

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 7. Auflage	XVII
Verwendete Abkürzungen	XIX
1 Einführung	1
1.1 Automatische Identifikationssysteme	2
1.1.1 Barcode-Systeme	2
1.1.2 Optical Character Recognition	4
1.1.3 Biometrische Verfahren	5
1.1.3.1 Sprachidentifizierung	5
1.1.3.2 Fingerabdruckverfahren (Daktyloskopie)	6
1.1.4 Chipkarten	6
1.1.4.1 Speicherkarten	8
1.1.4.2 Mikroprozessorkarten	8
1.1.5 RFID-Systeme	9
1.2 Vergleich verschiedener ID-Systeme	9
1.3 Bestandteile eines RFID-Systems	11
2 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen	13
2.1 Grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale	13
2.2 Bauformen von Transpondern	16
2.2.1 Disks und Münzen	16
2.2.2 Glasgehäuse	16
2.2.3 Plastikgehäuse	17
2.2.4 Werkzeug- und Gasflaschenidentifikation	18
2.2.5 Schlüssel und Schlüsselanhänger	19
2.2.6 Uhren	20
2.2.7 Bauform ID-1, kontaktlose Chipkarten	20
2.2.8 Smart Label	22
2.2.9 Coil-on-Chip	23
2.2.10 Weitere Bauformen	24
2.3 Frequenz, Reichweite und Kopplung	24
2.4 Aktive und passive Transponder	25
2.5 Informationsverarbeitung im Transponder	27
2.6 Auswahlkriterien für RFID-Systeme	29
2.6.1 Arbeitsfrequenz	30
2.6.2 Reichweite	30
2.6.3 Sicherheitsanforderungen	31
2.6.4 Speicherkapazität	32

3	Grundlegende Funktionsweise	33
3.1	1-bit-Transponder	34
3.1.1	Radiofrequenz	34
3.1.2	Mikrowelle	37
3.1.3	Frequenzteiler	39
3.1.4	Elektro-Magnetisch	40
3.1.5	Akustomagnetisch	43
3.2	Voll- und Halbduplexverfahren	45
3.2.1	Induktive Kopplung	47
3.2.1.1	Energieversorgung passiver Transponder	47
3.2.1.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	50
3.2.2	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung	58
3.2.2.1	Energieversorgung der Transponder	58
3.2.2.2	Datenübertragung Transponder > Leser: Modulierter Rückstrahlquerschnitt ...	60
3.2.3	Close coupling	61
3.2.3.1	Energieversorgung der Transponder	61
3.2.3.2	Datenübertragung Transponder > Leser	62
3.2.3.3	Close Coupling Chipkarten	63
3.2.4	Elektrische Kopplung	65
3.2.4.1	Energieversorgung passiver Transponder	65
3.2.4.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	67
3.3	Sequentielle Verfahren	67
3.3.1	Induktive Kopplung	67
3.3.1.1	Spannungsversorgung des Transponders	67
3.3.1.2	Vergleich zwischen FDX-/HDX- und SEQ-Systemen	68
3.3.1.3	Datenübertragung Transponder > Leser	70
3.3.2	Oberflächenwellen-Transponder	71
3.4	Near Field Communication (NFC)	73
3.4.1	Active Mode	74
3.4.2	Passive Mode	75
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	77
4.1	Magnetisches Feld	78
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	78
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf H(x) bei Leiterschleifen	79
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	81
4.1.2	Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	83
4.1.3	Induktivität L	83
4.1.3.1	Induktivität einer Leiterschleife	84
4.1.4	Gegeninduktivität M	84
4.1.5	Kopplungsfaktor k	86
4.1.6	Induktionsgesetz	88
4.1.7	Resonanz	90

