb. 4-58: Darstellung einer zirkular polarisierten Antenne und mögliche Positionierungen der Transponder .....	133
Abb. 4-59: Prinzipielle Messbedingungen .....	134
Abb. 4-60: Versuchsaufbau Messung 1 .....	135
Abb. 4-61: Achsendefinition .....	136

Abb. 4-62: Versuchsaufbau Messung 2.1 .....	136
Abb. 4-63: Versuchsaufbau Messung 2.2 .....	137
Abb. 4-64: Versuchsaufbau Messung 2.3 .....	138
Abb. 4-65: Erfassungswinkel der Transponder bei $P_{ERP}$ von 1 W (Entfernung 1,5 m) .....	139
Abb. 4-66: Minimale Ausgangsleistung $P_{ERP}$ zur Erkennung des Transponders (Entfernung 1,5 m) .....	140
Abb. 4-67: Versuchsaufbau Messung 5 .....	141
Abb. 4-68: Versuchsaufbau Messung 6 .....	142
Abb. 4-69: Versuchsaufbau Messung 7 .....	143
Abb. 4-70: RFID-Tag .....	143
Abb. 4-71: Richtmöglichkeit durch Reflexion mit Aluminiumfolie .....	144
Abb. 4-72: Spezifizierter Systemaufbau .....	146
Abb. 4-73: Ansicht Demonstrator, Version 1.0 .....	147
Abb. 4-74: Querschnitt Demonstrator, Version 1.0 .....	148
Abb. 4-75: Grundriss Demonstrator, Version 1.0 .....	148
Abb. 4-76: Fotos Demonstrator, Version 1.0 .....	149
Abb. 4-77: Fotos der Zustände des Diodenfeldes, Version 1.0 .....	149
Abb. 4-78: Verdrahtung des Optokoppler-Ausgangsverstärkers der LED-Steuerung .....	150
Abb. 4-79: Verdrahtung der Leuchtflecken-Steuerung .....	150
Abb. 4-80: Foto zur Messung der Kabeldämpfung .....	152
Abb. 4-81: Schematische Darstellung der Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes mit $P_{ERP} = 2,0$ W .....	158
Abb. 4-82: Schematische Darstellung der Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes mit $P_{ERP} = 0,1$ W .....	159
Abb. 4-83: Reflexion und Transmission von elektromagnetischen Wellen an Grenzflächen .....	160
Abb. 4-84: Darstellung der Feldausbreitung bei Reflexion bzw. bei Absorption .....	160
Abb. 4-85: Demonstrator, Version 1.0, mit Aluminiumfolie .....	162
Abb. 4-86: Schematische Darstellung der Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes mit $P_{ERP} = 0,1$ W und Einschränkung bzw. Ausrichtung mit Aluminiumfolie .....	162
Abb. 4-87: Mitarbeiter-Ausweis mit RFID-(UHF)-Transponder „Impinj Jumping Jack“, RSI ID Technologies .....	164
Abb. 4-88: RFID-(UHF)-Transponder unter der Einlegesohle eines Sicherheitsschuhs .....	164
Abb. 4-89: Erkennungsvorgang mit bzw. ohne Fuß im Schuh .....	165
Abb. 4-90: Längsschnitt eines Sicherheitsschuhs mit Stahlsohle einschließlich der verschiedenen Positionierungen des RFID-(UHF)-Transponders .....	166
Abb. 4-91: RFID-(UHF)-Transponder in der stabilisierenden Hinterkappe .....	167
Abb. 4-92: RFID-(UHF)-Transponder in der Schuh-Zunge .....	167
Abb. 4-93: RFID-(UHF)-Transponder auf der Zehenschutzkappe .....	168
Abb. 4-94: RFID-(UHF)-Transponder unter der Brandsohle .....	168
Abb. 4-95: RFID-(UHF)-Transponder unter der Stahlsohle .....	169
Abb. 4-96: RFID-(UHF)-Transponder für Metall im Sicherheitsschuh .....	169
Abb. 4-97: RFID-(UHF)-Transponder auf dem Industrieschutzhelm .....	171
Abb. 4-98: RFID-(UHF)-Transponder auf Augenschutzbrille .....	172
Abb. 4-99: RFID-(UHF)-Transponder auf der Absturzsicherung .....	173
Abb. 4-100: RFID-(UHF)-Transponder auf Kapsel-Gehörschutz .....	174
Abb. 4-101: RFID-(HF)-Transponder der Fa. Brooks Automation Inc. (Durchmesser 16 mm) .....	175
Abb. 4-102: RFID-(UHF)-Transponder für Sicherheitshandschuhe .....	175
Abb. 4-103: Entwicklung und Optimierung des PSA-Kontrollsystems „Planen, Ausführen, Prüfen, Anpassen“ .....	176
Abb. 4-104: Ausrichtung der RFID-(UHF)-Leser-Antennen im Demonstrator .....	177

