

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Abkürzungen	XV
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	5
1.1.4.1 Speicherkarten	5
1.1.4.2 Mikroprozessorkarten	5
1.1.5 RFID-Systeme	7
1.2 Vergleich verschiedener ID-Systeme	7
1.3 Bestandteile eines RFID-Systems	9
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	16
2.2.4 Werkzeug- und Gasflaschenidentifikation	16
2.2.5 Schlüssel und Schlüsselanhänger	18
2.2.6 Uhren	18
2.2.7 Bauform ID-1, kontaktlose Chipkarten	19
2.2.8 Smart Label	21
2.2.9 Coil-on-Chip	23
2.2.10 Weitere Bauformen	23
2.3 Frequenz, Reichweite und Kopplung	23
2.3.1 Close Coupling	23
2.3.2 Remote Coupling	24
2.3.3 Long Range	25
2.3.4 Systemperformance	25
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

3.2	Voll- und Halbduplexverfahren	39
3.2.1	Induktive Kopplung	40
3.2.1.1	Energieversorgung passiver Transponder	40
3.2.1.2	Datenübertragung Transponder > Leser	43
3.2.2	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung	47
3.2.2.1	Energieversorgung der Transponder	47
3.2.2.2	Datenübertragung Transponder > Leser	48
3.2.3	Close Coupling	50
3.2.3.1	Energieversorgung der Transponder	50
3.2.3.2	Datenübertragung Transponder > Leser	51
3.2.4	Datenübertragung Leser > Transponder	52
3.3	Sequentielle Verfahren	52
3.3.1	Induktive Kopplung	52
3.3.1.1	Spannungsversorgung des Transponders	52
3.3.1.2	Vergleich zwischen FDX-/HDX- und SEQ-Systemen	53
3.3.1.3	Datenübertragung Transponder > Leser	54
3.3.2	Oberflächenwellen-Transponder	56
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	59
4.1	Magnetisches Feld	60
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	60
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf H(x) bei Leiterschleifen	61
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	64
4.1.2	Magnetischer Fluß und magnetische Flußdichte	65
4.1.3	Induktivität L	65
4.1.4	Gegeninduktivität M	67
4.1.5	Kopplungsfaktor k	68
4.1.6	Induktionsgesetz	69
4.1.7	Resonanz	73
4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	78
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	78
4.1.8.2	Spannungsregelung	79
4.1.9	Ansprechfeldstärke H_{\min}	81
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen ...	84
4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	86
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz Z_T'	88
4.1.10.2	Einflußgrößen von Z_T'	91
4.1.10.2.1	Sendefrequenz f_{TX}	92
4.1.10.2.2	Kopplungsfaktor k	93
4.1.10.2.3	Transponderkapazität C2	95
4.1.10.2.4	Lastwiderstand R_L	97
4.1.10.2.5	Transponderinduktivität L_2	98
4.1.10.3	Lastmodulation	99

4.1.10.3.1	Ohmsche Lastmodulation	99
4.1.10.3.2	Kapazitive Lastmodulation	101
4.1.10.3.3	Demodulation im Lesegerät	103
4.1.10.3.4	Einfluß des Gütefaktors Q	103
4.1.11	Messung von Systemparametern	106
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	106
4.1.11.2	Messung der Transponderresonanzfrequenz	108
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	110
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	110
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	111
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	112
4.2	Elektromagnetische Wellen	113
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	113
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei magnetischen Antennen	114
4.2.2	Reflexion elektromagnetischer Wellen	115
4.2.3	Rückstreuquerschnitt einer Antenne	117
4.2.4	Modulierter Rückstreuquerschnitt	120
4.2.5	Wirksame Länge	120
4.2.6	Antennenbauformen für Mikrowellentransponder	121
4.2.6.1	Schlitzantennen	121
4.2.6.2	Planarantennen	121
4.2.6.3	Übersicht – Antennenparameter	121
4.3	Oberflächenwellen	122
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	122
4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	124
4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	125
4.3.4	Der Sensoreffekt	128
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	129
4.3.4.2	Resonante Sensoren	131
4.3.4.3	Impedanzsensoren	133
4.3.5	Geschaltete Sensoren	133
5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	135
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	135
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	136
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz	138
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz	138
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz	138
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz	139
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz	139
5.1.7	Frequenzbereich 869,0 MHz	140
5.1.8	Frequenzbereich 915,0 MHz	140