4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	95
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	95
4.1.8.2	Spannungsregelung	95
4.1.9	Ansprechfeldstärke H_{min}	97
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen	100
4.1.9.2	Ansprechbereich von Lesegeräten	102
4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	103
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz Z_T'	105
4.1.10.2	Einflussgrößen von Z_T'	108
4.1.10.3	Lastmodulation	115
4.1.11	Messung von Systemparametern	122
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	122
4.1.11.2	Messung von Transponderresonanzfrequenz und Gütefaktor	123
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	132
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	132
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	133
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	134
4.1.12.4	Einbau von Transpondern in Metall	135
4.2	Elektromagnetische Wellen	137
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	137
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen	138
4.2.2	Strahlungsdichte S	139
4.2.3	Feldwellenwiderstand und Feldstärke E	140
4.2.4	Polarisation elektromagnetischer Wellen	141
4.2.4.1	Reflexion elektromagnetischer Wellen	142
4.2.5	Antennen	144
4.2.5.1	Gewinn und Richtwirkung	144
4.2.5.2	EIRP und ERP	146
4.2.5.3	Eingangsimpedanz	146
4.2.5.4	Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt	147
4.2.5.5	Effektive Länge	150
4.2.5.6	Dipolantenne	151
4.2.5.7	Yagi-Uda-Antenne	153
4.2.5.8	Patch- oder Mikrostripantennen	153
4.2.5.9	Schlitzantennen	156
4.2.6	Praktischer Betrieb von Mikrowellentranspondern	156
4.2.6.1	Ersatzschaltbilder des Transponders	157
4.2.6.2	Spannungsversorgung passiver Transponder	158
4.2.6.3	Spannungsversorgung aktiver Transponder	166
4.2.6.4	Reflexion und Auslöschung	167
4.2.6.5	Ansprechempfindlichkeit des Transponders	168
4.2.6.6	Modulierter Rückstreuquerschnitt	168
4.2.6.7	Lesereichweite	171

4.3	Oberflächenwellen	174
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	174
4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	176
4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	177
4.3.4	Der Sensoreffekt	179
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	181
4.3.4.2	Resonante Sensoren	182
4.3.4.3	Impedanzsensoren	184
4.3.5	Geschaltete Sensoren	184
5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	187
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	187
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	189
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz (ISM)	191
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz (ISM, SRD)	191
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz (ISM)	191
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz (ISM)	192
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz (ISM)	192
5.1.7	UHF-Frequenzbereich	193
5.1.7.1	Frequenzbereich 865,0 MHz... 868 MHz (SRD) in Europa	193
5.1.7.2	Frequenzbereich 915 ... 921 MHz (SRD) in Europa	194
5.1.7.3	Frequenzbereich 915,0 MHz	194
5.1.8	Frequenzbereich 2,45 GHz (ISM, SRD)	194
5.1.9	Frequenzbereich 5,8 GHz (ISM, SRD)	194
5.1.10	Frequenzbereich 24,125 GHz (ISM)	195
5.1.11	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	195
5.2	Internationale Fernmeldeunion (ITU)	198
5.3	Europäische Zulassungsvorschriften	199
5.3.1	CEPT/ERC REC 70-03	200
5.3.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices	202
5.3.1.2	Annex 4: Railway applications	202
5.3.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics	203
5.3.1.4	Annex 9: Inductive applications	204
5.3.1.5	Annex 11: RFID applications	206
5.3.2	Standardisierte Messverfahren	208
5.3.2.1	Übergreifende Standards	208
5.3.2.2	Anwendungsspezifische Messvorschriften	210
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa	210
5.4.1	Bundesrepublik Deutschland	211
5.4.1.1	Induktive Funkanwendungen	211
5.4.1.2	RFID-Systeme im UHF-Bereich	213
5.5	Nationale Zulassungsvorschriften	214
5.5.1	USA	214

