

HANSER

RFID-Handbuch

Klaus Finkenzeller

Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver
Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten

ISBN 3-446-40398-1

Inhaltsverzeichnis

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-40398-1> sowie im Buchhandel

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 4. Auflage	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	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 Aktive und passive Transponder	23
2.5 Informationsverarbeitung im Transponder	25
2.6 Auswahlkriterien für RFID-Systeme	27
2.6.1 Arbeitsfrequenz	28
2.6.2 Reichweite	28
2.6.3 Sicherheitsanforderungen	29
2.6.4 Speicherkapazität	30
3 Grundlegende Funktionsweise	31
3.1 1-bit-Transponder	32
3.1.1 Radiofrequenz	32
3.1.2 Mikrowelle	35

3.1.3	Frequenzteiler	37
3.1.4	Elektro-Magnetisch	38
3.1.5	Akustomagnetisch	40
3.2	Voll- und Halbduplexverfahren	42
3.2.1	Induktive Kopplung	44
3.2.1.1	Energieversorgung passiver Transponder	44
3.2.1.2	Datenübertragung Transponder > Leser	46
3.2.2	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung	50
3.2.2.1	Energieversorgung der Transponder	50
3.2.2.2	Datenübertragung Transponder > Leser	52
3.2.3	Close Coupling	53
3.2.3.1	Energieversorgung der Transponder	53
3.2.3.2	Datenübertragung Transponder > Leser	54
3.2.4	Datenübertragung Leser > Transponder	55
3.2.5	Elektrische Kopplung	55
3.2.5.1	Energieversorgung passiver Transponder	55
3.2.5.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	57
3.3	Sequentielle Verfahren	57
3.3.1	Induktive Kopplung	58
3.3.1.1	Spannungsversorgung des Transponders	58
3.3.1.2	Vergleich zwischen FDX-/HDX- und SEQ-Systemen	58
3.3.1.3	Datenübertragung Transponder > Leser	60
3.3.2	Oberflächenwellen-Transponder	61
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	65
4.1	Magnetisches Feld	66
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	66
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf H(x) bei Leiterschleifen	67
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	69
4.1.2	Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	71
4.1.3	Induktivität L	71
4.1.3.1	Induktivität einer Leiterschleife	72
4.1.4	Gegeninduktivität M	72
4.1.5	Kopplungsfaktor k	74
4.1.6	Induktionsgesetz	76
4.1.7	Resonanz	78
4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	83
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	83
4.1.8.2	Spannungsregelung	83
4.1.9	Ansprechfeldstärke H _{min}	85
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen	88
4.1.9.2	Ansprechbereich von Lesegeräten	90

4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	91
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz ZT'	93
4.1.10.2	Einflussgrößen von ZT'	96
4.1.10.3	Lastmodulation	103
4.1.11	Messung von Systemparametern	110
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	110
4.1.11.2	Messung von Transponderresonanzfrequenz und Gütefaktor	111
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	115
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	115
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	116
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	117
4.1.12.4	Einbau von Transpondern in Metall	118
4.2	Elektromagnetische Wellen	120
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	120
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen	121
4.2.2	Strahlungsdichte S	122
4.2.3	Feldwellenwiderstand und Feldstärke E	123
4.2.4	Polarisation elektromagnetischer Wellen	124
4.2.4.1	Reflexion elektromagnetischer Wellen	125
4.2.5	Antennen	127
4.2.5.1	Gewinn und Richtwirkung	127
4.2.5.2	EIRP und ERP	129
4.2.5.3	Eingangsimpedanz	129
4.2.5.4	Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt	130
4.2.5.5	Effektive Länge	133
4.2.5.6	Dipolantenne	134
4.2.5.7	Yagi-Uda-Antenne	136
4.2.5.8	Patch- oder Mikrostripantennen	136
4.2.5.9	Schlitzantennen	139
4.2.6	Praktischer Betrieb von Mikrowellentranspondern	139
4.2.6.1	Ersatzschaltbilder des Transponders	140
4.2.6.2	Spannungsversorgung passiver Transponder	141
4.2.6.3	Spannungsversorgung aktiver Transponder	149
4.2.6.4	Reflexion und Auslöschung	150
4.2.6.5	Ansprechempfindlichkeit des Transponders	151
4.2.6.6	Modulierter Rückstreuquerschnitt	151
4.2.6.7	Lesereichweite	154
4.3	Oberflächenwellen	157
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	157
4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	159

