

NEU!
7. Auflage



klaus FINKENZELLER

RFID HANDBUCH

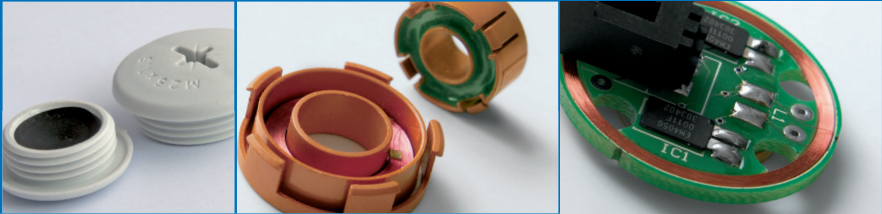
**Grundlagen und
praktische Anwendungen
von Transpondern,
kontaktlosen Chipkarten
und NFC**

HANSER



»Hier bleibt keine technische Frage
unbeantwortet.« c't

RFID-Transponder für Ihre Anwendung



• kundenspezifisch • in höchster Qualität

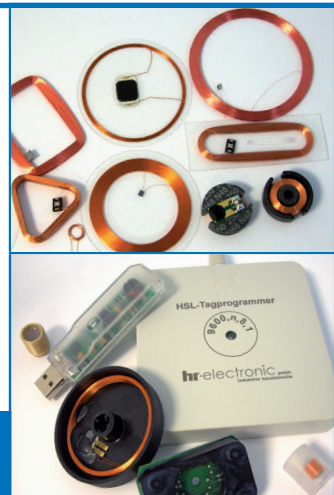
hr electronic ist Hersteller und Zulieferer von RFID-Komponenten für eine große Bandbreite von Anwendungen in allen Größen und Frequenzen.

Wir fertigen auch RFID-Komponenten sowie Reader für den Einsatz in besonders anspruchsvollen Anwendungen. Profitieren Sie von unserer langjährigen Erfahrung bei der Herstellung unserer kundenorientierten RFID-Lösungen. Qualität und Zuverlässigkeit stehen bei uns an erster Stelle.

hr·electronic

Wir bieten Lösungen für:

- Zutrittskontrolle
- Industrie-Automation
- Logistik
- Werkzeugerkennung
- Produktionssteuerung u. -überwachung
- Robuste Industrieanwendungen
- Prozessplanung
- Behältermanagement



hr electronic gmbh • Vogelherd 23 • D-78176 Blumberg
Tel. +49 (0)7702-477 960 • Fax +49 (0)7702-477 989
info@hrelectronic.com • www.hrelectronic.com



Pushing Performance

Bausteine für Ihren Erfolg: **RFID** aus einer Hand.



Wann hat Ersatzteil X das Lager verlassen? Wo ist Container Y? Und wann erreicht Element Z die Produktion?

Mit Ha-VIS RFID finden Sie schnell die richtigen Antworten. Das voll integrierte RFID-System von HARTING bietet Ihnen eine komplette Infrastrukturlösung aus einer Hand. So erhalten Sie schnell Echtzeitinformationen zum Planen, Durchführen und Kontrollieren von Produktions-, Logistik- oder Wartungsprozessen. Und dank seines modularen Aufbaus aus Reader, Transponder, Middleware und Dienstleistung lässt es sich perfekt an Ihre individuellen Anforderungen und Bedingungen anpassen. Welche RFID-Lösung die richtige Antwort auf Ihre Fragen ist, erfahren Sie unter www.HARTING-RFID.com oder mailen Sie an Auto-ID@HARTING.com.

RFID-Lösungen



Barcode- & RFID-Drucker



Lasersysteme & Beschriftung



Etiketten & Farbbänder



Sicherheits- kennzeichnung



Applikatoren



Systemanbieter für industrielle Kennzeichnung

DYNAMIC Systems ist spezialisiert auf individuelle Komplettlösungen für automatisierte Kennzeichnungsaufgaben.

Das Produktspektrum umfasst sowohl kundenspezifische RFID-Lösungen als auch Etiketten, Drucker, Barcode-Scanner, Beschriftungssysteme und Software.

Mit integrierten und übergreifenden Konzepten bieten wir als Etikettenhersteller und Systemanbieter industrielle Kennzeichnung „aus einer Hand“.

DYNAMIC Systems GmbH

Inninger Straße 11 • D-82237 Wörthsee

Tel.: +49 (0) 8153 / 90 96-0 • Fax: +49 (0) 8153 / 90 96-96

info@dynamic-systems.de • www.dynamic-systems.de

Bleiben Sie auf dem Laufenden!



Unser **Computerbuch-Newsletter** informiert Sie monatlich über neue Bücher und Termine. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter



www.hanser-fachbuch.de/newsletter



Hanser Update ist der IT-Blog des Hanser Verlags mit Beiträgen und Praxistipps von unseren Autoren rund um die Themen Online Marketing, Webentwicklung, Programmierung, Softwareentwicklung sowie IT- und Projektmanagement. Lesen Sie mit und abonnieren Sie unsere News unter



www.hanser-fachbuch.de/update



Klaus Finkenzeller

RFID-Handbuch

**Grundlagen und praktische Anwendungen
von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten
und NFC**

unter Mitarbeit von Michael Gebhart, Josef Preishuber-Pflügl,
Erich Reisenhofer, Michael E. Wernle und Florian Peters

7., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine juristische Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso übernehmen Autoren und Verlag keine Gewähr dafür, dass beschriebene Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt deshalb auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2015 Carl Hanser Verlag München • www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Brigitte Bauer-Schiewek

Herstellung: Irene Weilhart

Endlayout: Anke und Martin Strübe, Mannheim

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München, unter Verwendung des Photos „MIFARE smartcard IC“ der Firma Philips Semiconductors, Gratkorn, Österreich

Coverrealisation: Stephan Rönigk

Datenbelichtung, Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Ausstattung patentrechtlich geschützt. Kösel FD 351, Patent-Nr. 0748702

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-43943-6

E-Book-ISBN: 978-3-446-44439-3

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 7. Auflage	XVII
Verwendete Abkürzungen	XIX
1 Einführung	1
1.1 Automatische Identifikationssysteme	2
1.1.1 Barcode-Systeme	2
1.1.2 Optical Character Recognition	4
1.1.3 Biometrische Verfahren	5
1.1.3.1 Sprachidentifizierung	5
1.1.3.2 Fingerabdruckverfahren (Daktyloskopie)	6
1.1.4 Chipkarten	6
1.1.4.1 Speicherkarten	8
1.1.4.2 Mikroprozessorkarten	8
1.1.5 RFID-Systeme	9
1.2 Vergleich verschiedener ID-Systeme	9
1.3 Bestandteile eines RFID-Systems	11
2 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen	13
2.1 Grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale	13
2.2 Bauformen von Transpondern	16
2.2.1 Disks und Münzen	16
2.2.2 Glasgehäuse	16
2.2.3 Plastikgehäuse	17
2.2.4 Werkzeug- und Gasflaschenidentifikation	18
2.2.5 Schlüssel und Schlüsselanhänger	19
2.2.6 Uhren	20
2.2.7 Bauform ID-1, kontaktlose Chipkarten	20
2.2.8 Smart Label	22
2.2.9 Coil-on-Chip	23
2.2.10 Weitere Bauformen	24
2.3 Frequenz, Reichweite und Kopplung	24
2.4 Aktive und passive Transponder	25
2.5 Informationsverarbeitung im Transponder	27
2.6 Auswahlkriterien für RFID-Systeme	29
2.6.1 Arbeitsfrequenz	30
2.6.2 Reichweite	30
2.6.3 Sicherheitsanforderungen	31
2.6.4 Speicherkapazität	32

3	Grundlegende Funktionsweise	33
3.1	1-bit-Transponder	34
3.1.1	Radiofrequenz	34
3.1.2	Mikrowelle	37
3.1.3	Frequenzteiler	39
3.1.4	Elektro-Magnetisch	40
3.1.5	Akustomagnetisch	43
3.2	Voll- und Halbduplexverfahren	45
3.2.1	Induktive Kopplung	47
3.2.1.1	Energieversorgung passiver Transponder	47
3.2.1.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	50
3.2.2	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung	58
3.2.2.1	Energieversorgung der Transponder	58
3.2.2.2	Datenübertragung Transponder > Leser: Modulierter Rückstrahlquerschnitt ...	60
3.2.3	Close coupling	61
3.2.3.1	Energieversorgung der Transponder	61
3.2.3.2	Datenübertragung Transponder > Leser	62
3.2.3.3	Close Coupling Chipkarten	63
3.2.4	Elektrische Kopplung	65
3.2.4.1	Energieversorgung passiver Transponder	65
3.2.4.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	67
3.3	Sequentielle Verfahren	67
3.3.1	Induktive Kopplung	67
3.3.1.1	Spannungsversorgung des Transponders	67
3.3.1.2	Vergleich zwischen FDX-/HDX- und SEQ-Systemen	68
3.3.1.3	Datenübertragung Transponder > Leser	70
3.3.2	Oberflächenwellen-Transponder	71
3.4	Near Field Communication (NFC)	73
3.4.1	Active Mode	74
3.4.2	Passive Mode	75
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	77
4.1	Magnetisches Feld	78
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	78
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf $H(x)$ bei Leiterschleifen	79
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	81
4.1.2	Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	83
4.1.3	Induktivität L	83
4.1.3.1	Induktivität einer Leiterschleife	84
4.1.4	Gegeninduktivität M	84
4.1.5	Kopplungsfaktor k	86
4.1.6	Induktionsgesetz	88
4.1.7	Resonanz	90