Abb. 4-105: Visualisierung der InHaus2-Forschungsanlage .....	178
Abb. 4-106: Individuelle Kennzeichnung der Transponder zur Identifikation der PSA .....	180
Abb. 4-107: InSite-Container der Streif Baulogistik GmbH .....	181
Abb. 4-108: Anbindung des RFID-Portals an eine Zutrittskontrolle .....	181
Abb. 4-109: Ablauf der Erkennungsvorgänge bei modularer Konzeption .....	182
Abb. 4-110: RFID-(UHF)-Tisch-Lese-/Schreibgerät UDL50 der Fa. Deister Electronic GmbH mit integrierter Leser-Antenne .....	184
Abb. 4-111: RFID-(LF)-Transponder zur Tieridentifikation .....	185
Abb. 4-112: Kennzeichnung der Transponder zur Identifikation der PSA auf Basis des UNSPSC .....	187
Abb. 4-113: Kennzeichnung der Transponder zur Identifikation der PSA gemäß EPC .....	188
Abb. 4-114: Startseite „Search the code“ zur manuellen Suche nach ID-Codes im UNSPSC-System .....	190
Abb. 4-115: Ergebnisse der Suche nach dem Begriff „safety helmet“ im UNSPSC-System .....	191
Abb. 4-116: Spektrum der GPC-Klassen .....	193
Abb. 4-117: Struktur des GPC unter Einbindung des UNSPSC .....	194
Abb. 4-118: Ergebnisse der Suche nach dem Begriff „safety helmet“ im GPC-System .....	195
Abb. 4-119: Ergebnisse der Suche nach dem Begriff „Type of helmet“ im GPC-System, Brick-Attribute-Type-Ebene .....	195
Abb. 4-120: Ergebnisse der Suche nach dem Begriff „Type of helmet“ im GPC-System, Brick-Attribute-Value-Ebene .....	196
Abb. 4-121: Suche in eCI@ss: Auswahl des Sachgebietes .....	199
Abb. 4-122: Suche in eCI@ss: Auswahl der Hauptgruppe .....	200
Abb. 4-123: in eCI@ss: Auswahl der Gruppe .....	200
Abb. 4-124: Suche in eCI@ss: Auswahl der Untergruppe .....	201
Abb. 4-125: Suche in eCI@ss: Ansicht der Standardmerkmalleiste Bohrer .....	201
Abb. 4-126: proficl@ss: Startseite des Klassenbrowsers .....	203
Abb. 4-127: proficl@ss: Unterklasse „Arbeitssicherheit, Unfallschutz“, ID AAA446h001 .....	203
Abb. 4-128: proficl@ss: Unterklasse „Arbeitsbekleidung“, ID AAA450h002 .....	204
Abb. 4-129: proficl@ss: Unterklasse „Kopfschutz“, ID AAB775h001 .....	204
Abb. 4-130: proficl@ss: Merkmale der Unterklasse „Schutzhelm“, ID AAB801c002, Muss-Felder, Datentyp, Schlagworte .....	205
Abb. 4-131: proficl@ss: mögliche alphanumerische Merkmale „Norm“, ID: AAA702f001 .....	205
Abb. 4-132: Identifikationssysteme innerhalb des EAN-Standards und deren Abhängigkeit vom ILN .....	208
Abb. 4-133: Beispiel für ein EAN 128-Transportetikett .....	212
Abb. 4-134: Internationales Zusammenspiel in der AutoID-Normung .....	213
Abb. 4-135: 3-Phasen-Modell zur Entwicklung von RFID-Standards bei EPCglobal .....	213
Abb. 4-136: Der EPC als Schlüssel zu Datenbanken .....	216
Abb. 4-137: Der EPC als Schlüssel zu Datenbanken-Netzwerk („Internet der Dinge“) .....	216
Abb. 4-138: Tagesordnung zum Workshop am 18.09.2007 .....	222
Abb. 5-1: Visualisierung der InHaus2-Forschungsanlage .....	230
Abb. 5-2: Individuelle Kennzeichnung der Transponder zur Identifikation der PSA .....	232
Abb. 5-3: InSite-Container der Streif Baulogistik GmbH .....	234
Abb. 5-4: Positionierung RFID-(UHF)-Portal im InSite-Container .....	234
Abb. 5-5: Durchgang InSite-Container mit RFID-(UHF)-Portal .....	235
Abb. 5-6: Lage des Gesamtsystems auf dem Baustellengelände .....	235
Abb. 5-7: Funktionsweise des Gesamtsystems .....	236
Abb. 5-8: Ausgegebene Mitarbeiterausweise und PSA .....	237
Abb. 5-9: Integriertes Portal mit zwei Kniehebelsperren .....	238
Abb. 5-10: Umfrageergebnis zur Verständlichkeit des Gesamtsystems .....	240
Abb. 5-11: Umfrageergebnis zur Bedienbarkeit .....	241

---

Abb. 5-12: Umfrageergebnis zur Qualität der Kommunikation .....	241
Abb. 5-13: Umfrageergebnis zu Auswirkungen auf die Tragehäufigkeit von PSA .....	242
Abb. 5-14: Umfrageergebnis zur Akzeptanz .....	242
Abb. 5-15: Versuchsaufbau des Praxistests bei Ford Werke GmbH .....	244
Abb. 5-16: <i>Textag</i> der Firma Deister Electronic GmbH .....	245
Abb. 5-17: Schutzhandschuhe (Firma Ansell), aufgenähter Textag (Deister Electronics GmbH) .....	246
Abb. 5-18: RFID-(UHF)-Tisch-Lese-/Schreibgerät UDL50 (Deister Electronics GmbH) .....	246
Abb. 5-19: Handschuhausgabe in der Produktionshalle, Arbeitsplatz mit PC und Lesegerät .....	247
Abb. 5-20: Namensschild für Gehörschutz mit Transponder ausgestattet .....	250
Abb. 5-21: Versuche mit verschiedenen Transpondern auf Kettenhandschuh .....	250
Abb. 5-22: Hygieneschleuse .....	251

## Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1:	Modulübersicht .....	63
Tab. 4-2:	PSA-Klassifizierung und Transponder-IDs .....	77
Tab. 4-3:	Zulässige Sendeleistungen $P_{ERP}$ .....	95
Tab. 4-4:	RFID-Frequenzen im Überblick .....	100
Tab. 4-5:	Einsatz von RFID in der Personallogistik nach Frequenzbereichen .....	101
Tab. 4-6:	Schätzungen für die Entwicklung der passiven RFID-Technologie .....	102
Tab. 4-7:	Ausgewählte RFID-(UHF)-Lesegeräte .....	107
Tab. 4-8:	Technische Eigenschaften der ausgewählten RFID-(UHF)-Lesegeräte .....	108
Tab. 4-9:	Ausgewählte RFID-(UHF)-Leser-Antennen .....	110
Tab. 4-10:	Technische Eigenschaften der ausgewählten RFID-(UHF)-Leser-Antennen .....	111
Tab. 4-11:	Ausgewählte RFID-(UHF)-Leser-Antennen zum Antennenvergleich .....	112
Tab. 4-12:	Technische Eigenschaften der ausgewählten RFID-(UHF)-Leser-Antenne .....	115
Tab. 4-13:	Ausgewählte RFID-(UHF)-Transponder .....	131
Tab. 4-14:	Ausgewählte Sonderbauformen für RFID-(UHF)-Transponder .....	132
Tab. 4-15:	Wesentliche Ergebnisse für die untersuchten RFID-(UHF)-Transponder .....	139
Tab. 4-16:	Ermittlung des statistischen Fehlers der Messungen .....	140
Tab. 4-17:	Absorptionsverhalten unterschiedlicher Materialien im elektromagnetischen Feld .....	142
Tab. 4-18:	Ungeeignete RFID-(UHF)-Transponder .....	145
Tab. 4-19:	Kosten der eingesetzten Komponenten .....	151
Tab. 4-20:	Messergebnisse zur Kabeldämpfung .....	153
Tab. 4-21:	Einfluss unterschiedlicher Polarisationen zwischen Antenne und Feld .....	154
Tab. 4-22:	Berechnung der im Lesegerät einzustellenden Leistung unter Berücksichtigung des Antennengewinns sowie der Dämpfung des Antennenkabels .....	155
Tab. 4-23:	Reichweitenermittlung unter Berücksichtigung der Sende-/Empfangsantenne .....	157
Tab. 4-24:	Reichweitenberechnung unter Berücksichtigung der Ansprechempfindlichkeit des Transponders .....	157
Tab. 4-25:	Reichweitenberechnung unter Berücksichtigung der Ansprechempfindlichkeit des Transponders .....	158
Tab. 4-26:	Einfluss verschiedener Materialien auf RFID-(UHF)-Felder .....	161
Tab. 4-27:	Auswahl der RFID-(UHF)-Transponder für Mitarbeiter-Ausweise .....	163
Tab. 4-28:	Auswahl der RFID-(UHF)-Transponder für Sicherheitsschuhe .....	165
Tab. 4-29:	Auswahl der RFID-(UHF)-Transponder für Industrieschutzhelme .....	170
Tab. 4-30:	Auswahl der RFID-(UHF)-Transponder für Augenschutzbrillen .....	171
Tab. 4-31:	Auswahl der RFID-(UHF)-Transponder für Absturzsicherung .....	173
Tab. 4-32:	Auswahl der RFID-(UHF)-Transponder für Kapsel-Gehörschutz .....	174
Tab. 4-33:	Bauspezifische PSA-Profile .....	179
Tab. 4-34:	Modulare Konzeption des RFID-(UHF)-Portals .....	182
Tab. 4-35:	eCl@ss-Klassifikationsdateien .....	197
Tab. 4-36:	procl@ss: Ordnungszahl .....	203
Tab. 4-37:	Auszug aus der Liste bisher verabschiedeter Datenbezeichner (DB) .....	211
Tab. 4-38:	Struktur und Beispiel des EPC Gen2 im 96 bit General-Identifizier- Format (GID) .....	214
Tab. 5-1:	Terminplan für das Modul 3 .....	229
Tab. 5-2:	PSA-Profile für den Baustellentest .....	231
Tab. 5-3:	Modulare Konzeption des RFID-(UHF)-Portals .....	233
Tab. 5-4:	Auswertung der Datenprotokolle .....	239
Tab. 5-5:	Auswertung der Fragebögen .....	240
Tab. 5-6:	Dokumentation der erfassten Events .....	247

## Abkürzungsverzeichnis

AIM	Verband für Automatische Identifikation, Datenerfassung und mobile Datenkommunikation
ALOHA-Verfahren	Verfahren zur Pulkerfassung bei RFID
API	Application Programm Interface
BBN	Bundeseinheitliche Betriebsnummer
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BetrVG	Betriebsverfassungsgesetz
BG Bau	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
BImSchV	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
CAI	Common Application Interface
CCG	Centrale für Coorganisation GmbH (heute: GS1)
CDMA	Code Division Multiple Access (Codemultiplexverfahren), Verfahren zur gleichzeitigen Übertragung von Daten auf einem gemeinsamen Frequenzbereich.
CE	Civil Engineering
dBm	Leistungspegel mit der Bezugsgröße 1 mW
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EAN	European Article Number
ECR	Efficient Consumer Response
EE	Electrical Engineering
EECC	European EPC Competence Center
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
EPC	Electronic Product Code
EPCIS	Electronic Product Code Information Server
ERP	Effective Radiated Power
FDMA	Frequenzmultiplexverfahren
GID	Global Information Distribution
GLN	Global Location Number
GPC	Global Product Classification
GS1	Global Standards One
GSM	Global System for Mobile Communications
GTIN	Global Trade Item Number
HF	Hochfrequenzbereich (von 3 MHz bis 30 MHz)
IIS	Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen
ILN	Internationale Lokationsnummer
IMS	Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme
ISDN/GSM	Integrated Services Digital Network
LF	Low Frequency (von 30 bis 300 kHz)
MAL	Manufacturer-Abstraction-Layer
NDWK	Normenausschusses Daten- und Warenverkehr in der Konsumgüterwirtschaft
NPS	Normenausschuss PSA
NVE	Nummer der Versandeinheit
ONS	Object Name Server
OSI	Open Systems Interconnection

