

RFID-Handbuch

Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern

DAS INHALTS- VERZEICHNIS

» Hier geht's
direkt
zum Buch

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 8. 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	29
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	49
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	62
3.2.4	Elektrische Kopplung	65
3.2.4.1	Energieversorgung passiver Transponder	65
3.2.4.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	66
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)	189
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz (ISM, SRD)	190
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz (ISM)	190
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz (ISM)	191
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz (ISM)	191
5.1.7	UHF-Frequenzbereich	192
5.1.7.1	Frequenzbereich 865,0 MHz... 868 MHz (SRD) in Europa	192
5.1.7.2	Frequenzbereich 915 ... 921 MHz (SRD) in Europa	192
5.1.7.3	Frequenzbereich 915,0 MHz	192
5.1.8	Frequenzbereich 2,45 GHz (ISM, SRD)	193
5.1.9	Frequenzbereich 5,8 GHz (ISM, SRD)	193
5.1.10	Frequenzbereich 24,125 GHz (ISM)	193
5.1.11	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	194
5.2	Internationale Fernmeldeunion (ITU)	196
5.3	Europäische Zulassungsvorschriften	198
5.3.1	CEPT/ERC REC 70-03	199
5.3.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices	200
5.3.1.2	Annex 4: Railway applications	201
5.3.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics	202
5.3.1.4	Annex 9: Inductive applications	203
5.3.1.5	Annex 11: RFID applications	205
5.3.2	Standardisierte Messverfahren	207
5.3.2.1	Übergreifende Standards	207
5.3.2.2	Anwendungsspezifische Messvorschriften	209
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa	209
5.4.1	Bundesrepublik Deutschland	210
5.4.1.1	Induktive Funkanwendungen	210
5.4.1.2	RFID-Systeme im UHF-Bereich	212
5.5	Nationale Zulassungsvorschriften USA	213
5.6	Vergleich nationaler Regulierungsvorschriften	215
5.6.1	Umrechnung bei 13,56 MHz	215
5.6.2	Umrechnung auf UHF	217

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
8.3	Technische Richtlinien für sicheren RFID-Einsatz	334
9	Normung	337
9.1	Tieridentifikation	337
9.1.1	ISO/IEC 11784 – Codestruktur	337
9.1.2	ISO/IEC 11785 – technisches Konzept	338
9.1.2.1	Anforderungen	338
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System	340
9.1.2.3	Sequentielles System	341
9.1.3	ISO/IEC 14223 – „Advanced Transponders“	341
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface	341
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure	344
9.2	Kontaktlose Chipkarten	345
9.2.1	ISO/IEC 10536 – Close-coupling-Chipkarten	346
9.2.2	ISO/IEC 14443 – Proximity-coupling-Chipkarten	347
9.2.2.1	Physikalische Eigenschaften	348
9.2.2.2	Energieübertragung und Signalinterface	350
9.2.2.3	Initialisierung, Antikollision und Protokollaktivierung	365
9.2.2.4	Datenübertragungsprotokoll	377
9.2.3	ISO/IEC 15693 – Vicinity-coupling-Chipkarten	381
9.2.3.1	Physical characteristics	382
9.2.3.2	Air interface and initialization	382
9.2.3.3	Anticollision and transmission protocol	385
9.2.4	ISO/IEC 10373 – Prüfmethode für Chipkarten	393
9.2.4.1	Part 6 – Testverfahren für Proximity-coupling-Chipkarten	394
9.2.4.2	Part 7 – Testverfahren für Vicinity-coupling-Chipkarten	400
9.3	NFC-bezogene Standards und Spezifikationen	401
9.4	ISO/IEC 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	402
9.5	ISO/IEC 10374 – Containeridentifikation	403
9.6	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	404
9.6.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusensysteme	404
9.6.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	405
9.6.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	405
9.6.1.3	Formblätter in VDI 4470	406
9.6.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	406
9.7	Güter- und Warenwirtschaft	407