4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	95
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	95
4.1.8.2	Spannungsregelung	95
4.1.9	Ansprechfeldstärke H_{min}	97
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen	100
4.1.9.2	Ansprechbereich von Lesegeräten	102
4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	103
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz Z_T'	105
4.1.10.2	Einflussgrößen von Z_T'	108
4.1.10.3	Lastmodulation	115
4.1.11	Messung von Systemparametern	122
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	122
4.1.11.2	Messung von Transponderresonanzfrequenz und Gütefaktor	123
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	132
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	132
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	133
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	134
4.1.12.4	Einbau von Transpondern in Metall	135
4.2	Elektromagnetische Wellen	137
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	137
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen	138
4.2.2	Strahlungsdichte S	139
4.2.3	Feldwellenwiderstand und Feldstärke E	140
4.2.4	Polarisation elektromagnetischer Wellen	141
4.2.4.1	Reflexion elektromagnetischer Wellen	142
4.2.5	Antennen	144
4.2.5.1	Gewinn und Richtwirkung	144
4.2.5.2	EIRP und ERP	146
4.2.5.3	Eingangsimpedanz	146
4.2.5.4	Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt	147
4.2.5.5	Effektive Länge	150
4.2.5.6	Dipolantenne	151
4.2.5.7	Yagi-Uda-Antenne	153
4.2.5.8	Patch- oder Mikrostripantennen	153
4.2.5.9	Schlitzantennen	156
4.2.6	Praktischer Betrieb von Mikrowellentranspondern	156
4.2.6.1	Ersatzschaltbilder des Transponders	157
4.2.6.2	Spannungsversorgung passiver Transponder	158
4.2.6.3	Spannungsversorgung aktiver Transponder	166
4.2.6.4	Reflexion und Auslöschung	167
4.2.6.5	Ansprechempfindlichkeit des Transponders	168
4.2.6.6	Modulierter Rückstreuquerschnitt	168
4.2.6.7	Lesereichweite	171

4.3	Oberflächenwellen	174
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	174
4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	176
4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	177
4.3.4	Der Sensoreffekt	179
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	181
4.3.4.2	Resonante Sensoren	182
4.3.4.3	Impedanzsensoren	184
4.3.5	Geschaltete Sensoren	184
5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	187
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	187
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	189
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz (ISM)	191
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz (ISM, SRD)	191
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz (ISM)	191
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz (ISM)	192
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz (ISM)	192
5.1.7	UHF-Frequenzbereich	193
5.1.7.1	Frequenzbereich 865,0 MHz... 868 MHz (SRD) in Europa	193
5.1.7.2	Frequenzbereich 915 ... 921 MHz (SRD) in Europa	194
5.1.7.3	Frequenzbereich 915,0 MHz	194
5.1.8	Frequenzbereich 2,45 GHz (ISM, SRD)	194
5.1.9	Frequenzbereich 5,8 GHz (ISM, SRD)	194
5.1.10	Frequenzbereich 24,125 GHz (ISM)	195
5.1.11	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	195
5.2	Internationale Fernmeldeunion (ITU)	198
5.3	Europäische Zulassungsvorschriften	199
5.3.1	CEPT/ERC REC 70-03	200
5.3.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices	202
5.3.1.2	Annex 4: Railway applications	202
5.3.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics	203
5.3.1.4	Annex 9: Inductive applications	204
5.3.1.5	Annex 11: RFID applications	206
5.3.2	Standardisierte Messverfahren	208
5.3.2.1	Übergreifende Standards	208
5.3.2.2	Anwendungsspezifische Messvorschriften	210
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa	210
5.4.1	Bundesrepublik Deutschland	211
5.4.1.1	Induktive Funkanwendungen	211
5.4.1.2	RFID-Systeme im UHF-Bereich	213
5.5	Nationale Zulassungsvorschriften	214
5.5.1	USA	214

5.6	Vergleich nationaler Regulierungsvorschriften	216
5.6.1	Umrechnung bei 13,56 MHz	216
5.6.2	Umrechnung auf UHF	218
6	Codierung und Modulation	219
6.1	Codierung im Basisband	220
6.2	Digitale Modulationsverfahren	222
6.2.1	Amplitudentastung (ASK)	223
6.2.2	2-FSK	225
6.2.3	2-PSK	226
6.2.4	Modulationsverfahren mit Hilfsträger	227
7	Datenintegrität	229
7.1	Fehlererkennende und -korrigierende Codes	229
7.1.1	Das Prinzip der Codekonstruktion	231
7.1.2	Eigenschaften von Codes	233
7.1.3	Einfache Codes – die Paritätsprüfung	235
7.1.4	Zyklische Codes	236
7.1.4.1	CRC-Verfahren	237
7.1.4.2	Hardware-Implementierung von CRC	240
7.1.4.3	CRC-Verfahren bei RFID-Systemen	241
7.1.5	Lineare Codes	242
7.1.5.1	Hammingcode	243
7.1.5.2	Hammingcode-Implementierung in ISO/IEC 14443	245
7.2	Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision	250
7.2.1	Raummultiplex – SDMA	253
7.2.2	Frequenzmultiplex – FDMA	254
7.2.3	Zeitmultiplex – TDMA	255
7.2.4	Beispiele für Antikollisionsverfahren	257
7.2.4.1	ALOHA-Verfahren	257
7.2.4.2	Slotted-ALOHA-Verfahren	259
7.2.4.3	Binary-Search-Algorithmus	263
8	Sicherheit von RFID-Systemen	273
8.1	Angriffe auf RFID-Systeme	274
8.1.1	Angriffe auf den Transponder	275
8.1.1.1	Dauerhaftes Zerstören des Transponders	275
8.1.1.2	Abschirmen oder Verstimmen des Transponders	276
8.1.1.3	Emulieren und Klonen eines Transponders	276
8.1.2	Angriffe über das HF-Interface	278
8.1.2.1	Abhören der Kommunikation	278
8.1.2.2	Störsender	297
8.1.2.3	Lesen mit vergrößerter Lesereichweite	298
8.1.2.4	Transponder mit vergrößerter Reichweite	305

8.1.2.5	Denial of Service-Angriff durch Blocker Tags	310
8.1.2.6	Relay-Attack	312
8.2	Abwehr durch kryptografische Maßnahmen	315
8.2.1	Kryptografische Funktionen und Merkmale kryptografischer Verfahren	317
8.2.1.1	Hashfunktionen und MAC	318
8.2.1.2	Blockchiffren	320
8.2.1.3	Stromchiffren	326
8.2.2	Kryptografische Protokolle	328
8.2.2.1	Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	329
8.2.2.2	Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	330
8.2.2.3	Basic Access Control Protocol (BAC)	331
9	Normung	335
9.1	Tieridentifikation	335
9.1.1	ISO/IEC 11784 – Codestruktur	335
9.1.2	ISO/IEC 11785 – Technisches Konzept	336
9.1.2.1	Anforderungen	336
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System	338
9.1.2.3	Sequentielles System	338
9.1.3	ISO/IEC 14223 – Advanced Transponders	339
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface	339
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure	341
9.2	Kontaktlose Chipkarten	343
9.2.1	ISO/IEC 10536 – Close coupling Chipkarten	344
9.2.2	ISO/IEC 14443 – Proximity coupling Chipkarten	344
9.2.2.1	Physikalische Eigenschaften	345
9.2.2.2	Energieübertragung und Signalinterface	347
9.2.2.3	Initialisierung, Antikollision und Protokollaktivierung	362
9.2.2.4	Datenübertragungsprotokoll	374
9.2.3	ISO/IEC 15693 – Vicinity coupling Chipkarten	378
9.2.3.1	Physical characteristics	379
9.2.3.2	Air interface and initialization	379
9.2.3.3	Anticollision and transmission protocol	382
9.2.4	ISO/IEC 10373 – Prüfmethode für Chipkarten	390
9.2.4.1	Part 6 – Testverfahren für Proximity coupling Chipkarten	391
9.2.4.2	Part 7 – Testverfahren für Vicinity coupling Chipkarten	397
9.3	ISO/IEC 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	398
9.4	ISO/IEC 10374 – Containeridentifikation	398
9.5	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	400
9.5.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusensysteme	400
9.5.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	400
9.5.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	400
9.5.1.3	Formblätter in VDI 4470	401
9.5.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	402