---

PLI	Physical Layer Interface
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
RFID	Radio Frequency Identification
RPI	Reader Protocol Interface
SDMA	Raummultiplexverfahren
SMS	Short Message Service
SSCC	Serial Shipping Container Code
TCP/IP	Transmission Control Protocol
TDMA	Zeitmultiplexverfahren
UHF	Ultra-High-Frequency
UNSPSC	United Nations Standard Products and Services Code
USB	Universal Serial Bus
VDEB	Verband der EDV-Software- und Beratungsunternehmen e.V.
W-LAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Languag

# 1 Einleitung

Arbeitsunfälle verursachen persönliches Leid, und die gesundheitlichen Beeinträchtigungen der betroffenen Arbeitnehmer führen zu betriebs- und volkswirtschaftlichen Schäden. Das Interesse jedes Unternehmens, gesunde und leistungsfähige Mitarbeiter zu beschäftigen, leitet sich zum einen aus humanen und ethischen Gründen ab, aber auch die wirtschaftlichen Vorteile eines funktionierenden betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutzes tragen zur Steigerung der unternehmerischen Leistungsfähigkeit bei.

Maßnahmen, die zur Verhütung von Arbeitsunfällen und arbeitsbedingten Erkrankungen führen, tragen in Unternehmen zu einer Verringerung von Fehlzeiten, zur Einsparung von störungsbedingten Kosten sowie zur Verringerung der berufsgenossenschaftlichen Beitragszahlungen bei. Vor diesem Hintergrund werden die Einsatzmöglichkeiten der Radio Frequency Identification -Technologie von Vertretern der verschiedenen Berufsgenossenschaften, Unternehmen sowie Herstellern von persönlicher Schutzausrüstung als sinnvolle Ergänzung zu bestehenden Arbeitsschutzmaßnahmen beurteilt.

## 1.1 Berufsgenossenschaftliche Relevanz und eigene Vorarbeiten

Im Jahr 2003 ereigneten sich in der gewerblichen Wirtschaft 87.232 Unfälle mit Kopfverletzungen, bei denen Hirnschädel, Hirnsubstanz, Hirnnerven, Gesichtsschädel, Augen, Nase, Ohren und Mund verletzt wurden<sup>1</sup>. Berücksichtigt man, dass nach den Angaben der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft im Stahlmontagebau nur ca. 60 % der Mitarbeiter ihre vollständige PSA tragen und in der Bauwirtschaft sogar nur 30 % der Arbeitnehmer, so ergibt sich daraus die Fragestellung, wie viele Unfälle durch das Tragen von PSA vermieden worden wären. Einfache Maßnahmen wie das Tragen einer Schutzbrille und eines Schutzhelms hätten das persönliche Leid der betroffenen Personen eventuell verhindert, bzw. die Folgen des Unfalls wären weniger schwer gewesen.

Im Verbund mit der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft / Fachausschuss PSA, dem Lehr- und Forschungsgebiet „Baubetrieb und Bauwirtschaft“ der Bergischen Universität Wuppertal sowie der Firma Cichon + Stolberg in Köln ist 2005 die Vorstudie „Kontrollsystem des Tragens der persönlichen Schutzausrüstung“ durchgeführt worden.

Im Rahmen der Vorstudie wurden erste anwendungsorientierte Versuche mit der RFID-Technologie im Arbeits- und Gesundheitsschutz erfolgreich umgesetzt. Es wurde ein Versuchsportal aufgebaut, mit dem die Ausstattung einer Versuchsperson mit PSA auf Vollständigkeit unter Laborbedingungen kontrolliert werden konnte. Der Versuchsablauf gestaltete sich wie folgt:

*Eine Person mit markierter, vollständiger PSA geht durch ein Kontrollportal. Das RFID-System erkennt die Schutzausrüstung, und die Person kann passieren. Wird das Portal von jemand durchschritten, dessen PSA unvollständig ist, so wird von dem System ein Warnsignal ausgegeben, das auf die fehlende Schutzausrüstung hinweist.*

---

<sup>1</sup> Vgl. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.): Arbeitsunfallstatistik 2003, Druck Center Meckenheim (DCM), 2005, S. 63



**Abb. 1-1: RFID-Portal in der Vorstudie**

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieser Vorstudie sind die beteiligten Projektpartner übereinstimmend zu dem Ergebnis gekommen, dass die RFID-Technologie neue Möglichkeiten zur Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz bietet und darüber hinaus branchenübergreifend einsetzbar ist.