9.7.1	ISO/IEC 18000 Reihe	407
9.7.1.1	Datennormen	407
9.7.1.2	Luftschnittstellennormen	410
9.7.1.3	Testnormen	413
9.7.2	GTAG Initiative	417
9.7.3	EPCglobal Network	417
9.7.3.1	Generation 2	419
9.7.3.2	Normen und Spezifikationen	420
9.7.3.3	Der Electronic Product Code (EPC)	423
9.7.3.4	Transponderklassen	426
9.7.3.5	Einführung in das EPC-Netzwerk	427
9.7.4	EPCglobal UHF AI Gen 2 / ISO/IEC 18000-6 Type C / ISO/IEC 18000-63 429	
9.7.4.1	Kommunikationsprinzip	429
9.7.4.2	Kommunikation vom Lesegerät zum Transponder	430
9.7.4.3	Kommunikation vom Transponder zum Lesegerät	432
9.7.4.4	Dense Reader Mode, Signalspektrum und Funkzulassungen	435
9.7.4.5	Speicher	437
9.7.4.6	Session Flags	438
9.7.4.7	Kommandos	440
9.7.4.8	Ablauf der Kommunikation	446
9.7.4.9	Unterschiede zwischen GS1 EPC Gen 2 UHF und ISO/IEC 18000-63	449
9.7.4.10	Zusätzliches in ISO/IEC 18000-63 Type C	450
9.8	Das RFID-Emblem	451
9.9	Europäische Normen zum Schutz der Privatsphäre	454
9.10	RAIN RFID	455
10	Architektur elektronischer Datenträger	457
10.1	Transponder mit Speicherfunktion	458
10.1.1	HF-Interface	458
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger	459
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder	460
10.1.1.3	Simulation eines ISO/IEC14443-kompatiblen HF-Frontends	463
10.1.2	Adress- und Sicherheitslogik	465
10.1.2.1	State-Machine	466
10.1.3	Speicherarchitektur	467
10.1.3.1	Read-only-Transponder	467
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder	468
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion	468
10.1.3.4	Segmentierte Speicher	471
10.1.3.5	MIFARE®-Applikationsverzeichnis	473
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM	476
10.2	Mikroprozessoren	479

10.2.1	Dual-Interface Karte	481
10.2.1.1	MIFARE plus	483
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card	484
10.3	Near Field Communication NFC	486
10.3.1	NFC-Tag Types	488
10.3.1.1	NFC-Tag Type-1	488
10.3.1.2	NFC-Tag Type-2	489
10.3.1.3	NFC-Tag Type-3	490
10.3.1.4	NFC-Tag Type-4	491
10.3.1.5	NFC-Tag Type-5	492
10.3.2	NDEF-Datenstruktur	492
10.3.3	Integration in Mobiltelefone und Geräte	495
10.3.3.1	Secure-NFC	496
10.3.4	NFC-based Wireless-Charging (NFC-WLC)	502
10.3.4.1	Funktionsweise	503
10.3.4.2	Selektion der Übertragungsleistung	505
10.3.4.3	Fremdobjekterkennung	505
10.3.4.4	Ladeschaltung	506
10.4	Speichertechnologie	507
10.4.1	RAM	507
10.4.2	EEPROM	508
10.4.3	FRAM	509
10.4.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	511
10.5	Messung physikalischer Größen	512
10.5.1	Transponder mit Sensorfunktionen	512
10.5.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	513
10.5.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	514
11	Lesegeräte	517
11.1	Datenfluss in einer Applikation	517
11.2	Komponenten eines Lesegeräts	518
11.2.1	HF-Interface	519
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	520
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	521
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	522
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	523
11.2.2	Steuerung	524
11.3	Integrierte Leser-ICs	526
11.3.1	Integriertes HF-Interface	527
11.3.2	Single Chip Reader IC	529
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme	540
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung	540
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel	542