9.6	Güter- und Warenwirtschaft	402
9.6.1	ISO/IEC 18000 Reihe	402
9.6.1.1	Datennormen	402
9.6.1.2	Luftschnittstellennormen	405
9.6.1.3	Testnormen	408
9.6.2	GTAG Initiative	412
9.6.3	EPCglobal Network	412
9.6.3.1	Generation 2	414
9.6.3.2	Normen und Spezifikationen	415
9.6.3.3	Der Electronic Product Code (EPC)	416
9.6.3.4	Transponderklassen	419
9.6.3.5	Einführung in das EPC-Netzwerk	420
9.6.4	EPCglobal UHF AI Gen 2 / ISO/IEC 18000-6 Type C / ISO/IEC 18000-63 ..	422
9.6.4.1	Kommunikationsprinzip	422
9.6.4.2	Kommunikation vom Lesegerät zum Transponder	423
9.6.4.3	Kommunikation vom Transponder zum Lesegerät	425
9.6.4.4	Dense Reader Mode, Signalspektrum und Funkzulassungen	428
9.6.4.5	Speicher	430
9.6.4.6	Session Flags	431
9.6.4.7	Kommandos	433
9.6.4.8	Ablauf der Kommunikation	439
9.6.4.9	Unterschiede zwischen EPCglobal UHF AI Gen 2 und ISO/IEC 18000-6 Type C	442
9.6.4.10	Zusätzliches in ISO/IEC 18000-6 Type C	443
9.7	Das RFID-Emblem	444
9.8	Europäische Normen zum Schutz der Privatsphäre	447
10	Architektur elektronischer Datenträger	449
10.1	Transponder mit Speicherfunktion	450
10.1.1	HF-Interface	450
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger	451
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder	452
10.1.1.3	Simulation eines ISO/IEC14443 kompatiblen HF-Frontends	454
10.1.2	Adress- und Sicherheitslogik	456
10.1.2.1	State-Machine	457
10.1.3	Speicherarchitektur	458
10.1.3.1	Read-only-Transponder	458
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder	459
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion	460
10.1.3.4	Segmentierte Speicher	463
10.1.3.5	MIFARE [®] -Applikationsverzeichnis	465
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM	467

10.2	Mikroprozessoren	471
10.2.1	Dual Interface Karte	472
10.2.1.1	MIFARE plus	474
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card	475
10.3	Speichertechnologie	477
10.3.1	RAM	478
10.3.2	EEPROM	478
10.3.3	FRAM	480
10.3.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	481
10.4	Messung physikalischer Größen	482
10.4.1	Transponder mit Sensorfunktionen	482
10.4.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	484
10.4.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	485
11	Lesegeräte	489
11.1	Datenfluss in einer Applikation	489
11.2	Komponenten eines Lesegerätes	490
11.2.1	HF-Interface	491
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	491
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	492
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	494
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	495
11.2.2	Steuerung	496
11.3	Integrierte Leser-ICs	497
11.3.1	Integriertes HF-Interface	498
11.3.2	Single Chip Reader IC	501
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme	506
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung	507
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel	508
11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q	512
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	513
11.5.1	OEM-Lesegeräte	513
11.5.2	Lesegeräte für industriellen Einsatz	514
11.5.3	Portable Lesegeräte	515
11.6	Near Field Communication	516
11.6.1	Secure-NFC	517
11.6.1.1	Single Wire Protokoll	520
11.6.1.2	NFC Wired Interface	522
12	Messtechnik für RFID-Systeme	525
12.1	HF-Messtechnik für Proximity-Systeme	525
12.1.1	Kontaktbasierte Messungen	526
12.1.1.1	Messung der Transponderchip-Impedanz	526

12.1.2	Kontaktlos-Messungen	530
12.1.2.1	Konzept zur Messung von Proximity-Karten	530
12.1.2.2	Aufbau zur Messung von Proximity-Transpondern	532
12.1.2.3	Aufbau zur Messung von Proximity-Lesegeräten	536
12.1.2.4	Charakterisierung und Evaluierung	537
12.1.3	Ausgewählte Messungen an Proximity-Smartcards	538
12.1.3.1	Messung der Rückwirkung, Card Loading Effect	538
12.1.3.2	Messung der Ansprechfeldstärke	539
12.1.3.3	Messung der Modulation	541
12.1.3.4	Messung der Zeiten in der sequentiellen Kommunikation	543
12.1.3.5	Messung der Karten-Rückmodulation	545
12.1.3.6	Messung ungewollter Störungen (EMD)	547
12.1.3.7	Prüfung der maximal verkraftbaren Feldstärke (maximum alternating field) ..	548
12.1.3.8	Zusammenfassung der Transponder-Antennenklassen	549
12.1.4	Ausgewählte Messungen an Proximity-Readern	550
12.1.4.1	Messung der Feldstärke des Lesegeräts	550
12.1.4.2	Messung der Modulationseigenschaften	552
12.1.4.3	Messung der Empfindlichkeit auf Lastmodulation	553
12.1.4.4	Messung der EMD	556
12.2	HF-Messtechnik für UHF-Systeme	556
12.2.1	Prolog	556
12.2.1.1	Unterschiede zwischen LF, HF und UHF	556
12.2.1.2	Allgemeiner Ansatz für den Testablauf	557
12.2.1.3	Einflussgrößen und Störungen	557
12.2.2	Signalstrecke und Umgebungseinflüsse	558
12.2.3	Testverfahren	559
12.2.3.1	Testverfahren für die Systemleistung – ISO18046-1	559
12.2.3.2	Testverfahren für die Leistung des Abfragesenders ISO18046-2	562
12.2.3.3	Testverfahren für UHF-Tags / Transponder ISO18046-3	562
12.2.4	UHF-Messtechnik – Gerätetechnik	564
12.2.4.1	Standardgeräte	564
12.2.4.2	Spezialgeräte für UHF-Messtechnik	565
12.2.5	Praktische RFID-Messtechnik im Labor	567
12.2.5.1	Fallbeispiel: Transponder	567
12.2.5.2	Fallbeispiel: Population von Transpondern	570
12.2.6	Fazit	572
13	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	573
13.1	Herstellung des integrierten Schaltkreises (Chip)	574
13.1.1	Das Halbleitermaterial	574
13.1.2	Herstellung eines integrierten Schaltkreises	576

13.1.2.1	Vorbereitung des Ausgangsmaterials	576
13.1.2.2	Züchten des Kristalls	576
13.1.2.3	Herstellung der Scheiben (Wafer)	577
13.1.2.4	Aufbringung der integrierten Schaltungsstruktur	578
13.1.3	Test der integrierten Schaltkreise	579
13.1.4	Sägen des Wafer	580
13.1.5	Mögliche Lieferformen	581
13.1.6	Weitere Verpackung	581
13.2	Antennenherstellung	582
13.2.1	Wickeltechnik mit Kern	582
13.2.2	Wickeltechnik mit Luftspule	582
13.2.3	Verlegetechnik	584
13.2.4	Siebdrucktechnik	585
13.2.5	Ätztechnik	586
13.2.6	Stanztechnik	587
13.3	Kontaktierverfahren	587
13.3.1	Kontaktierverfahren für Halbleiterchips im Gehäuse	587
13.3.1.1	Vorbereitung – Montage des Chips im Gehäuse	588
13.3.1.2	Löttechnik	588
13.3.1.3	Klebe- und Schneid-Klemm-Technik	589
13.3.2	Kontaktierverfahren für unverpackte Halbleiterchip	590
13.3.2.1	Vorbereitung von Wafer Bumpen	590
13.3.2.2	Flip Chip-Montage	591
13.3.2.3	Verbindungstechnik Schweißen	593
13.4	Spezielle Bauformen	595
13.4.1	Glastransponder	595
13.4.2	Plastiktransponder	597
13.4.3	Fertigung von Inlays	598
13.4.4	Kontaktlose Chipkarten	599
13.4.4.1	Zusammentragen der Folien	599
13.4.4.2	Laminieren	600
13.4.5	Etiketten	601
13.4.5.1	Herstellung	601
13.4.5.2	Drucktechnik in der Etikettenfertigung	603
13.5	Test in der Fertigung	604
13.5.1	Prozessparameter	604
13.5.1.1	Abschertest (Shear Test)	604
13.5.1.2	Rollentest für Inlay und Etiketten	605
13.5.2	Messung der HF-Parameter	605
13.5.2.1	Anforderungen an den Test	606
13.5.2.2	Test von LF- und HF-Transpondern	606

