

HANSER

Inhaltsverzeichnis

Klaus Finkenzeller

RFID-Handbuch

Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern,
kontaktlosen Chipkarten und NFC

ISBN: 978-3-446-41200-2

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41200-2>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 5. Auflage	XV
Verwendete Abkürzungen	XVII
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	41
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	47
3.2.2	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung	51
3.2.2.1	Energieversorgung der Transponder	51
3.2.2.2	Datenübertragung Transponder > Leser	53
3.2.3	Close coupling	54
3.2.3.1	Energieversorgung der Transponder	54
3.2.3.2	Datenübertragung Transponder > Leser	55
3.2.4	Datenübertragung Leser > Transponder	55
3.2.5	Elektrische Kopplung	56
3.2.5.1	Energieversorgung passiver Transponder	56
3.2.5.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	58
3.3	Sequentielle Verfahren	58
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	59
3.3.1.3	Datenübertragung Transponder > Leser	61
3.3.2	Oberflächenwellen-Transponder	62
3.4	Near Field Communication (NFC)	64
3.4.1	Active Mode	65
3.4.2	Passive Mode	67
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	69
4.1	Magnetisches Feld	70
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	70
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf $H(x)$ bei Leiterschleifen	71
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	73
4.1.2	Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	75
4.1.3	Induktivität L	75
4.1.3.1	Induktivität einer Leiterschleife	76
4.1.4	Gegeninduktivität M	76
4.1.5	Kopplungsfaktor k	78
4.1.6	Induktionsgesetz	80
4.1.7	Resonanz	82

4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	87
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	87
4.1.8.2	Spannungsregelung	87
4.1.9	Ansprechfeldstärke H_{min}	89
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen	92
4.1.9.2	Ansprechbereich von Lesegeräten	94
4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	95
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz ZT'	97
4.1.10.2	Einflussgrößen von ZT'	100
4.1.10.3	Lastmodulation	107
4.1.11	Messung von Systemparametern	114
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	114
4.1.11.2	Messung von Transponderresonanzfrequenz und Gütefaktor	115
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	119
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	119
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	120
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	121
4.1.12.4	Einbau von Transpondern in Metall	122
4.2	Elektromagnetische Wellen	124
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	124
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen	125
4.2.2	Strahlungsdichte S	126
4.2.3	Feldwellenwiderstand und Feldstärke E	127
4.2.4	Polarisation elektromagnetischer Wellen	128
4.2.4.1	Reflexion elektromagnetischer Wellen	129
4.2.5	Antennen	131
4.2.5.1	Gewinn und Richtwirkung	131
4.2.5.2	EIRP und ERP	133
4.2.5.3	Eingangsimpedanz	133
4.2.5.4	Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt	134
4.2.5.5	Effektive Länge	137
4.2.5.6	Dipolantenne	138
4.2.5.7	Yagi-Uda-Antenne	140
4.2.5.8	Patch- oder Mikrostripantennen	140
4.2.5.9	Schlitzantennen	143
4.2.6	Praktischer Betrieb von Mikrowellentranspondern	143
4.2.6.1	Ersatzschaltbilder des Transponders	144
4.2.6.2	Spannungsversorgung passiver Transponder	145
4.2.6.3	Spannungsversorgung aktiver Transponder	153
4.2.6.4	Reflexion und Auslöschung	154
4.2.6.5	Ansprechempfindlichkeit des Transponders	155
4.2.6.6	Modulierter Rückstreuquerschnitt	155
4.2.6.7	Lesereichweite	158

4.3	Oberflächenwellen	161
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	161
4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	163
4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	164
4.3.4	Der Sensoreffekt	166
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	168
4.3.4.2	Resonante Sensoren	169
4.3.4.3	Impedanzsensoren	171
4.3.5	Geschaltete Sensoren	171
5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	173
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	173
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	175
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz (ISM)	177
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz (ISM, SRD)	178
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz (ISM)	178
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz (ISM)	179
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz (ISM)	179
5.1.7	UHF-Frequenzbereich	180
5.1.7.1	Frequenzbereich 865,0 MHz (SRD)	180
5.1.7.2	Frequenzbereich 915,0 MHz	180
5.1.8	Frequenzbereich 2,45 GHz (ISM, SRD)	180
5.1.9	Frequenzbereich 5,8 GHz (ISM, SRD)	181
5.1.10	Frequenzbereich 24,125 GHz (ISM)	181
5.1.11	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	181
5.2	Internationale Fernmeldeunion (ITU)	184
5.3	Europäische Zulassungsvorschriften	185
5.3.1	CEPT/ERC REC 70-03	186
5.3.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices	187
5.3.1.2	Annex 4: Railway applications	188
5.3.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics	189
5.3.1.4	Annex 9: Inductive applications	190
5.3.1.5	Annex 11: RFID applications	192
5.3.2	Standardisierte Messverfahren	192
5.3.2.1	Übergreifende Standards	192
5.3.2.2	Anwendungsspezifische Messvorschriften	194
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa	195
5.4.1	Bundesrepublik Deutschland	195
5.4.1.1	Induktive Funkanwendungen	195
5.4.1.2	RFID-Systeme im UHF-Bereich	197
5.5	Nationale Zulassungsvorschriften	199
5.5.1	USA	199