## 1.2 Zielstellung

Trotz insgesamt rückläufiger Unfallzahlen verdeutlichen die Jahresstatistiken der gewerblichen Berufsgenossenschaften und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)<sup>2</sup>, dass es weiterhin einen akuten Handlungsbedarf gibt, die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz zu verbessern. Neben der gesundheitlichen Beeinträchtigung für den betroffenen Arbeitnehmer führen Arbeitsunfälle auch zu beachtlichen betriebs- und volkswirtschaftlichen Schäden. Eine Verkürzung der durchschnittlichen Dauer der Arbeitsunfähigkeit nach einem Arbeitsunfall, um nur einen halben Tag, hätte eine Reduzierung von jährlichen Produktionsausfällen in Höhe von etwa 1,57 Mrd. Euro zur Folge.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel des Forschungsvorhabens, auf der Grundlage der RFID-Technologie Instrumente zu entwickeln, mit denen der Arbeits- und Gesundheitsschutz nachhaltig verbessert wird. Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden die Untersuchungen aufgrund der Ergebnisse des Projektmoduls „Grundlagen“ auf das folgende Anwendungsgebiet von RFID in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz fokussiert:

- automatische Kontrolle der PSA mittels eines RFID-Portals

Mit der automatischen Kontrolle der PSA wird sichergestellt, dass Personen, die Gefahrenbereiche betreten wollen, dies nur mit der erforderlichen PSA tun können. Optional kann diese Überprüfung der PSA z.B. mit einer Zugangskontrolle, der Kontrolle der Schutzausrüstung auf Einhaltung von Prüfterminen und der Kontrolle der technischen Zulassung der Schutzausrüstung gekoppelt werden. Die Überprüfung der PSA gewährleistet, dass die Personen innerhalb der Gefahrenbereiche mindestens einen RFID-Tag mit sich führen, der evtl. synergetisch für weitere Anwendungen genutzt werden kann.

---

<sup>2</sup> vgl. Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2005, 2006



**Abb. 1-2: Schematische Darstellung eines RFID-Portals**

Die Ergebnisse der Entwicklung des Kontrollportals der PSA können schnell und effizient auf weitere RFID-Anwendungen wie z.B. die Dokumentation von Waschvorgängen oder die Altersüberprüfung der PSA übertragen werden. Der technische Vorgang – die Identifikation von Objekten (z.B. die persönliche Schutzausrüstung) mit Hilfe von RFID – bleibt bei den meisten Anwendungsideen unverändert, lediglich die Systemreaktionen (z.B. Dokumentationsereignisse oder Warnhinweise) müssen entsprechend verändert werden. Im Idealfall können Transponder für eine Arbeitsschutzanwendung schon während der Produktion der PSA in die Schutzausrüstung integriert werden. Die Kennzeichnung ist dann für den PSA-Hersteller und den Handel im Bereich der Warenlogistik und Qualitätskontrolle verwertbar. Der Träger der markierten PSA profitiert von den geplanten RFID-Sicherheitseinrichtungen.

- Sicherheitssystem für Maschinen auf Basis von RFID

Hinsichtlich der Umsetzung maschinensteuernder RFID-Sicherheitssysteme ist ebenfalls die Personenausstattung mit Transpondern nutzbar. Ein RFID-gesteuertes Sicherheitssystem für Maschinen erlaubt zuverlässig eine Inbetriebnahme von Maschinen ausschließlich durch autorisierte und unterwiesene Personen, die über den „richtigen Schlüssel“ bzw. Transponder verfügen. Darüber hinaus können den autorisierten Mitarbeitern unterschiedliche Rechte zur Bedienung zugewiesen werden, sodass Befugnisse zur Maschinensteuerung im Betriebs-, Störungs- bzw. Wartungszustand der Anlage unterschieden werden können. Des Weiteren würde die Ausstattung von Anlagen und Geräten mit Transpondern eine lückenlose Dokumentation der Wartung und Instandhaltung gemäß Betriebsstättenverordnung garantieren. Schließlich sind die Möglichkeiten zur Überwachung von Gefahrenbereichen durch RFID vertiefend zu untersuchen.

## 2 Radio Frequency Identification

Radio Frequency Identification, kurz RFID, ist eine Technologie zur Identifizierung von Objekten. Das Grundprinzip von RFID basiert auf der kontaktlosen Datenerfassung und -übertragung per Funk. Verschiedene Objekte werden dabei mit Transpondern (so genannten Tags oder Smart-Labels) ausgestattet. Sobald ein oder mehrere mit einem Transponder ausgestattete Objekte ein Lesegerät passieren, können die auf dem Transponder anonymisiert gespeicherten Daten berührungslos sowohl gelesen als auch neu geschrieben werden. Neben dem Einsatz von RFID auf den Gebieten der Logistik und der Prozesssteuerung sind verschiedene Anwendungsmöglichkeiten in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz sehr Erfolg versprechend.