13.5.2.3	Test von UHF-Transpondern	606
13.5.2.4	Behandlung der Schlechteile	608
13.5.3	Test der Produkteigenschaften	608
13.5.3.1	Allgemeine Zuverlässigkeitsprüfungen	608
13.6	Antennendesign für RFID-Systeme	609
13.6.1	Eigenschaften von Schleifenantennen	609
13.6.1.1	Impedanz der Antenne	611
13.6.1.2	Resonanzfrequenz und Güte	614
13.6.1.3	Messung der Werte des Antennen-Ersatzschaltbildes	615
13.6.1.4	Abhängigkeiten des Antennen-Ersatzschaltbildes	616
13.6.2	Design von Loop-Antennen für Kontaktlos-Karten	618
13.6.2.1	Konzept zum Design	618
13.6.2.2	Induktivität	619
13.6.2.3	Wirkwiderstand	621
13.6.2.4	Kapazität	622
13.6.2.5	Einfluss des Antennen-Resonanzkreises auf die Performance	623
14	Anwendungsbeispiele	625
14.1	Kontaktlose Chipkarten	625
14.2	Öffentlicher Nahverkehr	626
14.2.1	Ausgangssituation	626
14.2.2	Anforderungen	627
14.2.2.1	Transaktionszeit	627
14.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	628
14.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	629
14.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	630
14.2.5	Marktpotenzial	630
14.2.6	Projektbeispiele	631
14.2.6.1	Korea – Seoul	631
14.2.6.2	Deutschland – Lüneburg, Oldenburg	633
14.2.6.3	EU-Projekte – „ICARE“ und „CALYPSO“	635
14.3	Kontaktloser Zahlungsverkehr	638
14.3.1	MasterCard® Pay Pass	641
14.3.2	ExpressPay von American Express®	641
14.3.3	Visa® Contactless	641
14.3.4	ExxonMobil Speedpass	641
14.4	NFC-Anwendungen	642
14.5	Elektronischer Reisepass und nationale eID-Karten (eMRTD)	648
14.6	Ski-Ticketing	655
14.7	Zutrittskontrolle	657
14.7.1	Online-Systeme	657
14.7.2	Offline-Systeme	658
14.7.3	Transponder	660

14.8	Verkehrssysteme	661
14.8.1	Eurobalise S21	661
14.8.2	Internationaler Containerverkehr	663
14.9	Tieridentifikation	664
14.9.1	Rinderhaltung	664
14.9.2	Brieftauben-Preisflug	670
14.10	Elektronische Wegfahrsperrung	672
14.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperrung	672
14.10.2	Kurze Erfolgsgeschichte	675
14.10.3	Zukunftsaussichten	676
14.11	Behälteridentifikation	677
14.11.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	677
14.11.2	Abfallentsorgung	679
14.12	Sportliche Veranstaltungen	681
14.13	Industriautomation	683
14.13.1	Werkzeugidentifikation	683
14.13.2	Industrielle Fertigung	686
14.13.2.1	Zentrale Steuerung	687
14.13.2.2	Dezentrale Steuerung	688
14.13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	689
14.13.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	689
14.13.2.5	Projektbeispiele	691
14.14	Medizinische Anwendungen	694
15	Anhang	697
15.1	Die Autoren	697
15.2	Verbände und Fachzeitschriften	701
15.2.1	Industrieverbände	701
15.2.2	Fachzeitschriften	702
15.3	Relevante Normen und Vorschriften	703
15.3.1	Normungsgremien	703
15.3.2	Normenliste	704
15.3.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	713
15.4	Literatur	714
15.5	Platinenlayouts	729
15.5.1	Testkarte nach ISO 14443	729
15.5.2	Feldgeneratorspule	733
15.5.3	Lesegerät für 13,56 MHz	735
16	Register	741

Vorwort zur 7. Auflage

Dieses Buch richtet sich an die verschiedensten Leser. Zunächst an Ingenieure und Studenten, die zum ersten Mal mit der RFID-Technologie konfrontiert werden. Für sie gibt es einige grundlegende Kapitel über die Funktionsweise und die physikalischen sowie datentechnischen Grundlagen der RFID-Technik. Darüber hinaus richtet sich das Buch an den Praktiker, der sich als Anwender möglichst umfassend und konzentriert einen Überblick über die verschiedensten RFID-Technologien, die gesetzlichen Randbedingungen oder die Einsatzmöglichkeiten verschaffen möchte bzw. muss.

Zwar existiert eine schier unüberschaubare Fülle von Einzelbeiträgen in der Literatur zu diesem Themenbereich, aber alle diese „verteilten“ Informationen im Bedarfsfalle zusammenzutragen, ist sehr mühsam und zeitaufwändig, wie auch die Recherchen zu jeder Auflage dieses Buchs aufs Neue beweisen. Dieses Buch soll daher auch eine Lücke im Literaturangebot über RFID-Systeme schließen. Wie groß der Bedarf an technisch fundierter Literatur in diesem Fachbereich tatsächlich ist, zeigt die erfreuliche Tatsache, dass das vorliegende Buch mittlerweile in sieben Sprachen¹ erschienen ist.

Anhand der vielen Bilder und Zeichnungen will dieses Buch eine im wahrsten Sinn des Wortes anschauliche Darstellung der RFID-Technologie geben. Einen besonderen Schwerpunkt stellen dabei die physikalischen Grundlagen dar, welche aus diesem Grunde auch das mit Abstand umfangreichste Kapitel bilden. Besonderer Wert wurde aber auch auf das Verständnis der grundlegenden Konzepte der Datenträger und Lesegeräte, soie der relevanten Normen und funktechnischen Regulierungsvorschriften gelegt. In den letzten Jahren rückt auch die Sicherheit von RFID-Systemen immer mehr in den Vordergrund. Angriffsmöglichkeiten und Abwehrmaßnahmen nehmen daher auch in diesem Buch einen immer größeren Platz ein.

Auch wenn sich der RFID-Hype, den wir in den Jahren nach 2000 erlebt haben, mittlerweile etwas gelegt hat, so schreitet die technologische Entwicklung auf dem Gebiet der RFID-Technologie noch immer so schnell voran, dass ein Buch wie dieses zwar eine allgemeine Wissensgrundlage bilden kann, aber nicht dynamisch genug ist, um auf die neuesten Trends zu demnächst erscheinenden Produkten, Normen und Vorschriften eingehen zu können. Auch im Bereich der Anwendungsbeispiele wird es bei der zunehmenden Verbreitung der RFID-Technologie immer schwieriger, den Überblick zu behalten. In der Presse ist fast wöchentlich über neue Einsatzmöglichkeiten für RFID-Systeme zu lesen. Vor allem das Thema NFC, eine Variante der Proximity-RFID-Systeme, bei denen das Endgerät zwischen der Funktion eines Datenträgers und der eines Lesegeräts beliebig wechseln kann, erfährt derzeit in den Medien als neue Schnittstelle für Mobiltelefone eine hohe Aufmerksamkeit. Für Hinweise und Anregungen zu neuen Themen – insbesondere aus dem Kreis der Industrie – bin

¹ Weitere Informationen zur deutschen Ausgabe des RFID-Handbuchs sowie zu den Übersetzungen können Sie der Homepage zum Buch <http://RFID-handbook.com> entnehmen. Derzeit ist das Buch in folgenden Sprachen erhältlich: Deutsch, Englisch, Japanisch, Chinesisch, Koreanisch, Russisch und in chinesischer Langschrift (für Taiwan).

ich deshalb sehr dankbar. Die zugrunde liegenden Konzepte und physikalischen Grundlagen bleiben jedoch erhalten und bilden eine gute Voraussetzung für das Verständnis der aktuellen Entwicklung.

Ein ganz besonderes Ereignis war für mich die Verleihung des Fraunhofer Smart-Card-Preises 2008, der jährlich für besondere Verdienste in der Chipkartentechnologie vergeben wird, und diesmal sowohl an das ebenso bekannte Chipkartenhandbuch meiner beiden Kollegen Rankl und Effing als auch an das RFID-Handbuch ging. Die Preisverleihung fand anlässlich des 18. Smart-Card-Workshops des Fraunhofer Instituts für Sichere Informationstechnologien (SIT) am 5. Februar 2008 in Darmstadt statt. Zu diesem Zeitpunkt war das RFID-Handbuch bereits zehn Jahre erfolgreich etabliert. Die erste Ausgabe erschien im März 1998 in deutscher Sprache mit einem Umfang von 280 Seiten. War RFID damals noch eine Nischentechnologie und in der Öffentlichkeit kaum näher bekannt, so hat sich dieses Bild mittlerweile sehr gewandelt. RFID ist zu einem festen Begriff geworden, und durch Anwendungen wie den elektronischen Reisepass oder den elektronischen Produktcode (EPC) wurde auch die breite Öffentlichkeit auf diese Technologie aufmerksam.

Auf Grund der zunehmend komplexen Vielfalt der RFID-Systeme sowie der immer schnelleren technischen Weiterentwicklung dieser Systeme wurde es im Laufe der Jahre immer schwieriger, das Thema als Einzelautor in der notwendigen Tiefe zu bearbeiten. Um auch in Zukunft die RFID-Technologie möglichst umfassend und kompetent in einem Buch zusammenfassen zu können, wurde ab der 6. Auflage ein neuer Weg eingeschlagen. Einige der Kapitel wurden von Co-Autoren übernommen und werden auch in der Zukunft weitergeführt. An der vorliegenden Auflage haben Michael E. Wernle (Meshed Systems, München), Michael Gebhart (NXP, Graz), Josef Preishuber-Pflügl (CISC, Klagenfurt), Erich Reisenhofer (Infineon, Graz) und Florian Peters (Bundesdruckerei, Berlin) mitgearbeitet.

