

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Automatische Identifikationssysteme	2
1.1.1	Barcode-Systeme	2
1.1.2	Optical Character Recognition	3
1.1.3	Biometrische Verfahren	4
1.1.3.1	Sprachidentifizierung	4
1.1.3.2	Fingerabdruckverfahren (Daktyloskopie)	4
1.1.4	Chipkarten	4
1.1.4.1	Speicherkarten	5
1.1.4.2	Mikroprozessorkarten	6
1.1.5	RFID-Systeme	6
1.2	Vergleich verschiedener ID-Systeme	7
1.3	Bestandteile eines RFID-Systems	7
2	Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen	11
2.1	Grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale	11
2.2	Bauformen von Transpondern	14
2.2.1	Disks und Münzen	14
2.2.2	Glasgehäuse	14
2.2.3	Plastikgehäuse	15
2.2.4	Werkzeug- und Gasflaschenidentifikation	16
2.2.5	Schlüssel und Schlüsselanhänger	17
2.2.6	Uhren	18
2.2.7	Bauform ID-1, kontaktlose Chipkarten	18
2.2.8	Smart Label	20
2.2.9	Coil-on-Chip	21
2.2.10	Weitere Bauformen	22
2.3	Frequenz, Reichweite und Kopplung	22
2.4	Informationsverarbeitung im Transponder	23
2.5	Auswahlkriterien für RFID-Systeme	25
2.5.1	Arbeitsfrequenz	26
2.5.2	Reichweite	26
2.5.3	Sicherheitsanforderungen	27
2.5.4	Speicherkapazität	28
3	Grundlegende Funktionsweise	29
3.1	1-bit-Transponder	30
3.1.1	Radiofrequenz	30
3.1.2	Mikrowelle	33
3.1.3	Frequenzteiler	35
3.1.4	Elektro-Magnetisch	36

3.1.5	Akustomagnetisch	38
3.2	Voll- und Halbduplexverfahren	40
3.2.1	Induktive Kopplung	42
3.2.1.1	Energieversorgung passiver Transponder	42
3.2.1.2	Datenübertragung Transponder > Leser	44
3.2.2	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung	48
3.2.2.1	Energieversorgung der Transponder	48
3.2.2.2	Datenübertragung Transponder > Leser	50
3.2.3	Close Coupling	51
3.2.3.1	Energieversorgung der Transponder	51
3.2.3.2	Datenübertragung Transponder > Leser	52
3.2.4	Datenübertragung Leser > Transponder	53
3.2.5	Elektrische Kopplung	53
3.2.5.1	Energieversorgung passiver Transponder	53
3.2.5.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	55
3.3	Sequentielle Verfahren	55
3.3.1	Induktive Kopplung	56
3.3.1.1	Spannungsversorgung des Transponders	56
3.3.1.2	Vergleich zwischen FDX-/HDX- und SEQ-Systemen	56
3.3.1.3	Datenübertragung Transponder > Leser	58
3.3.2	Oberflächenwellen-Transponder	59
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	63
4.1	Magnetisches Feld	64
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	64
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf $H(x)$ bei Leiterschleifen	65
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	67
4.1.2	Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	68
4.1.3	Induktivität L	69
4.1.3.1	Induktivität einer Leiterschleife	70
4.1.4	Gegeninduktivität M	70
4.1.5	Kopplungsfaktor k	72
4.1.6	Induktionsgesetz	74
4.1.7	Resonanz	76
4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	81
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	81
4.1.8.2	Spannungsregelung	81
4.1.9	Ansprechfeldstärke H_{min}	83
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen	86
4.1.9.2	Ansprechbereich von Lesegeräten	88
4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	89
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz Z_T'	91
4.1.10.2	Einflussgrößen von Z_T'	94

4.1.10.3	Lastmodulation	101
4.1.11	Messung von Systemparametern	108
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	108
4.1.11.2	Messung der Transponderresonanzfrequenz	109
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	111
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	111
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	112
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	113
4.1.12.4	Einbau von Transpondern in Metall	114
4.2	Elektromagnetische Wellen	116
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	116
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen	117
4.2.2	Strahlungsdichte S	118
4.2.3	Feldwellenwiderstand und Feldstärke E	119
4.2.4	Polarisation elektromagnetischer Wellen	120
4.2.4.1	Reflexion elektromagnetischer Wellen	121
4.2.5	Antennen	123
4.2.5.1	Gewinn und Richtwirkung	123
4.2.5.2	EIRP und ERP	125
4.2.5.3	Eingangsimpedanz	125
4.2.5.4	Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt	126
4.2.5.5	Effektive Länge	129
4.2.5.6	Dipolantenne	130
4.2.5.7	Yagi-Uda-Antenne	132
4.2.5.8	Patch- oder Mikrostripantennen	132
4.2.5.9	Schlitzantennen	135
4.2.6	Praktischer Betrieb von Mikrowellentranspondern	135
4.2.6.1	Ersatzschaltbilder des Transponders	136
4.2.6.2	Spannungsversorgung passiver Transponder	137
4.2.6.3	Spannungsversorgung aktiver Transponder	145
4.2.6.4	Reflexion und Auslöschung	146
4.2.6.5	Ansprechempfindlichkeit des Transponders	147
4.2.6.6	Modulierter Rückstreuquerschnitt	147
4.2.6.7	Lesereichweite	150
4.3	Oberflächenwellen	153
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	153
4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	155
4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	156
4.3.4	Der Sensoreffekt	159
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	160
4.3.4.2	Resonante Sensoren	161
4.3.4.3	Impedanzsensoren	163
4.3.5	Geschaltete Sensoren	163