5.6 Vergleich nationaler Regulierungsvorschriften 216

5.6.1 Umrechnung bei 13,56 MHz 216

5.6.2 Umrechnung auf UHF 218

6 Codierung und Modulation 219

6.1 Codierung im Basisband 220

6.2 Digitale Modulationsverfahren 222

6.2.1 Amplitudentastung (ASK) 223

6.2.2 2-FSK 225

6.2.3 2-PSK 226

6.2.4 Modulationsverfahren mit Hilfsträger 227

7 Datenintegrität 229

7.1 Fehlererkennende und -korrigierende Codes 229

7.1.1 Das Prinzip der Codekonstruktion 231

7.1.2 Eigenschaften von Codes 233

7.1.3 Einfache Codes – die Paritätsprüfung 235

7.1.4 Zyklische Codes 236

7.1.4.1 CRC-Verfahren 237

7.1.4.2 Hardware-Implementierung von CRC 240

7.1.4.3 CRC-Verfahren bei RFID-Systemen 241

7.1.5 Lineare Codes 242

7.1.5.1 Hammingcode 243

7.1.5.2 Hammingcode-Implementierung in ISO/IEC 14443 245

7.2 Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision 250

7.2.1 Raummultiplex – SDMA 253

7.2.2 Frequenzmultiplex – FDMA 254

7.2.3 Zeitmultiplex – TDMA 255

7.2.4 Beispiele für Antikollisionsverfahren 257

7.2.4.1 ALOHA-Verfahren 257

7.2.4.2 Slotted-ALOHA-Verfahren 259

7.2.4.3 Binary-Search-Algorithmus 263

8 Sicherheit von RFID-Systemen 273

8.1 Angriffe auf RFID-Systeme 274

8.1.1 Angriffe auf den Transponder 275

8.1.1.1 Dauerhaftes Zerstören des Transponders 275

8.1.1.2 Abschirmen oder Verstimmen des Transponders 276

8.1.1.3 Emulieren und Klonen eines Transponders 276

8.1.2 Angriffe über das HF-Interface 278

8.1.2.1 Abhören der Kommunikation 278

8.1.2.2 Störsender 297

8.1.2.3 Lesen mit vergrößerter Lesereichweite 298

8.1.2.4 Transponder mit vergrößerter Reichweite 305

8.1.2.5	Denial of Service-Angriff durch Blocker Tags	310
8.1.2.6	Relay-Attack	312
8.2	Abwehr durch kryptografische Maßnahmen	315
8.2.1	Kryptografische Funktionen und Merkmale kryptografischer Verfahren	317
8.2.1.1	Hashfunktionen und MAC	318
8.2.1.2	Blockchiffren	320
8.2.1.3	Stromchiffren	326
8.2.2	Kryptografische Protokolle	328
8.2.2.1	Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	329
8.2.2.2	Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	330
8.2.2.3	Basic Access Control Protocol (BAC)	331
9	Normung	335
9.1	Tieridentifikation	335
9.1.1	ISO/IEC 11784 – Codestruktur	335
9.1.2	ISO/IEC 11785 – Technisches Konzept	336
9.1.2.1	Anforderungen	336
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System	338
9.1.2.3	Sequentielles System	338
9.1.3	ISO/IEC 14223 – Advanced Transponders	339
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface	339
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure	341
9.2	Kontaktlose Chipkarten	343
9.2.1	ISO/IEC 10536 – Close coupling Chipkarten	344
9.2.2	ISO/IEC 14443 – Proximity coupling Chipkarten	344
9.2.2.1	Physikalische Eigenschaften	345
9.2.2.2	Energieübertragung und Signalinterface	347
9.2.2.3	Initialisierung, Antikollision und Protokollaktivierung	362
9.2.2.4	Datenübertragungsprotokoll	374
9.2.3	ISO/IEC 15693 – Vicinity coupling Chipkarten	378
9.2.3.1	Physical characteristics	379
9.2.3.2	Air interface and initialization	379
9.2.3.3	Anticollision and transmission protocol	382
9.2.4	ISO/IEC 10373 – Prüfmethode für Chipkarten	390
9.2.4.1	Part 6 – Testverfahren für Proximity coupling Chipkarten	391
9.2.4.2	Part 7 – Testverfahren für Vicinity coupling Chipkarten	397
9.3	ISO/IEC 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	398
9.4	ISO/IEC 10374 – Containeridentifikation	398
9.5	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	400
9.5.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusensysteme	400
9.5.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	400
9.5.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	400
9.5.1.3	Formblätter in VDI 4470	401
9.5.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	402