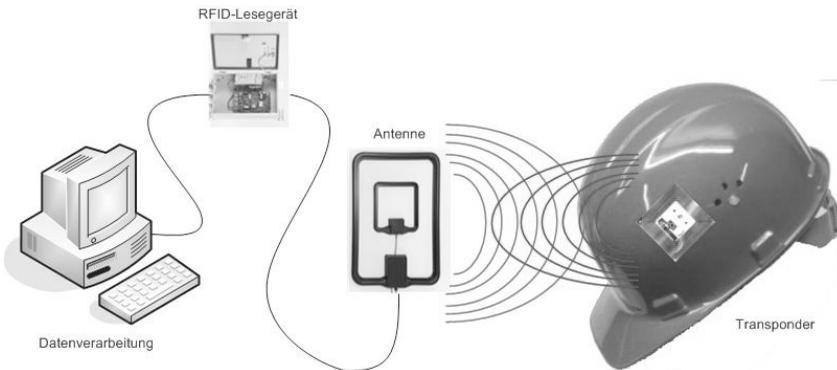


Abb. 2-1: Elemente eines RFID-Systems

Verschiedene Branchen der Wirtschaft setzen zur Optimierung von Produktions- und Logistikprozessen in die RFID-Technologie große Hoffnung. Im Folgenden ist detailliert dargelegt, wie sich Anwendungen der RFID-Technologie aus den Bereichen Logistik und Prozesssteuerung sowie aus dem Bereich der Arbeitssicherheit von den im Rahmen des durch den HVBG geförderten Forschungsprojektes „Sicherheitstechnik mit RFID“ avisierten Entwicklungen abgrenzen.

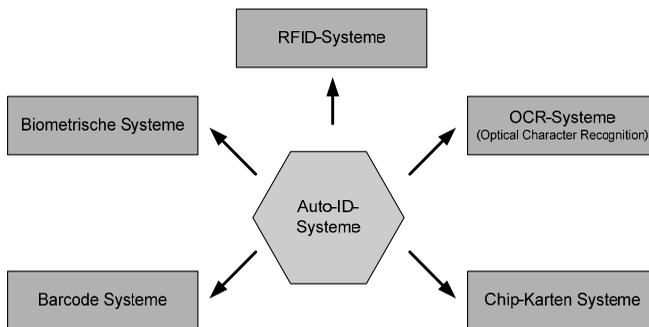
### 2.1 Auto-ID-Systeme

Die RFID-Technologie gehört wie die Barcode-, Biometrischen-, Chipkarten- oder Optical-Character-Recognitions-Systeme (OCR) zu den **Auto-ID-Systemen**, die zur **automatischen Identifikation** von Objekten, Tieren und Menschen eingesetzt werden können.

Die Barcodesysteme (Strichcode-Systeme) sind mittlerweile ein fester Bestandteil unseres Alltags und werden beispielsweise für die Identifikation von Lebensmitteln an der Supermarktkasse oder als Zahlschein für zurückgegebenes Leergut eingesetzt. Erfordert eine Anwendung jedoch mehr Daten als die 13 Ziffern eines EAN-Barcodes (European Article Number), so werden 2D-Barcodes wie bei den Paketdiensten oder den Fahrkarten der Deutschen Bahn AG verwendet (siehe Abb. 2-1).

Optical-Character-Recognitions-Systeme erkennen Text auf Objekten auf der Grundlage eines Mustervergleichverfahrens von Schriftzeichen. Banken verarbeiten auf diese Weise Überweisungsträger, auch und die Briefsortieranlagen der Post werden mit OCR-Systemen gesteuert. Aufgrund von hohen Systemkosten und der im Vergleich zu anderen Auto-ID-Systemen komplizierten Lesegeräte haben sich OCR-Systeme nicht flächendeckend durchgesetzt.<sup>3</sup>

Die biometrischen Auto-ID-Systeme erkennen Personen über eindeutige Körpermerkmale (Fingerabdruck-, Sprach-, Augen-Netzhaut-Identifikation und die automatische Gesichtserkennung). Diese Verfahren werden beispielsweise bei der Einreise in die Vereinigten Staaten in Kombination mit einem maschinenlesbaren Pass angewendet.



**Abb. 2-2: Auswahl von Auto-ID-Systemen<sup>4</sup>**

Bei Chip-Karten-Systemen wird eine Plastikkarte mit integriertem Mikrospeicher und optional eingebauten Mikrochip als Autorisierung verwendet. Mit der Chip-Karte können Güter bezahlt werden (EC-Karte mit Chip), ein bestimmtes Mobilfunknetz genutzt (Telefonkarte) oder als „Schlüssel“ Personalcomputer bzw. Laptops „frei“ geschaltet werden. Insbesondere die Möglichkeit, die gespeicherten Daten vor unerwünschten Zugriffen und Manipulationen schützen zu können, zählt als wichtigster Vorteil von Chipkartensystemen.

Im Vergleich der unterschiedlichen Auto-ID-Systeme gilt zurzeit die RFID-Technik, aufgrund ihrer Möglichkeiten mehrere Objekte gleichzeitig und kontaktlos erfassen zu können, als die vielfältigste Auto-ID-Lösung. Jedoch ist für eine gewünschte Anwendung ein konkurrierendes System manchmal einfacher, günstiger und genauso effektiv.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> vgl. Finkenzeller, K.: RFID Handbuch, 4. Aufl., München: Hanser Verlag, 2006, S. 4

<sup>4</sup> vgl. Finkenzeller, K.: a.a.O., S. 2

<sup>5</sup> vgl. Kern, Chr.: Anwendung von RFID-Systemen, Berlin: Springer-Verlag, 2005, S. 13