5.6	Vergleich nationaler Regulierungsvorschriften	200
5.6.1	Umrechnung bei 13,56 MHz	200
5.6.2	Umrechnung auf UHF	202
6	Codierung und Modulation	203
6.1	Codierung im Basisband	204
6.2	Digitale Modulationsverfahren	206
6.2.1	Amplitudentastung (ASK)	207
6.2.2	2-FSK	209
6.2.3	2-PSK	210
6.2.4	Modulationsverfahren mit Hilfsträger	211
7	Datenintegrität	213
7.1	Prüfsummenverfahren	213
7.1.1	Paritätsprüfung	213
7.1.2	LRC-Verfahren	214
7.1.3	CRC-Verfahren	215
7.2	Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision	217
7.2.1	Raummultiplex – SDMA	220
7.2.2	Frequenzmultiplex – FDMA	221
7.2.3	Zeitmultiplex – TDMA	222
7.2.4	Beispiele für Antikollisionsverfahren	224
7.2.4.1	ALOHA-Verfahren	224
7.2.4.2	Slotted-ALOHA-Verfahren	226
7.2.4.3	Binary-Search-Algorithmus	230
8	Sicherheit von RFID-Systemen	239
8.1	Angriffe auf RFID-Systeme	240
8.1.1	Angriffe auf den Transponder	241
8.1.1.1	Dauerhaftes Zerstören des Transponders	241
8.1.1.2	Abschirmen oder Verstimmen des Transponders	242
8.1.1.3	Emulieren und Klonen eines Transponders	242
8.1.2	Angriffe über das HF-Interface	244
8.1.2.1	Abhören der Kommunikation	244
8.1.2.2	Störsender	245
8.1.2.3	Lesen mit vergrößerter Lesereichweite	245
8.1.2.4	Denial of Service-Angriff durch Blocker Tags	252
8.1.2.5	Relay-Attack	253
8.2	Abwehr durch kryptografische Maßnahmen	256
8.2.1	Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	257
8.2.2	Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	258
8.2.3	Verschlüsselte Datenübertragung	259
8.2.3.1	Streamcipher	261

9	Normung	265
9.1	Tieridentifikation	265
9.1.1	ISO/IEC 11784 – Codestruktur	265
9.1.2	ISO/IEC 11785 – Technisches Konzept	266
9.1.2.1	Anforderungen	266
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System	268
9.1.2.3	Sequentielles System	268
9.1.3	ISO/IEC 14223 – Advanced Transponders	269
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface	269
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure	271
9.2	Kontaktlose Chipkarten	273
9.2.1	ISO/IEC 10536 – Close coupling Chipkarten	274
9.2.1.1	Part 1 – Physical characteristics	274
9.2.1.2	Part 2 – Dimensions and locations of coupling areas	274
9.2.1.3	Part 3 – Electronic signals and reset procedures	274
9.2.1.4	Part 4 – Answer to reset and transmission protocols	276
9.2.2	ISO/IEC 14443 – Proximity coupling Chipkarten	276
9.2.2.1	Part 1 – Physical characteristics	277
9.2.2.2	Part 2 – Radio frequency interface	277
9.2.2.3	Part 3 – Initialization and anticollision	282
9.2.2.4	Part 4 – Transmission protocols	289
9.2.3	ISO/IEC 15693 – Vicinity coupling Chipkarten	293
9.2.3.1	Part 1 – Physical characteristics	294
9.2.3.2	Part 2 – Air interface and initialization	294
9.2.4	ISO/IEC 10373 – Prüfmethoden für Chipkarten	299
9.2.4.1	Part 4 – Testverfahren für Close coupling Chipkarten	300
9.2.4.2	Part 6 – Testverfahren für Proximity coupling Chipkarten	300
9.2.4.3	Part 7 – Testverfahren für Vicinity coupling Chipkarten	303
9.3	ISO/IEC 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	304
9.4	ISO/IEC 10374 – Containeridentifikation	304
9.5	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	305
9.5.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusensysteme	305
9.5.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	306
9.5.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	306
9.5.1.3	Formblätter in VDI 4470	307
9.5.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	307
9.6	Güter- und Warenwirtschaft	308
9.6.1	ISO/IEC 18000 Reihe	308
9.6.1.1	ISO/IEC 15691 und 15692	309
9.6.2	GTAG Initiative	311
9.6.2.1	GTAG-Transportschicht (physical layer)	312
9.6.2.2	GTAG Leitungs- und Anwendungsschicht	313