5.1.9	Frequenzbereich 2,45 GHz	140
5.1.10	Frequenzbereich 5,8 GHz	140
5.1.11	Frequenzbereich 24,125 GHz	140
5.1.12	Auswahl einer geeigneten Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	141
5.2	Internationale Zulassungsvorschriften	144
5.2.1	CEPT/ERC 70-03	144
5.2.2	EN 300330: 9 kHz ... 25 MHz	144
5.2.2.1	Trägerleistung – Grenzwerte für Class-1-Sender ...	145
5.2.2.2	Trägerleistung – Grenzwerte für Class-2-Sender ...	145
5.2.2.3	Modulationsbandbreite	146
5.2.2.4	Nebenaussendungen	146
5.2.3	EN 300220-1, EN 300220-2	147
5.2.4	EN 300440	148
5.3	Nationale Zulassungsvorschriften – BRD	149
5.3.1	17 TR 2100	149
5.3.1.1	Grenzwerte für Trägerleistungen	149
5.3.1.2	Modulationsbandbreite	150
5.3.1.3	Nebenaussendungen	150
5.3.2	BAPT 222 ZV 125	150
5.3.3	BAPT 211 ZV 037/2050	151
5.3.4	BAPT 211 ZV 045 – Eurobalisen	151
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften – USA	151
6	Codierung und Modulation	153
6.1	Codierung im Basisband	154
6.2	Digitale Modulationsverfahren	156
6.2.1	Amplitudentastung (ASK)	157
6.2.2	2-FSK	160
6.2.3	2-PSK	161
6.2.4	Modulationsverfahren mit Hilfsträger	162
7	Datenintegrität	165
7.1	Prüfsummenverfahren	165
7.1.1	Paritätsprüfung	165
7.1.2	LRC-Verfahren	166
7.1.3	CRC-Verfahren	167
7.2	Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision	170
7.2.1	Raummultiplex – SDMA	172
7.2.2	Frequenzmultiplex – FDMA	174
7.2.3	Zeitmultiplex – TDMA	175
7.2.4	Beispiele für Antikollisionsverfahren	177
7.2.4.1	ALOHA-Verfahren	177
7.2.4.2	Slotted-ALOHA-Verfahren	180
7.2.4.3	„Binary-Search“-Algorithmus	184

8 Datensicherheit	193
8.1 Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	193
8.2 Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	195
8.3 Verschlüsselte Datenübertragung	196
8.3.1 Streamcipher	198
9 Normung	201
9.1 Tieridentifikation	201
9.1.1 ISO 11784 – Codestruktur	201
9.1.2 ISO 11785 – Technisches Konzept	202
9.1.2.1 Anforderungen	202
9.1.2.2 Voll-/Halbduplex-System	204
9.1.2.3 Sequentielles System	205
9.2 Kontaktlose Chipkarten	205
9.2.1 ISO 10536 – Close-coupling-Chipkarten	207
9.2.1.1 Part 1 – Physical characteristics	207
9.2.1.2 Part 2 – Dimensions and locations of coupling areas	207
9.2.1.3 Part 3 – Electronic signals and reset procedures	208
9.2.1.3.1 Energieversorgung	208
9.2.1.3.2 Datenübertragung Karte > Lesegerät	208
9.2.1.3.3 Datenübertragung Lesegerät > Karte	209
9.2.1.4 Part 4 – Answer to reset and transmission protocols	210
9.2.2 ISO 14443 – Proximity-coupling-Chipkarten	210
9.2.2.1 Part 1 – Physical characteristics	210
9.2.2.2 Part 2 – Radio frequency interface	210
9.2.2.2.1 Kommunikationsinterface – Typ A	212
9.2.2.2.2 Kommunikationsinterface – Typ B	213
9.2.2.2.3 Übersicht	215
9.2.2.3 Part 3 – Initialization and anticollision	215
9.2.2.3.1 Typ-A-Karte	216
9.2.2.3.2 Typ-B-Karte	219
9.2.3 ISO 15693 – Vicinity-coupling-Chipkarten	224
9.2.3.1 Part 1 – Physical characteristics	224
9.2.3.2 Part 2 – Air interface and initialisation	224
9.2.3.2.1 Datenübertragung Lesegerät → Karte	224
9.2.3.2.2 Datenübertragung Karte → Lesegerät	229
9.2.4 ISO 10373 – Prüfmethode für Chipkarten	229
9.2.4.1 Part 4: Testverfahren für Close-coupling-Chipkarten	230
9.2.4.2 Part 6: Testverfahren für Proximity-coupling-Chipkarten	230
9.2.4.2.1 Kalibrationsspule	230