Merkmale	Barcode	OCR	Chipkarte	RFID
Datenkapazität [Byte]	1 ~ 100	1 ~ 100	16 - 64k	16 - 32k
Datendichte	gering	gering	sehr hoch	sehr hoch
Manuelle Lesbarkeit	bedingt	einfach	unmöglich	unmöglich
Witterungseinflüsse	sehr stark	sehr stark	möglich	gering
Einfluss von optischer Abdeckung	nicht lesbar	nicht lesbar	-	lesbar
Einfluss der Medienausrichtung	gering	gering	-	gering
Abnutzung / Verschleiß	bedingt	bedingt	Kontakte	kein Einfluss
Anschaffungskosten Elektronik	sehr gering	mittel	gering	mittel
Lesegeschwindigkeit	langsam	langsam	langsam	sehr schnell
Unbefugtes Kopieren / Ändern der Daten	leicht	leicht	nicht möglich	sehr schwierig
bisherige Anwendungen	Einzelhandel, Gepäcklogistik, Paketlogistik	Post, Banken	Zeiterfassung, Banken, Zutrittskontrolle	Tieridentifikation, Zugangskontrolle, Wegfahrsperrn, Pharmaindustrie, Containerlogistik

Abb. 2-3: Leistungsmerkmale von RFID<sup>6</sup>

## 2.2 Technik und Grundlagen

Ein RFID-System besteht aus drei Elementen: Den Transpondern (zusammengesetzt aus den Wörtern **Transmitter** und **Responder**), dem Lesegerät<sup>7</sup> sowie einem Datenverarbeitungssystem. Unter dem Oberbegriff RFID werden allerdings eine Reihe von Systemen zusammengefasst, die sich durch ihre Einsatzmöglichkeiten und Leistungsfähigkeit deutlich voneinander unterscheiden. Die folgenden Kapitel erläutern neben den Grundelementen von RFID-Systemen kurz die technischen Unterschiede und die Funktionsweise von RFID.

### 2.2.1 Transponder, Tag oder Smart-Label

Die Transponder (auch Tag oder Smart-Label) bilden das Herzstück eines RFID-Systems. Im Wesentlichen besteht ein Transponder aus einer Antenne bzw. Spule zum Senden und Empfangen sowie einem Mikrochip und dem Datenspeicher zur Verarbeitung der Radiosignale. Die Bauformen der Transponder reichen dabei von in Kunststoff vergossenen Transpondern über in Glas integrierte Transponder bis zu auf Plastikfolie aufgebrachte Klebeetiketten, die nachträglich bedruckt werden können. Die spezifischen Objektdaten, wie zum Beispiel die Seriennummer, die Artikelnummer oder der Name, werden auf dem Mikrochip gespeichert, der im Gegensatz zum Barcode je nach Bauform extremen Witterungseinflüssen standhält und eine deutlich höhere Datenkapazität aufweist. Zukünftig ist auch ein

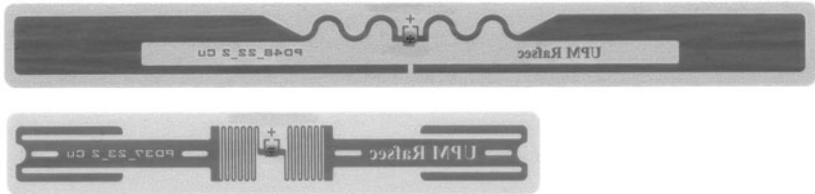
<sup>6</sup> vgl. Finkenzeller, K.: a.a.O., S. 8

<sup>7</sup> Die Funktion des RFID-Lesegeräts (RFID-Reader) beschränkt sich nicht auf die Datenerfassung (Einlesen der Daten), sondern umfasst außerdem die Programmierung der Transponder sowie die Antikollisionsfunktion.

in polymerer Drucktechnologie eindruckbarer Transponder für Objektverpackungen zu erwarten. Auf diese Weise sollen Herstellungskosten für einen RFID-Tag von einem Eurocent erreicht werden.<sup>8</sup>



**Abb. 2-4: Verschiedene Bauformen von Transpondern**



**Abb. 2-5: RFID-Tags mit Dipolantennen**

Neben den Grundelementen ist die Art der Energieversorgung ein Klassifikationsmerkmal für RFID-Transponder. Zunächst werden Tags in aktive oder passive Transponder unterteilt, wobei passive Tags entsprechend der Frequenzbänder sowie der Verfahren der Datenübertragung noch weiter unterschieden werden.

Aktive Transponder besitzen im Gegensatz zu passiven eine eigene Energieversorgung in Form einer eingebauten Batterie. Die Vorteile von RFID-Systemen mit aktiven Transpondern liegen vor allem in der vergleichsweise weiten Sendereichweite (bis zu 100 Metern) und der hohen Datenkapazität. Allerdings hat ein aktiver Tag aufgrund seiner Batterie nur eine beschränkte Lebensdauer und kostet ein Vielfaches im Vergleich zu passiven Tags.

Vereinfacht dargestellt nutzt der Transponder bei passiven Systemen das von den Lesegeräten erzeugte elektromagnetische Feld nach dem Prinzip der Induktion als Energiequelle. Sobald ein RFID-Tag in das elektromagnetische Feld der RFID-Reader geführt wird, entsteht an der Antenne eine Induktionsspannung, die zur Energieversorgung des Tags dient. Eine detaillierte Darstellung der Methoden zur Energieversorgung passiver Transponder wird in der Fachliteratur als Backscatter-, Close-Coupling- und induktives Verfahren beschrieben. Das Verfahren zur Energieversorgung ist an den Tags z.B. über die Antennen-Architektur

<sup>8</sup> vgl. Kummer, S. / Einbock, M. / Westerheide, Chr.: RFID in der Logistik – Handbuch für die Praxis, Wien: Bohmann, 2005, S. 21

der Transponder erkennbar. Spulen deuten ein induktives Verfahren und Dipolantennen auf das Backscatter-Verfahren hin (siehe Abb. 2-5).<sup>9</sup>