An dieser Stelle möchte ich mich auch noch bei allen Firmen bedanken, die mit zahlreichen technischen Datenblättern, Vortragsmanuskripten, Zeichnungen und Fotografien zum Gelingen des Werkes beigetragen haben.

München, im Sommer 2015

Klaus Finkenzeller

Verwendete Abkürzungen

μP	Mikroprozessor
μs	Mikrosekunde (10^{-6} Sekunden)
ACM	Access Configuration Matrix
ABS	Acrylnitrilbutadienstyrol
AFC	Automatic Fare Collection
AFI	Application Family Identifier (siehe ISO 14443-3)
AI	Application Identifier
AM	Amplitude Modulation
APDU	Application Data Unit
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
ASK	Amplitude Shift Keying (Amplitudentastung)
ATR	Answer to Reset
ATQ	Answer to Request (ATQA, ATQB: siehe ISO 14443-3)
AVI	Automatic Vehicle Identification (for Railways)
AWG	Arbitrary Waveform Generator (Arbiträrsignalgenerator)
BAC	Basic Access Control (ePass)
BAPT	Bundesamt für Post und Telekommunikation (jetzt Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen)
Bd	Baud, Übertragungsgeschwindigkeit in bit/s
BGT	Block Guard Time
BKA	Bundeskriminalamt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (ehemals BMFT)
BMI	Bundesministerium des Inneren
BP	Bandpass (-filter)
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
C	Capacity (Kapazität eines Kondensators)
CCG	Centrale für Coorganisation GmbH (Zentrale Vergabestelle für EAN-Codes in Deutschland)
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CEN	Comité Européen de Normalisation
CEPT	Conférence Européenne des Postes et Télécommunications
CERP	Comité Européen de Règlementation Postale
CICC	Close Coupling Integrated Circuit Chip Card
CIU	Contactless Interface Unit (Sende-/Empfangsbaustein für kontaktlose Mikroprozessorschnittstellen)

CLK	Clock (Taktsignal)
CRC	Cyclic Redundancy Checksum
DAC	Digital Analogue Converter (Digital Analog Wandler)
dBm	Logarithmisches Leistungsmaß, bezogen auf 1 mW HF-Leistung (0 dBm = 1 mW, 30 dBm = 1W)
DBP	Differential Bi-Phase encoding
DFT	Diskrete Fourier Transformation
DIN	Deutsche Industrienorm
DoD	Department of Defense (Verteidigungsministerium der U.S.A.)
DS	Discovery Services (EPC)
DUT	Device under Test (Prüfling, Prüfbjekt)
DWD	Deutscher Wetterdienst
EAN	European Article Number (Strichcode auf Lebensmitteln und Waren)
EAS	Electronic Article Surveillance (elektronische Diebstahlsicherung)
EC	Eurocheque bzw. electronic cash
ECC	European Communications Committee
ECTRA	European Committee for Regulatory Telecommunications Affairs
EDI	Electronic Document Interchange
EEPROM	Electric Erasable and Programmable Read Only Memory
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMD	Electromagnetic Distortion
EMV	Elektro-Magnetische Verträglichkeit (engl. EMC)
EMV	Europay-MasterCard-Visa (Kreditkartenspezifikation)
EOF	End of Frame
EPC	Electronic Product Code (elektronische Produktkennzeichnung)
EPCIS	EPC Information Services
ERC	European Radiocommunications Committee
ERM	Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters
ERO	European Radiocommunications Office
ERP	Equivalent Radiated Power (effektiv abgestrahlte Sendeleistung)
ESB	Ersatzschaltbild
ETCS	European Train Control System
ETS	European Telecommunication Standard
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EVC	European Vital Computer (Bestandteil der ETCS)
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FCC	Federal Commission of Communication
FDX	Full-Duplex

FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FM	Frequenzmodulation
FRAM	Ferroelectric Random Access Memory
FSK	Frequency Shift Keying (Frequenzumtastung)
GIAI	Global Individual Asset Identifier (EPC)
GID	General Identifier (EPC)
GRAI	Global Returnable Asset Identifier (EPC)
GSM	Global System for Mobile Communication (ehem. Groupe Spécial Mobile)
GTAG	Global-Tag (RFID Initiative der EAN und des UCC)
HDX	Half-Duplex
HF	High Frequency (3 ... 30 MHz)
I2C	Inter-IC-Bus
ICC	Integrated Chip Card
ICAO	International Civil Aviation Organization (internationale Zivilluftfahrtbehörde)
ID	Identifikation
ISM	Industrial Scientific Medical (-Frequenzbereich)
ISO	International Standardization Organization
ITU	International Telecommunication Union (internationale Fernmeldeunion)
L	Loop (Induktivität einer Spule)
LAN	Local Area Network (Lokales Computer-Netzwerk)
LBT	Listen Before Talk
LF	Low Frequency (30 ... 300 kHz)
LPD	Low Power Device (Funkanlage kleiner Leistung zur Übertragung von Daten oder Sprache über einige hundert Meter)
LRC	Longitudinal Redundancy Check
LSB	Least Significant Bit
MAD	MIFARE® Application Directory
MRZ	Machine readable zone (ePass)
MSB	Most Significant Bit
NAD	Node Address
NFC	Near Field Communication
nömL	Nicht-öffentlicher mobiler Landfunk (Industriefunk, Transportunternehmen, Taxifunk etc.)
NRZ	Non-Return to Zero Encoding
NTC	Negative Temperature Coefficient (Heißleitender Widerstand)
NTWC	New Technologies Working Group (ICAO)
NVB	Number of valid bits (siehe ISO 14443-3)

OCR	Optical Character Recognition (Erkennung von Klarschrift)
OEM	Original Equipment Manufacturer
OFW	Oberflächenwellen
ONS	Object Naming Server (EPC)
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr
OTA	Over the Air (Möglichkeit zur Programmierung einer SIM-Karte oder eines Secure-Elements über die Datenschnittstellen GPRS/UMTS eines Mobiltelefons)
OTP	One Time Programmable
PC	Personal Computer
PCD	Proximity Card Device (siehe ISO 14443)
PIN	Personal Identification Number (Persönliche Geheimzahl)
PICC	Proximity Integrated Chip Card (siehe ISO 14443)
PKI	Public Key Infrastructure
PM	Phase Modulation (Phasenmodulation)
PMU	Power Management Unit
POS	Point of Sale
PP	Plasticpackage
PPS	Polyphenylensulfid
PSK	Phase Shift Keying
PUPI	Pseudo Unique PICC Identifier (siehe ISO 14443-3)
PVC	Polyvinylchlorid
R&TTE	Radio and Telecommunication Terminal Equipment (The Radio Equipment and Telecommunications Terminal Equipment Directive (1999/5/EC))
RADAR	Radio Detecting and Ranging
RAM	Random Access Memory
RCS	Radar Cross Section (Rückstrahlquerschnitt, Rückstreuquerschnitt)
REQ	Request
RFID	Radio Frequency Identification
RFU	Reserved for Future Use (Reserviert für zukünftige Anwendung)
RTI	Returnable Trade Items
RTI	Road Transport Information System
RTTT	Road Transport & Traffic Telematics
RWD	Read Write Device (Schreib- und Lesestation)
SAM	Security Authentication Module
SCL	Serial Clock (I2C-Bus Interface)
SDA	Serial Data Address Input Output (I2C-Bus Interface)
SEQ	Sequentielles System
SGLN	Serialized Global Location Number (EPC)
SMD	Surface Mounted Devices

SNR	Serial Number (Seriennummer) oder Signal Noise Ratio (Signal-Rausch-Abstand)
SOF	Start of Frame
SRAM	Static Random Access Memory
SRD	Short Range Devices (Funkanlagen kleiner Leistung zur Übertragung von Daten oder Sprache über kleine Entfernungen, in der Regel einige hundert Meter)
SSCC	Serial Shipping Container Code (EPC)
TR	Technische Richtlinie (Technical Regulation)
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Sende-/Empfangsbaustein für Computerschnittstellen)
UCC	Universal Code Council (Amerikanischer Standard für Strichcode auf Lebensmitteln und Waren)
UHF	Ultra High Frequency (300 MHz ... 3 GHz)
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UPC	Universal Product Code
UPU	Universal Postal Union
VCD	Vicinity Card Device (siehe ISO 15693)
VDE	Verein Deutscher Elektrotechniker
VHF	Very High Frequency (30 MHz ... 300 MHz)
VICC	Vicinity Integrated Contactless Chip Card (siehe ISO 15693)
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
XOR	eXclusive-OR (Exclusive-OR-Verknüpfung)
ZV	Zulassungsvorschrift

Warenzeichen

HITAG[®], i•Code[®] und MIFARE[®]

sind eingetragene Warenzeichen von Philips Electronics N.V.

LEGIC[®] ist ein eingetragenes Warenzeichen von Kaba Security Locking Systems AG.