11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q	546
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	546
11.5.1	OEM-Lesegeräte	547
11.5.2	Lesegeräte für den industriellen Einsatz	548
11.5.3	Portable Lesegeräte	548
12	Messtechnik für RFID-Systeme	551
12.1	HF-Messtechnik für Proximity-Systeme	551
12.1.1	Kontaktbasierte Messungen	552
12.1.1.1	Messung der Transponderchip-Impedanz	552
12.1.2	Kontaktlos-Messungen	556
12.1.2.1	Konzept zur Messung von Proximity-Karten	556
12.1.2.2	Aufbau zur Messung von Proximity-Transpondern	558
12.1.2.3	Aufbau zur Messung von Proximity-Lesegeräten	562
12.1.2.4	Charakterisierung und Evaluierung	563
12.1.3	Ausgewählte Messungen an Proximity-Smartcards	564
12.1.3.1	Messung der Rückwirkung, Card Loading Effect	564
12.1.3.2	Messung der Ansprechfeldstärke	565
12.1.3.3	Messung der Modulation	567
12.1.3.4	Messung der Zeiten in der sequentiellen Kommunikation	569
12.1.3.5	Messung der Karten-Rückmodulation	571
12.1.3.6	Messung ungewollter Störungen (EMD)	573
12.1.3.7	Prüfung der maximal verkraftbaren Feldstärke (maximum alternating field) 574	
12.1.3.8	Zusammenfassung der Transponder-Antennenklassen	575
12.1.4	Ausgewählte Messungen an Proximity-Readern	576
12.1.4.1	Messung der Feldstärke des Lesegeräts	576
12.1.4.2	Messung der Modulationseigenschaften	578
12.1.4.3	Messung der Empfindlichkeit auf Lastmodulation	579
12.1.4.4	Messung der EMD	582
12.2	HF-Messtechnik für UHF-Systeme	582
12.2.1	Prolog	582
12.2.1.1	Unterschiede zwischen LF, HF und UHF	582
12.2.1.2	Allgemeiner Ansatz für den Testablauf	583
12.2.1.3	Einflussgrößen und Störungen	583
12.2.2	Signalstrecke und Umgebungseinflüsse	584
12.2.3	Testverfahren	585
12.2.3.1	Testverfahren für die Systemleistung – ISO18046-1	585
12.2.3.2	ISO/IEC 18046-2 – Testverfahren für das RFID-Lesegerät	588
12.2.3.3	Testverfahren für UHF-Tags/Transponder ISO18046-3	589
12.2.4	UHF-Messtechnik – Gerätetechnik	590
12.2.4.1	Standardgeräte	591
12.2.4.2	Spezialgeräte für UHF-Messtechnik	592

12.2.5	Praktische RFID-Messtechnik im Labor	593
12.2.5.1	Fallbeispiel: Transponder	593
12.2.5.2	Fallbeispiel: Population von Transpondern	597
12.2.6	Fazit	598
13	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	601
13.1	Herstellung des integrierten Schaltkreises (Chip)	602
13.1.1	Das Halbleitermaterial	602
13.1.2	Herstellung eines integrierten Schaltkreises	604
13.1.2.1	Vorbereitung des Ausgangsmaterials	604
13.1.2.2	Züchten des Kristalls	604
13.1.2.3	Herstellung der Scheiben (Wafer)	605
13.1.2.4	Aufbringung der integrierten Schaltungsstruktur	606
13.1.3	Test der integrierten Schaltkreise	607
13.1.4	Sägen des Wafer	608
13.1.5	Mögliche Lieferformen	609
13.1.6	Weitere Verpackung	609
13.2	Antennenherstellung	610
13.2.1	Wickeltechnik mit Kern	610
13.2.2	Wickeltechnik mit Luftspule	610
13.2.3	Verlegetechnik	612
13.2.4	Siebdrucktechnik	613
13.2.5	Ätztechnik	614
13.2.6	Stanztechnik	615
13.3	Kontaktierverfahren	615
13.3.1	Kontaktierverfahren für Halbleiterchips im Gehäuse	615
13.3.1.1	Vorbereitung – Montage des Chips im Gehäuse	616
13.3.1.2	Löttechnik	616
13.3.1.3	Klebe- und Schneid-Klemm-Technik	617
13.3.2	Kontaktierverfahren für unverpackte Halbleiterchip	618
13.3.2.1	Vorbereitung von Wafer Bumpen	618
13.3.2.2	Flip-Chip-Montage	619
13.3.2.3	Verbindungstechnik Schweißen	621
13.4	Spezielle Bauformen	623
13.4.1	Glastransponder	623
13.4.2	Plastiktransponder	625
13.4.3	Fertigung von Inlays	626
13.4.4	Kontaktlose Chipkarten	627
13.4.4.1	Zusammentragen der Folien	627
13.4.4.2	Laminieren	628
13.4.5	Etiketten	629
13.4.5.1	Herstellung	629
13.4.5.2	Drucktechnik in der Etikettenfertigung	630