Die Sendereichweiten von passiven Systemen reichen je nach Frequenzband der RFID-Systeme von einem Zentimeter bis zu zirka drei Metern. Zu den weiteren Unterscheidungsmerkmalen der passiven Transponder gehören:

- Lese-Schreibigenschaften (Read-Only; Write-Once-Read-Multiple; Read & Write)
- Speicherkapazität (von 1 Bit bis 64 kBit)
- Transponderfrequenz (von 100 kHz bis 2,45 GHz)
- Pulkfähigkeit (mehrfaches Auslesen der Tag-Daten, wenn sich mehrere Tags in der Lesereichweite des Lesegerätes befinden)

### 2.2.2 RFID-Reader

Ein RFID-Reader dient in erster Linie als Schnittstelle zwischen den Transpondern und dem Datenverarbeitungssystem. Die kontaktlose Kommunikation der Systemkomponenten wird dabei durch den RFID-Reader initiiert, indem dieser eine Verbindung zum Tag aufbaut und mittels Antikollision gewährleistet, dass der richtige Tag antwortet und den Tag authentifiziert. Die Leistungsdaten eines solchen Geräts sind abhängig von dem verwendeten Frequenzbereich und den eingesetzten Transpondern. Die Frequenzen reichen von 125 kHz im Low-Frequency-Level (LF) über zu 868 MHz im Ultra-High-Frequency-Level (UHF) bis zu 2,45 GHz im Mikrowellenbereich. Lesegeräte im UHF-Bereich gelten als am leistungsstärksten und können theoretisch bis zu 200 Tags in der Sekunde über eine Reichweite von drei Metern lesen.

Merkmale	Low Frequency 125 kHz	High Frequency 13,56 MHz	Ultra-High Frequency 868 (915) MHz	Mikrowelle 2,45 GHz
Max. Lesereichweite (passive Tags)	< 0,5 m	bis zu 1,2 m	bis zu 3 m	bis zu 1 m
Energieversorgung	passiv	passiv	passiv / aktiv	passiv / aktiv
Materialdurchdringung	hoch	mittel	mittel	gering
Lesegeschwindigkeit	langsam	→		schnell
Lesegenauigkeit bei Metall o. Wasser in naher Umgebung	gut	←		schlecht
Pulkfähigkeit	möglich, aber wenig realisiert	möglich	möglich (bis zu 200 Tags/Sek.)	möglich
Typische Anwendungen	Tieridentifikation Wegfahrsperr	Gepäcklogistik Airlines Zutrittskontrolle Einzelhandel	Containerlogistik Palettenidentifikation	Fahrzeug- identifikation für Maut

Abb. 2-6: RFID-Frequenzen im Überblick

Zu den Elementen einer RFID-Leseeinheit zählen bis zu vier Antennen und das eigentliche Lesegerät. In der Regel ist der RFID-Reader in ein fest installiertes Portal integriert, das beim

<sup>9</sup> weitere Informationen zu den Transponderarten siehe Kummer, S. / Einbock, M. / Westerheide, Chr.: a.a.O., S.23-26 oder Kern, Chr.: a.a.O., S. 47-59

Passieren die Daten registrierter Objekte ausliest. Als mobile Variante sind Handlesegeräte verfügbar, aber auch aufgerüstete Pocket-PCs bzw. Mobile-PCs mit einem speziell ansteckbaren Lesemodul. Die Reichweite der mobilen Lesegeräte ist im Vergleich zu den stationären Varianten reduziert. Entscheidend für die Leseleistung sind die Stromversorgung und die Leistungsaufnahme der Antenne.



Abb. 2-7: RFID-Lesegeräte der Metro Future Store Initiative<sup>10</sup>

Die Kosten für einen RFID-Reader, bestehend aus Lesegerät und Antennen richten sich nach den beschriebenen Eigenschaften der Geräte und beginnen bei ca. 3.000 Euro je Einheit.

### 2.2.3 Datenverarbeitungssystem

Für die Auswertung der mit RFID erfassten Daten wird ein effizientes Datenerfassungssystem benötigt, welches speziell auf die Anforderungen der jeweiligen Anwendung und des Anwenders zugeschnitten sein kann. Ideal ist ein Datenbanksystem, das einen Datenaustausch über Schnittstellen zu bestehenden Systemen ermöglicht, sodass beim Einsatz von RFID im Unternehmen nur eine Umstrukturierung bestehender Teilsysteme erforderlich wird. Ein Datenverarbeitungssystem zur Verbesserung der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes muss im Gegensatz zu Logistikanwendungen im Einzelhandel nicht der Lage sein, sehr große Datenströme zu verwalten und auszuwerten, sondern sollte an die spezifischen Bedürfnisse der jeweiligen Sicherheitsanwendung angepasst werden.

## 2.3 Allgemeine RFID-Anwendungen

Grundsätzlich ist es bei RFID-Anwendungen möglich, Objekt- bzw. Personendaten berührungslos und automatisch an Informationssysteme zu übertragen. Auf diese Weise werden Daten „vor Ort“ am Objekt vorgehalten und somit die physische Welt mit den digitalen Informationsnetzwerken verbunden. Mit den Transpondern wird die Lücke zwischen der Objekt- und Informationsebene geschlossen.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> siehe [http://www.future-store.org/servlet/PB/menu/1007288\\_11\\_yno/index.html](http://www.future-store.org/servlet/PB/menu/1007288_11_yno/index.html), am 04.12.2006

<sup>11</sup> vgl. Kern, Chr.: a.a.O., S. 95