MICROLOG[®]

ist ein eingetragenes Warenzeichen von Idesco.

TagIt[®] und TIRIS[®]

sind eingetragene Warenzeichen von Texas Instruments.

TROVAN[®] ist ein eingetragenes Warenzeichen von Trovan, Ltd.

1 Einführung

In vielen Dienstleistungsbereichen, in der Beschaffungs- und Distributionslogik, im Handel, in Produktionsbetrieben und Materialflusssystemen haben automatische Identifikationsverfahren (Auto-ID) eine große Verbreitung gefunden. Aufgabe und Ziel der Auto-ID ist die Bereitstellung von Informationen zu Personen, Tieren, Gütern und Waren.

Die weit verbreiteten Barcode-Etiketten, die schon vor vielen Jahren eine Revolution bei Identifikationssystemen auslösten, sind heute in zunehmenden Fällen nicht mehr ausreichend. Zwar sind Barcodes äußerst billig, ihr Engpass ist jedoch die Unmöglichkeit der Umprogrammierung², sowie die notwendige Sichtverbindung zum Ablesen und die relativ geringe Lesegeschwindigkeit.

Eine technisch optimale Lösung ist die Speicherung der Daten in einem Siliziumchip. Aus dem täglichen Leben ist hierzu die Chipkarte mit Kontaktfeld (SIM-Karte, Bankenkarte) die bekannteste Bauform eines elektronischen Datenträgers. Die mechanische Kontaktierung wie bei der Chipkarte ist jedoch in vielen Fällen unzweckmäßig. Weitaus flexibler ist eine kontaktlose Übertragung der Daten zwischen dem Datenträger und einem zugehörigen Lesegerät. Idealerweise wird auch die zum Betrieb des elektronischen Datenträgers benötigte Energie durch das Lesegerät kontaktlos übertragen. Entsprechend den eingesetzten Energie- und Datenübertragungsverfahren werden kontaktlose ID-Systeme als *RFID-Systeme* (Radio Frequency Identification) bezeichnet.

Die Anzahl der Firmen, welche sich aktiv mit der Entwicklung und der Vermarktung von RFID-Systemen befassen, zeigt, dass sich die RFID-Technologie mittlerweile zu einem Milliarden schweren Markt entwickelt hat. Allein für 2014 wurde das gesamte Marktvolumen für RFID auf fast 10 Milliarden US\$ geschätzt, worin Datenträger (Tags), Lesegeräte und Software enthalten sind. Bis 2024 wird mit einem Marktvolumen von 27 Milliarden US\$ gerechnet [raghudas2013].

Darüber hinaus hat sich die kontaktlose Identifikation in den letzten 25 Jahren zu einem eigenständigen interdisziplinären Fachgebiet entwickelt, das in keine der klassischen Schubladen mehr passt. Es fließen hier Elemente aus den verschiedensten Branchen zusammen: HF-Technik und EMV, Halbleitertechnik, Datenschutz und Kryptographie, Telekommunikation, Fertigungstechnik und viele verwandte Fachgebiete.

Zur Einführung gibt das folgende Kapitel einen Überblick über verschiedene Auto-ID-Systeme, die als verwandte oder benachbarte Systeme zur RFID angesehen werden können.

² Sofern die Barcodes auf Papier ausgedruckt werden. Mittlerweile werden Barcodes aber auch auf Displays oder Smartphones eingesetzt.

1.1 Automatische Identifikationssysteme

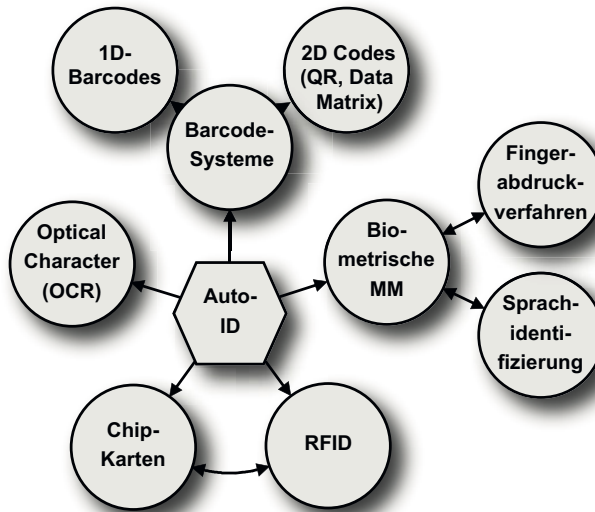


Abb. 1.1 Zusammenfassende Übersicht der wichtigsten Auto-ID-Verfahren.

1.1.1 Barcode-Systeme

Der *Barcode* (Strichcode) ist ein Binärcode aus einem Feld von parallel angeordneten Strichen (engl. bars) und Trennlücken. Diese sind nach einem vorbestimmten Bild angeordnet und stellen Elemente von Daten dar, die auf ein zugehöriges Zeichen verweisen. Die Sequenz aus breiten und schmalen Strichen bzw. Lücken kann numerisch oder alphanumerisch interpretiert werden. Die Ablesung geschieht durch optische Laserabtastung, d.h. durch die unterschiedliche Reflexion eines Laserstrahles an den schwarzen Strichen und weißen Lücken [ident 1].

Die Geschichte des Barcodes begann im Jahr 1948, als Norman Joseph Woodland und Bernhard Siver von einem Supermarktbetreiber erfuhren, der auf der Suche nach einem System zur automatischen Abfrage von Produktdaten für seine Kassen war. Vom Morsecode inspiriert, entwickelten die beiden US-Amerikaner einen Strichcode, auf den 1952 ein Patent erteilt wurde.

Trotz Weiterentwicklung der Technologie dauerte es bis in die 1970er Jahre, als mit Einführung des *UPC* (Universal Product Code) der Durchbruch gelang. So wurde 1974 zum ersten Mal ein Artikel mit Hilfe der Barcode-Technologie an einer Supermarktkasse erfasst. Nur wenig später wurden 1976 mit dem *EAN-Code* auch in Europa Barcode-Systeme eingeführt.

Heute dürfte der mit Abstand am weitesten verbreitete Barcode eben dieser *EAN-Code* (European Article Number) sein. Der EAN-Code ist eine Weiterentwicklung des US-amerikanischen *UPC*, welcher heute eine Untermenge des EAN-Codes darstellt. Der *UPC* ist daher mit dem *EAN-Code* kompatibel [virnich]. Der EAN-Code ist international standardisiert

und verwendet Nummernkreise die international nur einmalig vergeben werden. Die ersten drei Ziffern stehen für das Land (400 bis 440 für Deutschland). Danach folgen eine Betriebsnummer (Unternehmensnummer) sowie 3 bis 5 Ziffern als Artikelnummer. Insgesamt werden 13 Ziffern dargestellt (EAN-13).

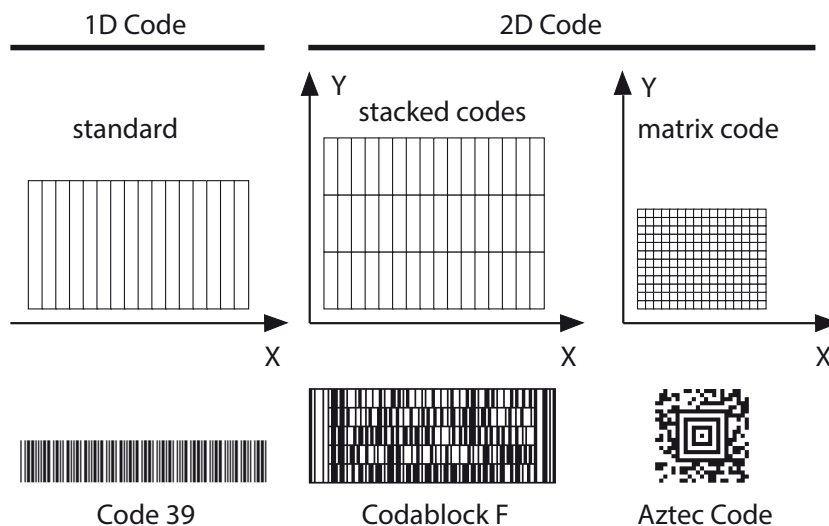


Abb. 1.2 Die Weiterentwicklung vom 1D- zum 2D-Barcode durch Einführung verschiedener Informations-ebenen der optischen Darstellung. [logitogo]

Bereits in den 1980er Jahren wurden die „klassischen“ 1D-Barcodes zu einer flächigen Darstellung weiterentwickelt. Dies war die Entstehung der 2D-Barcodes. Deren ältester und bekanntester Vertreter ist der DataMatrix-Code, der seit Ende der 1980er Jahre in vielen Bereichen eingesetzt wird. Mit dem DataMatrix-Code 144x144 ECC 200 lassen sich bis zu 1556 Bytes oder 2335 ASCII-Zeichen (bei 7 Bit pro Zeichen) kodieren.