5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	165
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	165
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	166
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz	168
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz	168
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz	169
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz	169
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz	169
5.1.7	Frequenzbereich 869,0 MHz	170
5.1.8	Frequenzbereich 915,0 MHz	170
5.1.9	Frequenzbereich 2,45 GHz	170
5.1.10	Frequenzbereich 5,8 GHz	171
5.1.11	Frequenzbereich 24,125 GHz	171
5.1.12	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	171
5.2	Europäische Zulassungsvorschriften	174
5.2.1	CEPT/ERC REC 70-03	174
5.2.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices	175
5.2.1.2	Annex 4: Railway applications	176
5.2.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics	176
5.2.1.4	Annex 9: Inductive applications	177
5.2.1.5	Annex 11: RFID applications	177
5.2.1.6	Frequenzbereich 868 MHz	178
5.2.2	EN 300330: 9 kHz ... 25 MHz	178
5.2.2.1	Trägerleistung – Grenzwerte für H-Feld Sender	179
5.2.2.2	Nebenaussendungen	180
5.2.3	EN 300 220-1, EN 300 220-2	181
5.2.4	EN 300440	182
5.3	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa	183
5.3.1	Bundesrepublik Deutschland	183
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften	185
5.4.1	USA	185
5.4.2	Zukünftige Entwicklung: USA – Japan – Europa	186
6	Codierung und Modulation	189
6.1	Codierung im Basisband	190
6.2	Digitale Modulationsverfahren	192
6.2.1	Amplitudentastung (ASK)	193
6.2.2	2-FSK	195
6.2.3	2-PSK	196
6.2.4	Modulationsverfahren mit Hilfsträger	197
7	Datenintegrität	199
7.1	Prüfsummenverfahren	199
7.1.1	Paritätsprüfung	199

7.1.2	LRC-Verfahren	200
7.1.3	CRC-Verfahren	200
7.2	Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision	203
7.2.1	Raummultiplex – SDMA	206
7.2.2	Frequenzmultiplex – FDMA	207
7.2.3	Zeitmultiplex – TDMA	208
7.2.4	Beispiele für Antikollisionsverfahren	210
7.2.4.1	ALOHA-Verfahren	210
7.2.4.2	Slotted-ALOHA-Verfahren	212
7.2.4.3	Binary-Search-Algorithmus	216
8	Datensicherheit	225
8.1	Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	225
8.2	Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	227
8.3	Verschlüsselte Datenübertragung	228
8.3.1	Streamcipher	229
9	Normung	233
9.1	Tieridentifikation	233
9.1.1	ISO 11784 – Codestruktur	233
9.1.2	ISO 11785 – Technisches Konzept	233
9.1.2.1	Anforderungen	234
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System	236
9.1.2.3	Sequentielles System	236
9.1.3	ISO 14223 – Advanced Transponders	237
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface	237
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure	239
9.2	Kontaktlose Chipkarten	241
9.2.1	ISO 10536 – Close-coupling-Chipkarten	242
9.2.1.1	Part 1 – Physical characteristics	242
9.2.1.2	Part 2 – Dimensions and locations of coupling areas	242
9.2.1.3	Part 3 – Electronic signals and reset procedures	242
9.2.1.4	Part 4 – Answer to reset and transmission protocols	244
9.2.2	ISO 14443 – Proximity-coupling-Chipkarten	244
9.2.2.1	Part 1 – Physical characteristics	245
9.2.2.2	Part 2 – Radio frequency interface	245
9.2.2.3	Part 3 – Initialization and anticollision	250
9.2.2.4	Part 4 – Transmission protocols	257
9.2.3	ISO 15693 – Vicinity-coupling-Chipkarten	261
9.2.3.1	Part 1 – Physical characteristics	262
9.2.3.2	Part 2 – Air interface and initialization	262
9.2.4	ISO 10373 – Prüfmethoden für Chipkarten	267
9.2.4.1	Part 4 – Testverfahren für Close-coupling-Chipkarten	268
9.2.4.2	Part 6 – Testverfahren für Proximity-coupling-Chipkarten	268