9.2.4.2.2	Messung der Lastmodulation	231
9.2.4.2.3	Referenzkarte	233
9.2.4.3	Part 7: Testverfahren für Vicinity-coupling- Chipkarten	234
9.3	DIN/ISO 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	234
9.4	ISO 10374 – Containeridentifikation	235
9.5	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	236
9.5.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusensysteme	236
9.5.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	236
9.5.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	237
9.5.1.3	Formblätter in VDI 4470	238
9.5.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	238
10	Architektur elektronischer Datenträger	241
10.1	Transponder mit Speicherfunktion	241
10.1.1	HF-Interface	242
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger	243
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder	244
10.1.2	Adreß- und Sicherheitslogik	247
10.1.2.1	State-Machine	247
10.1.3	Speicherarchitektur	249
10.1.3.1	Read-only-Transponder	249
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder	251
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion	251
10.1.3.4	Segmentierte Speicher	254
10.1.3.5	MIFARE®-Applikationsverzeichnis	256
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM	259
10.2	Mikroprozessoren	263
10.2.1	Dual Interface Card	264
10.2.1.1	MIFARE® plus – Dual Interface Card	267
10.3	Speichertechnologie	268
10.3.1	RAM	268
10.3.2	EEPROM	269
10.3.3	FRAM	270
10.3.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	272
10.4	Messung physikalischer Größen	273
10.4.1	Transponder mit Sensorfunktionen	273
10.4.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	274
10.4.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	276
11	Lesegeräte	279
11.1	Datenfluß in einer Applikation	279

11.2	Komponenten eines Lesegerätes	280
11.2.1	HF-Interface	282
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	282
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	283
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	285
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	286
11.2.2	Steuerung	287
11.3	Low-cost-Aufbau – Leser-IC U2270B	289
11.4	Anschluß von Antennen	291
11.4.1	Antennen für induktive Systeme	291
11.4.1.1	Anschaltung mit Stromanpassung	291
11.4.1.2	Speisung über Koaxialkabel	294
11.4.1.3	Einfluß des Gütefaktors Q	298
11.4.2	Antennen für Mikrowellen-Systeme	299
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	300
12	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	303
12.1	Glas- und Plastiktransponder	303
12.1.1	Modulherstellung	304
12.1.2	Transponderhalbzeug	305
12.1.3	Komplettierung	306
12.2	Kontaktlose Chipkarten	306
12.2.1	Spulherstellung	307
12.2.2	Verbindungstechnik	312
12.2.3	Laminieren	313
13	Anwendungsbeispiele	315
13.1	Kontaktlose Chipkarten	315
13.2	ÖPNV	317
13.2.1	Ausgangssituation	318
13.2.2	Anforderungen	318
13.2.2.1	Transaktionszeit	318
13.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	319
13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	319
13.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	321
13.2.5	Marktpotential	322
13.2.6	Projektbeispiele	323
13.2.6.1	Korea: Seoul	323
13.2.6.2	Deutschland: Lüneburg, Oldenburg	325
13.2.6.3	EU-Projekte: „ICARE“ und „CALYPSO“	326
13.3	Ticketing	330
13.3.1	Lufthansa Miles & More Card	330
13.3.2	Ski-Ticketing	332

13.4	Zutrittskontrolle	334
13.5	Verkehrssysteme	337
13.5.1	Eurobalise S21	337
13.5.2	Internationaler Containerverkehr	340
13.6	Tieridentifikation	341
13.6.1	Rinderhaltung	341
13.6.2	Brieftauben-Preisflug	347
13.7	Elektronische Wegfahrsperrre	350
13.7.1	Funktionsweise der Wegfahrsperrre	351
13.7.2	Kurze Erfolgsgeschichte	353
13.7.3	Zukunftsaussichten	355
13.8	Behälteridentifikation	356
13.8.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	356
13.8.2	Abfallentsorgung	358
13.9	Sportliche Veranstaltungen	360
13.10	Industrieautomation	363
13.10.1	Werkzeugidentifikation	363
13.10.2	Industrielle Fertigung	366
13.10.2.1	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen ...	369
13.10.2.2	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	370
13.10.2.3	Projektbeispiele	371
14	Marktübersicht	375
14.1	Auswahlkriterien	375
14.1.1	Arbeitsfrequenz	375
14.1.2	Reichweite	376
14.1.3	Sicherheitsanforderungen	377
14.1.4	Speicherkapazität	378
14.2	Systemübersicht	378
15	Anhang	389
15.1	Kontaktadressen und Veranstaltungen	389
15.1.1	Industrieverbände	389
15.1.2	Fachzeitschriften	390
15.1.3	Veranstaltungen	391
15.1.4	RFID im Internet	392
15.2	Relevante Normen und Vorschriften	393
15.2.1	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	397
15.3	Literatur	397
15.4	Platinenlayouts	406
15.4.1	Testkarte nach ISO 14443	406
15.4.2	Feldgeneratorspule	410
16	Register	413