Der QR-Code (Quick Response Code) wurde im Jahr 1994 von der Firma Denso Wave entwickelt, mit dem Ziel, Baugruppen und Komponenten eines Automobilkonzerns über die gesamte Logistik hinweg identifizieren zu können. Der QR-Code ist ein quadratischer Matrixcode mit drei Eckmarkierungen, der je nach Fehlerkorrektur-Level sogar noch bei einer Zerstörung von bis zu 30% vollständig gelesen werden kann.

Mit dem Aufkommen von Smartphones wurde es möglich, Barcodes mit der eingebauten Kamera zu fotografieren, und mit einer geeigneten App auf dem Smartphone zu detektieren. Dadurch ist der QR-Code heute vor allem auch außerhalb der Produktionslogistik weit verbreitet, und wird für verschiedenste Einsatzbereiche genutzt. Viele Plakate, Anzeigen, Poster und sogar Visitenkarten werden mit QR-Codes versehen, die Text enthalten oder auf eine Website verweisen. Umgekehrt kann der QR-Code aber auch auf dem Display eines Smartphones mit hohem Kontrast dargestellt werden. Dies wird bereits seit einiger Zeit von Fluggesellschaften eingesetzt, um Boardkarten auf Smartphones zu übertragen.

Mit dem QR-Code (177x177 Elemente, Fehlerkorrekturlevel „L“) lassen sich bis zu 2953 Byte oder 4296 ASCII-Zeichen (bei 7 Bit pro Zeichen) kodieren.

Die Entwicklung der Barcodes ist dabei keineswegs abgeschlossen. So wurde von Microsoft mit dem HCCB (High Capacity Color Barcode) ein 3D-Barcode entwickelt. Durch den Einsatz verschiedener Farben kann der HCCB, gegenüber dem klassischen 2D-Barcode, in etwa die doppelte Datenmenge auf gleichem Raum darstellen. Mit der Darstellung zeitlich veränderlicher Barcodes auf einem Display wurde mittlerweile sogar die Epoche der 4D-Barcodes eingeläutet. Auch der Einsatz von Smartphones als Barcode-Lesegerät oder -Display wird, zusammen mit ihrer Vernetzung im Internet, sicher noch die eine oder andere sehr interessante Anwendungsmöglichkeit von Barcodes hervorbringen.



Abb. 1.3 Verschiedene Beispiele für 1D- und 2D-Barcodes.

Barcode-Systeme konkurrieren unmittelbar mit den RFID-Systemen. Häufig werden RFID-Systeme auch als elektronischer Barcode bezeichnet, was aber weder den Barcode- noch den RFID-Systemen ganz gerecht wird, da die beiden Systeme auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien beruhen, und daher unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen

1.1.2 Optical Character Recognition

Der Einsatz von *Klarschriftlesern* (optical character recognition = OCR) begann schon in den 1960er Jahren. Hierfür wurden spezielle Schrifttypen entwickelt, die durch ihre Stilisierung nicht nur von Menschen, sondern auch automatisch von Maschinen gelesen werden können. OCR-A wurde 1968 als erste optisch maschinenlesbare Schrift entwickelt, und ist nach ANSI INCITS 17-1981 spezifiziert. Bereits wenige Jahre später wurde von Adrian Frutiger die Schrift OCR-B entwickelt, und in ISO 1073-2 weltweit standardisiert.

RFID-HANDBOOK
 This is a sample written in OCR-A:

Special character:	0123456789
"hook", "fork" and	ABCDEFGHIJ
"chair"	KLMNOPQRST
	UVWXYZabcd
	efghijklmn
	opqrstuvwxyz
	yz&?§\$ı.*#



This is a sample written in OCR-B:

0123456789ABCDEFGHIJKLMNPOQRSTUVWXYZabcd
 efahijklmnoparstuvwxyz&?\$\$.*#

Abb. 1.4 Beispiel für die OCR-Schriften OCR-A und OCR-B.

Die wichtigsten Vorteile der *OCR-Systeme* sind die hohe Informationsdichte sowie die Möglichkeit, im Notfall (oder einfach zur Kontrolle) die Daten auch visuell erfassen zu können [virnich]. OCR-Schriften werden vor allem für Formulare und andere Dokumente verwendet, die maschinell erfasst werden sollen. Die Einsatzgebiete für OCR sind heute in der Produktion, in Dienstleistungs- und Verwaltungsbereichen, sowie bei Banken, zur Registrierung von Schecks³ und von Kreditkarten (siehe auch Abbildung 1.6 auf Seite 7). Die flächendeckende Verbreitung von OCR-Systemen wird jedoch durch die im Vergleich zu anderen ID-Verfahren komplizierten Lesegeräte behindert.

1.1.3 Biometrische Verfahren

Biometrie ist laut Duden-Fremdwörterbuch „die Wissenschaft von der Zählung und (Körper-)Messung an Lebewesen“. Im Zusammenhang mit Identifikationssystemen ist Biometrie der Oberbegriff für alle Verfahren, die Personen durch den Vergleich von unverwechselbaren und individuellen Körpermerkmalen identifizieren. In der Praxis sind dies Fingerabdruck- und Handabdruckverfahren, Sprachidentifizierung und seltener die Augen-Netzhaut- (bzw. auch Iris-) Identifizierung.

1.1.3.1 Sprachidentifizierung

Zur Identifikation einzelner Personen werden in neuerer Zeit spezielle Systeme zur Sprecherverifikation (Sprechererkennung) angeboten. Hierbei spricht der Benutzer in ein Mikrofon, das mit einem Computer verbunden ist. Dieser wandelt die gesprochenen Worte in digitale Signale um, die von der Identifizierungs-Software ausgewertet werden.

Ziel der Sprecherverifikation ist es, die angebliche Identität einer Person anhand ihrer Stimme zu überprüfen. Dabei werden die Sprachmerkmale der sprechenden Person mit einem

³ In der untersten Zeile von Schecks findet man persönliche Daten (Name, Kontonummer) als OCR-Schrift aufgedruckt.

vorliegenden Referenzmuster überprüft. Bei Übereinstimmung kann dann eine Reaktion ausgelöst werden (z. B. „Tür öffnen“).

1.1.3.2 Fingerabdruckverfahren (Daktyloskopie)

In der Kriminalistik ging man bei der Identifizierung von Straftätern bereits um die vorige Jahrhundertwende zu Fingerabdruckverfahren über. Hierbei geht es um den Vergleich der Papillaren und Hautleisten der Fingerspitzen bzw. Fingerkuppen, die man nicht nur vom Finger selbst, sondern auch von berührten Gegenständen abnehmen kann.



Abb. 1.5 Beispiel für eine kontaktlose Kreditkarte mit integriertem Fingersensor, die Zwipecard. [zwipecard2014] (Grafik und Foto: Zwipecard AS Norway)

Bei der Personenidentifikation mittels Fingerabdruckverfahren, meist für eine Zutrittskontrolle, wird die Fingerkuppe auf ein spezielles Lesegerät gelegt. Das System berechnet aus dem eingelesenen Muster einen Datensatz und vergleicht diesen mit einem gespeicherten Referenzmuster. Moderne Fingerabdruck-ID-Systeme benötigen weniger als eine halbe Sekunde zur Erkennung und Prüfung eines Fingerabdruckes. Um gewalttätigen Betrugsversuchen vorzubeugen, wurden sogar Fingerabdruck-ID-Systeme entwickelt, welche erkennen können, ob ein lebender Finger vorgelegt wird [schmidhäusler].

Die fortschreitende Entwicklung in der Halbleitertechnologie ermöglicht heute sogar ein Zusammenwachsen von Fingerabdruck- und RFID-Technologien. Eine kontaktlose Kreditkarte mit eingebautem Fingerabdruck-Scanner soll Kartenzahlungen bequemer und unabhängig von einer PIN-Eingabe oder einer Unterschrift machen. Die Fingerabdruckdaten des Karteninhabers werden auf der Karte selbst sicher gespeichert. Vor der ersten Zahlung wird hierzu vom Karteninhaber ein Referenzscan erstellt. Anschließend lassen sich Zahlungen einfach betätigen, indem der Daumen auf den Sensor gehalten wird, während die Karte in einigen Zentimetern Abstand an ein kontaktloses Terminal geführt wird. Die vom Terminal übertragene Energie reicht dabei auch aus, um den Sensor mit Energie zu versorgen, so dass keine Batterie in der Karte benötigt wird [zwipecard2014].

1.1.4 Chipkarten

Als *Chipkarte* bezeichnet man einen elektronischen Datenspeicher, gegebenenfalls mit zusätzlicher Rechnerleistung (Mikroprozessorkarte), welcher – der besseren Handhabung we-

gen – in eine Plastikkarte im Kreditkartenformat eingebaut ist. Erste Chipkarten wurden in Europa bereits um 1984 als vorbezahlte Telefonchipkarten eingesetzt. Zum Betrieb werden Chipkarten in ein Lesegerät eingesteckt, das mit Kontaktfedern eine galvanische Verbindung zu den Kontaktflächen der Chipkarte herstellt. Über die Kontaktflächen wird die Chipkarte aus dem Lesegerät mit Energie und einem Takt versorgt. Die Datenübertragung zwischen dem Lesegerät und der Karte wird auf einer bidirektionalen seriellen Schnittstelle (I/O-Port) abgewickelt. Nach dem Innenleben der Chipkarten unterscheidet man zwischen zwei Grundtypen: Speicherkarte und Mikroprozessorkarte.