9.2.4.3	Part 7 – Testverfahren für Vicinity-coupling-Chipkarten	271
9.3	DIN/ISO 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	272
9.4	ISO 10374 – Containeridentifikation	272
9.5	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	273
9.5.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusen-systeme	273
9.5.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	274
9.5.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	274
9.5.1.3	Formblätter in VDI 4470	275
9.5.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	275
9.6	Güter- und Warenwirtschaft	276
9.6.1	ISO 18000 Serie	276
9.6.2	GTAG Initiative	277
9.6.2.1	GTAG-Transportschicht (physical layer)	278
9.6.2.2	GTAG Leitungs- und Anwendungsschicht	279
10	Architektur elektronischer Datenträger	281
10.1	Transponder mit Speicherfunktion	281
10.1.1	HF-Interface	282
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger	282
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder	284
10.1.2	Adress- und Sicherheitslogik	286
10.1.2.1	State-Machine	287
10.1.3	Speicherarchitektur	288
10.1.3.1	Read-only-Transponder	288
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder	290
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion	290
10.1.3.4	Segmentierte Speicher	292
10.1.3.5	MIFARE [®] -Applikationsverzeichnis	295
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM	297
10.2	Mikroprozessoren	300
10.2.1	Dual Interface Karte	302
10.2.1.1	MIFARE plus	304
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card	305
10.3	Speichertechnologie	307
10.3.1	RAM	308
10.3.2	EEPROM	308
10.3.3	FRAM	310
10.3.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	311
10.4	Messung physikalischer Größen	312
10.4.1	Transponder mit Sensorfunktionen	312
10.4.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	314
10.4.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	315

11	Lesegeräte	319
11.1	Datenfluss in einer Applikation	319
11.2	Komponenten eines Lesegerätes	320
11.2.1	HF-Interface	321
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	321
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	322
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	324
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	325
11.2.2	Steuerung	326
11.3	Low-cost-Aufbau – Leser-IC U2270B	327
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme	329
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung	330
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel	332
11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q	336
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	336
11.5.1	OEM-Lesegeräte	337
11.5.2	Lesegeräte für industriellen Einsatz	337
11.5.3	Portable Lesegeräte	337
12	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	341
12.1	Glas- und Plastiktransponder	341
12.1.1	Modulherstellung	341
12.1.2	Transponderhalbzeug	343
12.1.3	Komplettierung	344
12.2	Kontaktlose Chipkarten	344
12.2.1	Spulherstellung	345
12.2.2	Verbindungstechnik	349
12.2.3	Laminieren	350
13	Anwendungsbeispiele	353
13.1	Kontaktlose Chipkarten	353
13.2	ÖPNV	355
13.2.1	Ausgangssituation	355
13.2.2	Anforderungen	356
13.2.2.1	Transaktionszeit	356
13.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	356
13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	357
13.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	358
13.2.5	Marktpotenzial	359
13.2.6	Projektbeispiele	360
13.2.6.1	Korea – Seoul	360
13.2.6.2	Deutschland – Lüneburg, Oldenburg	362
13.2.6.3	EU-Projekte – „ICARE“ und „CALYPSO“	363
13.3	Ticketing	366

13.3.1	Lufthansa Miles & More Card	366
13.3.2	Ski-Ticketing	368
13.4	Zutrittskontrolle	369
13.4.1	Online-Systeme	370
13.4.2	Offline-Systeme	370
13.4.3	Transponder	372
13.5	Verkehrssysteme	373
13.5.1	Eurobalise S21	373
13.5.2	Internationaler Containerverkehr	375
13.6	Tieridentifikation	376
13.6.1	Rinderhaltung	376
13.6.2	Brieftauben-Preisflug	382
13.7	Elektronische Wegfahrsperrung	384
13.7.1	Funktionsweise der Wegfahrsperrung	384
13.7.2	Kurze Erfolgsgeschichte	387
13.7.3	Zukunftsaussichten	388
13.8	Behälteridentifikation	389
13.8.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	389
13.8.2	Abfallentsorgung	391
13.9	Sportliche Veranstaltungen	393
13.10	Industrieautomation	395
13.10.1	Werkzeugidentifikation	395
13.10.2	Industrielle Fertigung	398
13.10.2.1	Zentrale Steuerung	399
13.10.2.2	Dezentrale Steuerung	400
13.10.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	401
13.10.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	401
13.10.2.5	Projektbeispiele	403
13.11	Medizinische Anwendungen	406
14	Anhang	409
14.1	Kontaktadressen, Verbände und Fachzeitschriften	409
14.1.1	Industrieverbände	409
14.1.2	Fachzeitschriften	411
14.1.3	RFID im Internet	412
14.2	Relevante Normen und Vorschriften	413
14.2.1	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	418
14.3	Literatur	419
14.4	Platinenlayouts	430
14.4.1	Testkarte nach ISO 14443	430
14.4.2	Feldgeneratorschleife	434
15	Register	437