9.6.3	EPCglobal Network	313
9.6.3.1	Generation 2	315
9.6.3.2	Normen und Spezifikationen	316
9.6.3.3	Der Electronic Product Code (EPC)	317
9.6.3.4	Transponderklassen	320
9.6.3.5	Einführung in das EPC-Netzwerk	321
10	Architektur elektronischer Datenträger	323
10.1	Transponder mit Speicherfunktion	323
10.1.1	HF-Interface	324
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger	324
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder	326
10.1.2	Adress- und Sicherheitslogik	328
10.1.2.1	State-Machine	329
10.1.3	Speicherarchitektur	330
10.1.3.1	Read-only-Transponder	330
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder	332
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion	332
10.1.3.4	Segmentierte Speicher	334
10.1.3.5	MIFARE [®] -Applikationsverzeichnis	337
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM	339
10.2	Mikroprozessoren	343
10.2.1	Dual Interface Karte	344
10.2.1.1	MIFARE plus	346
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card	347
10.3	Speichertechnologie	349
10.3.1	RAM	350
10.3.2	EEPROM	350
10.3.3	FRAM	352
10.3.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	353
10.4	Messung physikalischer Größen	354
10.4.1	Transponder mit Sensorfunktionen	354
10.4.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	356
10.4.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	357
11	Lesegeräte	361
11.1	Datenfluss in einer Applikation	361
11.2	Komponenten eines Lesegerätes	362
11.2.1	HF-Interface	363
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	363
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	364
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	366
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	367
11.2.2	Steuerung	368

11.3	Integrierte Leser-ICs	369
11.3.1	Integriertes HF-Interface	370
11.3.2	Single Chip Reader IC	373
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme	378
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung	379
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel	380
11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q	384
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	385
11.5.1	OEM-Lesegeräte	385
11.5.2	Lesegeräte für industriellen Einsatz	386
11.5.3	Portable Lesegeräte	387
11.6	Near Field Communication	388
11.6.1	Secure-NFC	389
11.6.1.1	Single Wire Protokoll	392
11.6.1.2	NFC Wired Interface	394
12	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	397
12.1	Glas- und Plastiktransponder	397
12.1.1	Chipherstellung	397
12.1.2	Glastransponder	399
12.1.3	Plastiktransponder	401
12.2	Kontaktlose Chipkarten	402
12.2.1	Spulenerstellung	403
12.2.2	Verbindungstechnik	407
12.2.3	Laminieren	408
13	Anwendungsbeispiele	411
13.1	Kontaktlose Chipkarten	411
13.2	Öffentlicher Nahverkehr	412
13.2.1	Ausgangssituation	412
13.2.2	Anforderungen	413
13.2.2.1	Transaktionszeit	413
13.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	414
13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	415
13.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	416
13.2.5	Marktpotenzial	416
13.2.6	Projektbeispiele	417
13.2.6.1	Korea – Seoul	417
13.2.6.2	Deutschland – Lüneburg, Oldenburg	419
13.2.6.3	EU-Projekte – „ICARE“ und „CALYPSO“	421
13.3	Kontaktloser Zahlungsverkehr	424
13.3.1	MasterCard® Pay Pass	427
13.3.2	ExpressPay von American Express®	427

13.3.3	Visa® Contactless	427
13.3.4	ExxonMobil Speedpass	427
13.4	NFC-Anwendungen	428
13.5	Elektronischer Reisepass	434
13.6	Ski-Ticketing	438
13.7	Zutrittskontrolle	439
13.7.1	Online-Systeme	439
13.7.2	Offline-Systeme	440
13.7.3	Transponder	442
13.8	Verkehrssysteme	443
13.8.1	Eurobalise S21	443
13.8.2	Internationaler Containerverkehr	445
13.9	Tieridentifikation	446
13.9.1	Rinderhaltung	446
13.9.2	Brieftauben-Preisflug	452
13.10	Elektronische Wegfahrsperrung	454
13.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperrung	454
13.10.2	Kurze Erfolgsgeschichte	457
13.10.3	Zukunftsaussichten	458
13.11	Behälteridentifikation	459
13.11.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	459
13.11.2	Abfallentsorgung	461
13.12	Sportliche Veranstaltungen	463
13.13	Industrieautomation	465
13.13.1	Werkzeugidentifikation	465
13.13.2	Industrielle Fertigung	468
13.13.2.1	Zentrale Steuerung	469
13.13.2.2	Dezentrale Steuerung	470
13.13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	471
13.13.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	471
13.13.2.5	Projektbeispiele	473
13.14	Medizinische Anwendungen	476
14	Anhang	479
14.1	Kontaktadressen, Verbände und Fachzeitschriften	479
14.1.1	Industrieverbände	479
14.1.2	Fachzeitschriften	481
14.1.3	RFID im Internet	482
14.2	Relevante Normen und Vorschriften	483
14.2.1	Normungsgremien	483
14.2.2	Normenliste	483
14.2.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	491

14.3	Literatur	492
14.4	Platinenlayouts	504
14.4.1	Testkarte nach ISO 14443	504
14.4.2	Feldgeneratorspule	508
14.4.3	Lesegerät für 13,56 MHz	510
15	Register	517