9.6 Güter- und Warenwirtschaft 402

9.6.1 ISO/IEC 18000 Reihe 402

9.6.1.1 Datennormen 402

9.6.1.2 Luftschnittstellennormen 405

9.6.1.3 Testnormen 408

9.6.2 GTAG Initiative 412

9.6.3 EPCglobal Network 412

9.6.3.1 Generation 2 414

9.6.3.2 Normen und Spezifikationen 415

9.6.3.3 Der Electronic Product Code (EPC) 416

9.6.3.4 Transponderklassen 419

9.6.3.5 Einführung in das EPC-Netzwerk 420

9.6.4 EPCglobal UHF AI Gen 2 / ISO/IEC 18000-6 Type C / ISO/IEC 18000-63 .. 422

9.6.4.1 Kommunikationsprinzip 422

9.6.4.2 Kommunikation vom Lesegerät zum Transponder 423

9.6.4.3 Kommunikation vom Transponder zum Lesegerät 425

9.6.4.4 Dense Reader Mode, Signalspektrum und Funkzulassungen 428

9.6.4.5 Speicher 430

9.6.4.6 Session Flags 431

9.6.4.7 Kommandos 433

9.6.4.8 Ablauf der Kommunikation 439

9.6.4.9 Unterschiede zwischen EPCglobal UHF AI Gen 2 und
ISO/IEC 18000-6 Type C 442

9.6.4.10 Zusätzliches in ISO/IEC 18000-6 Type C 443

9.7 Das RFID-Emblem 444

9.8 Europäische Normen zum Schutz der Privatsphäre 447

10 Architektur elektronischer Datenträger 449

10.1 Transponder mit Speicherfunktion 450

10.1.1 HF-Interface 450

10.1.1.1 Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger 451

10.1.1.2 Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder 452

10.1.1.3 Simulation eines ISO/IEC14443 kompatiblen HF-Frontends 454

10.1.2 Adress- und Sicherheitslogik 456

10.1.2.1 State-Machine 457

10.1.3 Speicherarchitektur 458

10.1.3.1 Read-only-Transponder 458

10.1.3.2 Beschreibbare Transponder 459

10.1.3.3 Transponder mit Kryptofunktion 460

10.1.3.4 Segmentierte Speicher 463

10.1.3.5 MIFARE®-Applikationsverzeichnis 465

10.1.3.6 Dual-port-EEPROM 467

10.2	Mikroprozessoren	471
10.2.1	Dual Interface Karte	472
10.2.1.1	MIFARE plus	474
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card	475
10.3	Speichertechnologie	477
10.3.1	RAM	478
10.3.2	EEPROM	478
10.3.3	FRAM	480
10.3.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	481
10.4	Messung physikalischer Größen	482
10.4.1	Transponder mit Sensorfunktionen	482
10.4.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	484
10.4.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	485
11	Lesegeräte	489
11.1	Datenfluss in einer Applikation	489
11.2	Komponenten eines Lesegerätes	490
11.2.1	HF-Interface	491
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	491
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	492
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	494
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	495
11.2.2	Steuerung	496
11.3	Integrierte Leser-ICs	497
11.3.1	Integriertes HF-Interface	498
11.3.2	Single Chip Reader IC	501
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme	506
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung	507
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel	508
11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q	512
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	513
11.5.1	OEM-Lesegeräte	513
11.5.2	Lesegeräte für industriellen Einsatz	514
11.5.3	Portable Lesegeräte	515
11.6	Near Field Communication	516
11.6.1	Secure-NFC	517
11.6.1.1	Single Wire Protokoll	520
11.6.1.2	NFC Wired Interface	522
12	Messtechnik für RFID-Systeme	525
12.1	HF-Messtechnik für Proximity-Systeme	525
12.1.1	Kontaktbasierte Messungen	526
12.1.1.1	Messung der Transponderchip-Impedanz	526