13.5	Test in der Fertigung	632
13.5.1	Prozessparameter	632
13.5.1.1	Abschertest (Shear Test)	632
13.5.1.2	Rollentest für Inlay und Etiketten	632
13.5.2	Messung der HF-Parameter	633
13.5.2.1	Anforderungen an den Test	633
13.5.2.2	Test von LF- und HF-Transpondern	634
13.5.2.3	Test von UHF-Transpondern	634
13.5.2.4	Behandlung der Schlechteile	636
13.5.3	Test der Produkteigenschaften	636
13.5.3.1	Allgemeine Zuverlässigkeitsprüfungen	637
13.6	Antennendesign für RFID-Systeme	637
13.6.1	Eigenschaften von Schleifenantennen	637
13.6.1.1	Impedanz der Antenne	639
13.6.1.2	Resonanzfrequenz und Güte	642
13.6.1.3	Messung der Werte des Antennen-Ersatzschaltbilds	643
13.6.1.4	Abhängigkeiten des Antennen-Ersatzschaltbilds	644
13.6.2	Design von Loop-Antennen für Kontaktlos-Karten	647
13.6.2.1	Konzept zum Design	647
13.6.2.2	Induktivität	648
13.6.2.3	Wirkwiderstand	649
13.6.2.4	Kapazität	650
13.6.2.5	Einfluss des Antennen-Resonanzkreises auf die Performance	651
14	Anwendungsbeispiele	655
14.1	Kontaktlose Chipkarten	655
14.2	Öffentlicher Nahverkehr	656
14.2.1	Ausgangssituation	657
14.2.2	Anforderungen	657
14.2.2.1	Transaktionszeit	657
14.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	658
14.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	659
14.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	660
14.2.5	Historische Projektbeispiele und Feldversuche	660
14.2.5.1	Korea – Seoul	660
14.2.5.2	Fahrsmart-Projekt – Lüneburg, Oldenburg	662
14.2.5.3	FlexPass – Landkreis Konstanz	663
14.2.6	(((eTicket Deutschland	665
14.3	Kontaktloser Zahlungsverkehr	666
14.3.1	MasterCard® Pay Pass	669
14.3.2	ExpressPay von American Express®	670
14.3.3	Visa® Contactless	670
14.3.4	ExxonMobil Speedpass	670
14.3.5	EMVCo	671

14.4	NFC-Anwendungen	671
14.5	Elektronischer Reisepass und nationale eID-Karten (eMRTD)	678
14.6	Ski-Ticketing	685
14.7	Zutrittskontrolle	687
14.7.1	Online-Systeme	688
14.7.2	Offline-Systeme	693
14.8	Verkehrssysteme	697
14.8.1	Eurobalise S21	697
14.8.2	Internationaler Containerverkehr	699
14.9	Tieridentifikation	700
14.9.1	Länderspezifische Kodierung	702
14.9.2	Spezielle Transponderbauformen	704
14.9.2.1	Halsbandtransponder	705
14.9.2.2	Transponderohrmarken	705
14.9.2.3	Injizierbare Glastransponder	706
14.9.2.4	Transponderbolus	708
14.9.2.5	Fußband	709
14.9.3	RFID im Brieftauben-Preisflug	710
14.10	Elektronische Wegfahrsperre	712
14.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperre	712
14.10.2	Eine Erfolgsgeschichte	715
14.10.3	Zweite Generation – Keyless Entry	716
14.11	Behälteridentifikation	717
14.11.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	717
14.11.2	Abfallentsorgung	719
14.12	Sportliche Veranstaltungen	720
14.13	Industriautomation	723
14.13.1	Werkzeugidentifikation	723
14.13.2	Industrielle Fertigung	726
14.13.2.1	Zentrale Steuerung	727
14.13.2.2	Dezentrale Steuerung	728
14.13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	729
14.13.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	729
14.13.2.5	Projektbeispiel	731
14.14	Medizinische Anwendungen	731
14.15	RFID im Einzelhandel	733
15	Anhang	737
15.1	Die Autoren	737
15.2	Industrieverbände	741
15.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	742
15.4	Literatur	743
16	Register	761