

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort zur 5. Auflage .....</b>	<b>XV</b>
<b>Verwendete Abkürzungen .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
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
<b>2 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen .....</b>	<b>11</b>
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

<b>3</b>	<b>Grundlegende Funktionsweise .....</b>	<b>31</b>
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
<b>4</b>	<b>Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme .....</b>	<b>69</b>
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	„Energierreichweite“ 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 Auslösung .....	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	<b>Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften .....</b>	<b>173</b>
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
<b>6</b>	<b>Codierung und Modulation .....</b>	<b>203</b>
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
<b>7</b>	<b>Datenintegrität .....</b>	<b>213</b>
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
<b>8</b>	<b>Sicherheit von RFID-Systemen .....</b>	<b>239</b>
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

---

<b>9</b>	<b>Normung .....</b>	<b>265</b>
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 – Waren sicherungssysteme .....	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
<b>10</b>	<b>Architektur elektronischer Datenträger .....</b>	<b>323</b>
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
<b>11</b>	<b>Lesegeräte .....</b>	<b>361</b>
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	<b>Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten .....</b>	<b>397</b>
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	Spulenherstellung .....	403
12.2.2	Verbindungstechnik .....	407
12.2.3	Laminieren .....	408
13	<b>Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>411</b>
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 – „JCARE“ 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 Wegfahrsperrre .....	454
13.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperrre .....	454
13.10.2	Kurze Erfolgsgeschichte .....	457
13.10.3	Zukunftsansichten .....	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
<b>14</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>479</b>
14.1	Kontaktdressen, 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
<b>15</b>	<b>Register .....</b>	<b>517</b>