12.1.2	Kontaktlos-Messungen	530
12.1.2.1	Konzept zur Messung von Proximity-Karten	530
12.1.2.2	Aufbau zur Messung von Proximity-Transpondern	532
12.1.2.3	Aufbau zur Messung von Proximity-Lesegeräten	536
12.1.2.4	Charakterisierung und Evaluierung	537
12.1.3	Ausgewählte Messungen an Proximity-Smartcards	538
12.1.3.1	Messung der Rückwirkung, Card Loading Effect	538
12.1.3.2	Messung der Ansprechfeldstärke	539
12.1.3.3	Messung der Modulation	541
12.1.3.4	Messung der Zeiten in der sequentiellen Kommunikation	543
12.1.3.5	Messung der Karten-Rückmodulation	545
12.1.3.6	Messung ungewollter Störungen (EMD)	547
12.1.3.7	Prüfung der maximal verkraftbaren Feldstärke (maximum alternating field)	548
12.1.3.8	Zusammenfassung der Transponder-Antennenklassen	549
12.1.4	Ausgewählte Messungen an Proximity-Readern	550
12.1.4.1	Messung der Feldstärke des Lesegeräts	550
12.1.4.2	Messung der Modulationseigenschaften	552
12.1.4.3	Messung der Empfindlichkeit auf Lastmodulation	553
12.1.4.4	Messung der EMD	556
12.2	HF-Messtechnik für UHF-Systeme	556
12.2.1	Prolog	556
12.2.1.1	Unterschiede zwischen LF, HF und UHF	556
12.2.1.2	Allgemeiner Ansatz für den Testablauf	557
12.2.1.3	Einflussgrößen und Störungen	557
12.2.2	Signalstrecke und Umgebungseinflüsse	558
12.2.3	Testverfahren	559
12.2.3.1	Testverfahren für die Systemleistung – ISO18046-1	559
12.2.3.2	Testverfahren für die Leistung des Abfragesenders ISO18046-2	562
12.2.3.3	Testverfahren für UHF-Tags / Transponder ISO18046-3	562
12.2.4	UHF-Messtechnik – Gerätetechnik	564
12.2.4.1	Standardgeräte	564
12.2.4.2	Spezialgeräte für UHF-Messtechnik	565
12.2.5	Praktische RFID-Messtechnik im Labor	567
12.2.5.1	Fallbeispiel: Transponder	567
12.2.5.2	Fallbeispiel: Population von Transpondern	570
12.2.6	Fazit	572
13	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	573
13.1	Herstellung des integrierten Schaltkreises (Chip)	574
13.1.1	Das Halbleitermaterial	574
13.1.2	Herstellung eines integrierten Schaltkreises	576

13.1.2.1	Vorbereitung des Ausgangsmaterials	576
13.1.2.2	Züchten des Kristalls	576
13.1.2.3	Herstellung der Scheiben (Wafer)	577
13.1.2.4	Aufbringung der integrierten Schaltungsstruktur	578
13.1.3	Test der integrierten Schaltkreise	579
13.1.4	Sägen des Wafer	580
13.1.5	Mögliche Lieferformen	581
13.1.6	Weitere Verpackung	581
13.2	Antennenherstellung	582
13.2.1	Wickeltechnik mit Kern	582
13.2.2	Wickeltechnik mit Luftspule	582
13.2.3	Verlegetechnik	584
13.2.4	Siebdrucktechnik	585
13.2.5	Ätztechnik	586
13.2.6	Stanztechnik	587
13.3	Kontaktierverfahren	587
13.3.1	Kontaktierverfahren für Halbleiterchips im Gehäuse	587
13.3.1.1	Vorbereitung – Montage des Chips im Gehäuse	588
13.3.1.2	Löttechnik	588
13.3.1.3	Klebe- und Schneid-Klemm-Technik	589
13.3.2	Kontaktierverfahren für unverpackte Halbleiterchip	590
13.3.2.1	Vorbereitung von Wafer Bumpen	590
13.3.2.2	Flip Chip-Montage	591
13.3.2.3	Verbindungstechnik Schweißen	593
13.4	Spezielle Bauformen	595
13.4.1	Glastransponder	595
13.4.2	Plastiktransponder	597
13.4.3	Fertigung von Inlays	598
13.4.4	Kontaktlose Chipkarten	599
13.4.4.1	Zusammentragen der Folien	599
13.4.4.2	Laminieren	600
13.4.5	Etiketten	601
13.4.5.1	Herstellung	601
13.4.5.2	Drucktechnik in der Etikettenfertigung	603
13.5	Test in der Fertigung	604
13.5.1	Prozessparameter	604
13.5.1.1	Abschertest (Shear Test)	604
13.5.1.2	Rollentest für Inlay und Etiketten	605
13.5.2	Messung der HF-Parameter	605
13.5.2.1	Anforderungen an den Test	606
13.5.2.2	Test von LF- und HF-Transpondern	606