4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	160
4.3.4	Der Sensoreffekt	163
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	164
4.3.4.2	Resonante Sensoren	165
4.3.4.3	Impedanzsensoren	167
4.3.5	Geschaltete Sensoren	167
5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	169
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	169
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	171
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz (ISM)	173
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz (ISM, SRD)	174
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz (ISM)	174
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz (ISM)	175
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz (ISM)	175
5.1.7	UHF-Frequenzbereich	176
5.1.7.1	Frequenzbereich 865,0 MHz (SRD)	176
5.1.7.2	Frequenzbereich 915,0 MHz	176
5.1.8	Frequenzbereich 2,45 GHz (ISM, SRD)	176
5.1.9	Frequenzbereich 5,8 GHz (ISM, SRD)	177
5.1.10	Frequenzbereich 24,125 GHz (ISM)	177
5.1.11	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	177
5.2	Internationale Fernmeldeunion (ITU)	180
5.3	Europäische Zulassungsvorschriften	181
5.3.1	CEPT/ERC REC 70-03	182
5.3.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices	183
5.3.1.2	Annex 4: Railway applications	184
5.3.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics	185
5.3.1.4	Annex 9: Inductive applications	186
5.3.1.5	Annex 11: RFID applications	188
5.3.2	Standardisierte Messverfahren	188
5.3.2.1	Übergreifende Standards	188
5.3.2.2	Anwendungsspezifische Messvorschriften	190
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa	191
5.4.1	Bundesrepublik Deutschland	191
5.4.1.1	Induktive Funkanwendungen	191
5.4.1.2	RFID-Systeme im UHF-Bereich	193
5.5	Nationale Zulassungsvorschriften	195
5.5.1	USA	195
5.6	Vergleich nationaler Regulierungsvorschriften	196
5.6.1	Umrechnung bei 13,56 MHz	196
5.6.2	Umrechnung auf UHF	198

6	Codierung und Modulation	199
6.1	Codierung im Basisband	200
6.2	Digitale Modulationsverfahren	202
6.2.1	Amplitudentastung (ASK)	203
6.2.2	2-FSK	205
6.2.3	2-PSK	206
6.2.4	Modulationsverfahren mit Hilfsträger	207
7	Datenintegrität	209
7.1	Prüfsummenverfahren	209
7.1.1	Paritätsprüfung	209
7.1.2	LRC-Verfahren	210
7.1.3	CRC-Verfahren	211
7.2	Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision	213
7.2.1	Raummultiplex – SDMA	216
7.2.2	Frequenzmultiplex – FDMA	217
7.2.3	Zeitmultiplex – TDMA	218
7.2.4	Beispiele für Antikollisionsverfahren	220
7.2.4.1	ALOHA-Verfahren	220
7.2.4.2	Slotted-ALOHA-Verfahren	222
7.2.4.3	Binary-Search-Algorithmus	226
8	Sicherheit von RFID-Systemen	235
8.1	Angriffe auf RFID-Systeme	236
8.1.1	Angriffe auf den Transponder	237
8.1.1.1	Dauerhaftes Zerstören des Transponders	237
8.1.1.2	Abschirmen oder Verstimmen des Transponders	238
8.1.1.3	Emulieren und Klonen eines Transponders	238
8.1.2	Angriffe über das HF-Interface	240
8.1.2.1	Abhören der Kommunikation	240
8.1.2.2	Störsender	241
8.1.2.3	Lesen mit vergrößerter Lesereichweite	241
8.1.2.4	Denial of Service-Angriff durch Blocker Tags	248
8.1.2.5	Relay-Attack	249
8.2	Abwehr durch kryptographische Maßnahmen	252
8.2.1	Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	253
8.2.2	Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	254
8.2.3	Verschlüsselte Datenübertragung	255
8.2.3.1	Streamcipher	256

9	Normung	259
9.1	Tieridentifikation	259
9.1.1	ISO/IEC 11784 – Codestruktur	259
9.1.2	ISO/IEC 11785 – Technisches Konzept	260
9.1.2.1	Anforderungen	260
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System	262
9.1.2.3	Sequentielles System	262
9.1.3	ISO/IEC 14223 – Advanced Transponders	263
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface	263
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure	265
9.2	Kontaktlose Chipkarten	267
9.2.1	ISO/IEC 10536 – Close-coupling-Chipkarten	268
9.2.1.1	Part 1 – Physical characteristics	268
9.2.1.2	Part 2 – Dimensions and locations of coupling areas	268
9.2.1.3	Part 3 – Electronic signals and reset procedures	268
9.2.1.4	Part 4 – Answer to reset and transmission protocols	270
9.2.2	ISO/IEC 14443 – Proximity-coupling-Chipkarten	270
9.2.2.1	Part 1 – Physical characteristics	271
9.2.2.2	Part 2 – Radio frequency interface	271
9.2.2.3	Part 3 – Initialization and anticollision	276
9.2.2.4	Part 4 – Transmission protocols	283
9.2.3	ISO/IEC 15693 – Vicinity-coupling-Chipkarten	287
9.2.3.1	Part 1 – Physical characteristics	288
9.2.3.2	Part 2 – Air interface and initialization	288
9.2.4	ISO/IEC 10373 – Prüfmethoden für Chipkarten	293
9.2.4.1	Part 4 – Testverfahren für Close-coupling-Chipkarten	294
9.2.4.2	Part 6 – Testverfahren für Proximity-coupling-Chipkarten	294
9.2.4.3	Part 7 – Testverfahren für Vicinity-coupling-Chipkarten	297
9.3	ISO/IEC 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	298
9.4	ISO/IEC 10374 – Containeridentifikation	298
9.5	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	299
9.5.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusen-systeme	299
9.5.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	300
9.5.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	300
9.5.1.3	Formblätter in VDI 4470	301
9.5.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	301
9.6	Güter- und Warenwirtschaft	302
9.6.1	ISO/IEC 18000 Reihe	302
9.6.1.1	ISO/IEC 15691 und 15692	303
9.6.2	GTAG Initiative	305
9.6.2.1	GTAG-Transportschicht (physical layer)	306
9.6.2.2	GTAG Leitungs- und Anwendungsschicht	307