13.5.2.3	Test von UHF-Transpondern	606
13.5.2.4	Behandlung der Schlechteile	608
13.5.3	Test der Produkteigenschaften	608
13.5.3.1	Allgemeine Zuverlässigkeitsprüfungen	608
13.6	Antennendesign für RFID-Systeme	609
13.6.1	Eigenschaften von Schleifenantennen	609
13.6.1.1	Impedanz der Antenne	611
13.6.1.2	Resonanzfrequenz und Güte	614
13.6.1.3	Messung der Werte des Antennen-Ersatzschaltbildes	615
13.6.1.4	Abhängigkeiten des Antennen-Ersatzschaltbildes	616
13.6.2	Design von Loop-Antennen für Kontaktlos-Karten	618
13.6.2.1	Konzept zum Design	618
13.6.2.2	Induktivität	619
13.6.2.3	Wirkwiderstand	621
13.6.2.4	Kapazität	622
13.6.2.5	Einfluss des Antennen-Resonanzkreises auf die Performance	623
14	Anwendungsbeispiele	625
14.1	Kontaktlose Chipkarten	625
14.2	Öffentlicher Nahverkehr	626
14.2.1	Ausgangssituation	626
14.2.2	Anforderungen	627
14.2.2.1	Transaktionszeit	627
14.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	628
14.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	629
14.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	630
14.2.5	Marktpotenzial	630
14.2.6	Projektbeispiele	631
14.2.6.1	Korea – Seoul	631
14.2.6.2	Deutschland – Lüneburg, Oldenburg	633
14.2.6.3	EU-Projekte – „ICARE“ und „CALYPSO“	635
14.3	Kontaktloser Zahlungsverkehr	638
14.3.1	MasterCard® Pay Pass	641
14.3.2	ExpressPay von American Express®	641
14.3.3	Visa® Contactless	641
14.3.4	ExxonMobil Speedpass	641
14.4	NFC-Anwendungen	642
14.5	Elektronischer Reisepass und nationale eID-Karten (eMRTD)	648
14.6	Ski-Ticketing	655
14.7	Zutrittskontrolle	657
14.7.1	Online-Systeme	657
14.7.2	Offline-Systeme	658
14.7.3	Transponder	660

14.8	Verkehrssysteme	661
14.8.1	Eurobalise S21	661
14.8.2	Internationaler Containerverkehr	663
14.9	Tieridentifikation	664
14.9.1	Rinderhaltung	664
14.9.2	Brieftauben-Preisflug	670
14.10	Elektronische Wegfahrsperre	672
14.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperre	672
14.10.2	Kurze Erfolgsgeschichte	675
14.10.3	Zukunftsansichten	676
14.11	Behälteridentifikation	677
14.11.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	677
14.11.2	Abfallentsorgung	679
14.12	Sportliche Veranstaltungen	681
14.13	Industrieautomation	683
14.13.1	Werkzeugidentifikation	683
14.13.2	Industrielle Fertigung	686
14.13.2.1	Zentrale Steuerung	687
14.13.2.2	Dezentrale Steuerung	688
14.13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	689
14.13.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	689
14.13.2.5	Projektbeispiele	691
14.14	Medizinische Anwendungen	694
15	Anhang	697
15.1	Die Autoren	697
15.2	Verbände und Fachzeitschriften	701
15.2.1	Industrieverbände	701
15.2.2	Fachzeitschriften	702
15.3	Relevante Normen und Vorschriften	703
15.3.1	Normungsgremien	703
15.3.2	Normenliste	704
15.3.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	713
15.4	Literatur	714
15.5	Platinenlayouts	729
15.5.1	Testkarte nach ISO 14443	729
15.5.2	Feldgeneratorspule	733
15.5.3	Lesegerät für 13,56 MHz	735
16	Register	741