9.6.3	EPCglobal Network	307
9.6.3.1	Generation 2	309
9.6.3.2	Normen und Spezifikationen	310
9.6.3.3	Der Electronic Product Code (EPC)	311
9.6.3.4	Transponderklassen	314
9.6.3.5	Einführung in das EPC-Netzwerk	315
10	Architektur elektronischer Datenträger	317
10.1	Transponder mit Speicherfunktion	317
10.1.1	HF-Interface	318
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger	318
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder	320
10.1.2	Adress- und Sicherheitslogik	322
10.1.2.1	State-Machine	323
10.1.3	Speicherarchitektur	324
10.1.3.1	Read-only-Transponder	324
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder	326
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion	326
10.1.3.4	Segmentierte Speicher	328
10.1.3.5	MIFARE [®] -Applikationsverzeichnis	331
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM	333
10.2	Mikroprozessoren	337
10.2.1	Dual Interface Karte	338
10.2.1.1	MIFARE plus	340
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card	341
10.3	Speichertechnologie	343
10.3.1	RAM	344
10.3.2	EEPROM	344
10.3.3	FRAM	346
10.3.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	347
10.4	Messung physikalischer Größen	348
10.4.1	Transponder mit Sensorfunktionen	348
10.4.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	350
10.4.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	351
11	Lesegeräte	355
11.1	Datenfluss in einer Applikation	355
11.2	Komponenten eines Lesegerätes	356
11.2.1	HF-Interface	357
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	357
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	358
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	360
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	361
11.2.2	Steuerung	362

11.3	Low-cost-Aufbau – Leser-IC U2270B	363
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme	365
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung	366
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel	368
11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q	372
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	372
11.5.1	OEM-Lesegeräte	373
11.5.2	Lesegeräte für industriellen Einsatz	373
11.5.3	Portable Lesegeräte	374
12	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	377
12.1	Glas- und Plastiktransponder	377
12.1.1	Modulherstellung	377
12.1.2	Transponderhalbzeug	379
12.1.3	Komplettierung	380
12.2	Kontaktlose Chipkarten	380
12.2.1	Spulherstellung	381
12.2.2	Verbindungstechnik	385
12.2.3	Laminieren	386
13	Anwendungsbeispiele	389
13.1	Kontaktlose Chipkarten	389
13.2	ÖPNV	391
13.2.1	Ausgangssituation	391
13.2.2	Anforderungen	392
13.2.2.1	Transaktionszeit	392
13.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	393
13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	393
13.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	394
13.2.5	Marktpotenzial	395
13.2.6	Projektbeispiele	396
13.2.6.1	Korea – Seoul	396
13.2.6.2	Deutschland – Lüneburg, Oldenburg	398
13.2.6.3	EU-Projekte – „ICARE“ und „CALYPSO“	399
13.3	Elektronischer Reisepass	402
13.4	Ski-Ticketing	406
13.5	Zutrittskontrolle	407
13.5.1	Online-Systeme	408
13.5.2	Offline-Systeme	408
13.5.3	Transponder	410
13.6	Verkehrssysteme	411
13.6.1	Eurobalise S21	411
13.6.2	Internationaler Containerverkehr	413

13.7	Tieridentifikation	414
13.7.1	Rinderhaltung	414
13.7.2	Brieftauben-Preisflug	420
13.8	Elektronische Wegfahrsperrre	422
13.8.1	Funktionsweise der Wegfahrsperrre	422
13.8.2	Kurze Erfolgsgeschichte	425
13.8.3	Zukunftsaussichten	426
13.9	Behälteridentifikation	427
13.9.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	427
13.9.2	Abfallentsorgung	429
13.10	Sportliche Veranstaltungen	431
13.11	Industrieautomation	433
13.11.1	Werkzeugidentifikation	433
13.11.2	Industrielle Fertigung	436
13.11.2.1	Zentrale Steuerung	437
13.11.2.2	Dezentrale Steuerung	438
13.11.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	439
13.11.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	439
13.11.2.5	Projektbeispiele	441
13.12	Medizinische Anwendungen	444
14	Anhang	447
14.1	Kontaktadressen, Verbände und Fachzeitschriften	447
14.1.1	Industrieverbände	447
14.1.2	Fachzeitschriften	449
14.1.3	RFID im Internet	450
14.2	Relevante Normen und Vorschriften	451
14.2.1	Normungsgremien	451
14.2.2	Normenliste	451
14.2.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	459
14.3	Literatur	460
14.4	Platinenlayouts	471
14.4.1	Testkarte nach ISO 14443	471
14.4.2	Feldgeneratorspule	475
15	Register	479