Abb. 1.6 Vorderseite einer Kreditkarte im ID-1 Format, mit Chip. (Foto: Giesecke & Devrient, München)

Die mechanischen Abmessungen einer Chipkarte sind in ISO/IEC 7816 standardisiert. Die beiden wichtigsten Bauformen sind dabei ID-1 und ID-000. ID-1 ist mit 85,60 mm x 53,98 mm das größte Format, und wird bei allen Banken- und Kreditkarten, dem EU-Führerschein oder den Krankenversicherungskarten eingesetzt. ID-000, das mit 25 mm x 15 mm kleinste der ISO-Formate, kommt überwiegend bei SIM-Karten zum Einsatz. Die Dicke der Karten ist für alle Größen einheitlich, und beträgt 0,762 mm (0,03 Zoll).

Einer der wichtigsten Vorteile der Chipkarte liegt darin, dass die in ihr gespeicherten Daten gegen unerwünschten (Lese-) Zugriff und Manipulation geschützt werden können. Chipkarten machen fast alle Dienstleistungen, die mit Informations- oder Geldtransaktionen verbunden sind, einfacher, sicherer und billiger.

Im Jahre 1992 wurden weltweit 200 Millionen Chipkarten ausgegeben (davon 20% alleine in Deutschland!). 20 Jahre später, 2012, wurde die unvorstellbare Menge von knapp 7 Milliarden Chipkarten weltweit verkauft. Den größten Anteil daran haben, mit 5,1 Milliarden Stück, Karten für den Telefonmarkt, also SIM-Karten für Mobiltelefone. Auf dem zweiten Platz, mit immerhin 1,2 Milliarden Stück, folgen Chipkarten für den Zahlungsverkehr, also Banken- und Kreditkarten mit Chip [esmart13]. Für die kommenden Jahre rechnet die Herstellerorganisation Eurosmart mit einem Wachstum von etwa 9%, so dass mit einer weiteren Verdoppelung der Stückzahlen bis 2020 gerechnet werden kann.

Ein Nachteil der kontaktbehafteten Chipkarten ist die Anfälligkeit der Kontakte für Abnutzung, Korrosion und Verschmutzung. Vor allem häufig benutzte Lesegeräte verursachen hohe Kosten durch Ausfall. Zudem können frei zugängliche Lesegeräte (Fahrkartenautoma-

ten) nicht gegen Sabotage geschützt werden. Seit dem Jahr 2000 werden daher zunehmend Chipkarten in den Markt gebracht, die neben den Kontakten zusätzlich über ein kontaktloses RFID-Interface verfügen (siehe dazu Kapitel 10.2.1 „Dual Interface Karte“, S. 472). Werden die Kontakte vollständig weggelassen, ergibt sich eine kontaktlose Chipkarte, und damit ein RFID-Transponder.

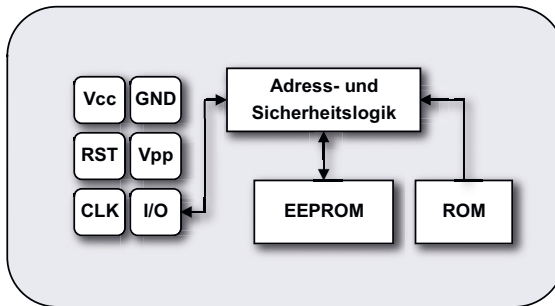


Abb. 1.7 Typische Architektur einer Speicherkarte mit Sicherheitslogik.

1.1.4.1 Speicherkarten

Bei *Speicherkarten* wird über eine sequentielle Logik (State-Machine) auf den Speicher – meist ein EEPROM – zugegriffen. Hierbei sind auch einfache Sicherheitsalgorithmen, z. B. Stromverschlüsselung (Streamcipher) realisierbar. Die Funktionalität von Speicherkarten ist meist auf eine sehr spezielle Anwendung optimiert. Die Flexibilität der Anwendung ist hierfür zwar stark eingeschränkt, dafür sind Speicherkarten jedoch besonders preisgünstig. Speicherkarten werden deshalb vor allem in preissensitiven Massenanwendungen eingesetzt [rankl].

Beispiele für Speicherkarten sind die vorbezahlten (Debit-) Telefonchipkarten für öffentliche Fernsprecher, die in Europa in den 1990er Jahren sehr verbreitet waren, sowie die Versichertenkarte der gesetzlichen Krankenkassen in Deutschland [lemme], die erst 2011 durch eine Mikroprozessorkarte abgelöst wurde.

1.1.4.2 Mikroprozessorkarten

Mikroprozessorkarten enthalten – wie schon die Bezeichnung zum Ausdruck bringt – einen Mikroprozessor, der mit einem segmentierten Speicher (ROM-, RAM- und EEPROM-Segment) verbunden ist.

Das maskenprogrammierte ROM enthält ein *Betriebssystem* (übergeordneter Programmcode) für den Mikroprozessor und wird während der Chipfabrikation aufgebracht. Der Inhalt des ROM ist herstellungsbedingt für alle Mikrochips des gleichen Produktionsloses identisch und kann auch nicht mehr überschrieben werden.

Im EEPROM des Chips befinden sich Applikationsdaten und applikationsspezifischer Programmcode. Dieser Speicherbereich kann jedoch nur unter Kontrolle des Betriebssystems beschrieben oder gelesen werden.

Das RAM ist der temporäre Arbeitsspeicher des Mikroprozessors. Die gespeicherten Daten gehen nach Abschalten der Versorgungsspannung verloren.

Mikroprozessorkarten sind sehr flexibel. Moderne Chipkartenbetriebssysteme ermöglichen es auch, unterschiedliche Anwendungen in einer einzigen Karte zu integrieren (Multiapplikation). Die applikationsspezifischen Programmteile werden dazu erst nach der Kartenproduktion in das EEPROM geladen und können über das Betriebssystem gestartet werden.

Mikroprozessorkarten werden vor allem in sicherheitssensitiven Anwendungen eingesetzt. Ein Beispiel hierfür sind die SIM-Karten für GSM-Handys oder die von Banken ausgegebenen EC-Karten (electronic cash). Die Programmiermöglichkeit der Mikroprozessorkarten ermöglicht außerdem die schnelle Anpassung an neue Applikationen [rankl].

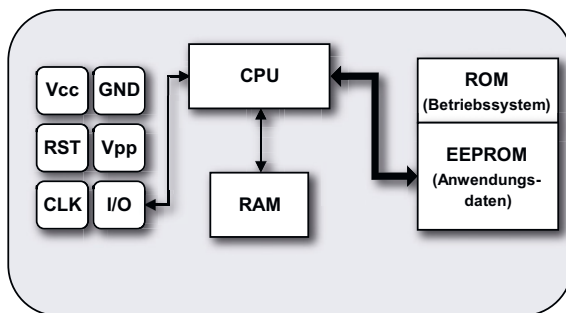


Abb. 1.8 Typische Architektur einer Mikroprozessorkarte.

1.1.5 RFID-Systeme

RFID-Systeme sind den oben beschriebenen Chipkarten eng verwandt. Auch hier werden die Daten auf einem elektronischen Datenträger – dem Transponder – gespeichert. Die Energieversorgung des Datenträgers sowie der Datenaustausch zwischen Datenträger und Lesegerät erfolgt jedoch nicht durch galvanisches Kontaktieren, sondern unter Verwendung magnetischer oder elektromagnetischer Felder. Die technischen Verfahren hierzu wurden aus der Funk- und Radartechnik übernommen. Die Bezeichnung RFID steht deshalb für Radio-Frequency-Identification, also Identifikation durch Radiowellen.

Aufgrund zahlreicher Vorteile der RFID-Systeme gegenüber den anderen Identifikationssystemen erobern RFID-Systeme zunehmend neue Massenmärkte. Beispiele hierfür sind der Einsatz kontaktloser Chipkarten als Ticket für den öffentlichen Nahverkehr, Kreditkarten mit kontaktlosem Interface oder der Einsatz von RFID in der Waren- und Güterlogistik.

1.2 Vergleich verschiedener ID-Systeme

Ein Vergleich (siehe Tabelle 1.1 auf Seite 10) zwischen den oben aufgeführten Identifikationssystemen zeigt die Schwächen und Stärken von RFID zu anderen Systemen. Auch hier zeigt sich die enge Verwandtschaft zwischen kontaktbehafteter Chipkarte und RFID-Systeme.

men, doch werden bei Letzteren alle Nachteile im Zusammenhang mit der störanfälligen Kontaktierung (Sabotage, Verschmutzung, nur eine Steckrichtung, zeitaufwändiges Einstecken usw.) vermieden.

Tabelle 1.1: Der Vergleich verschiedener RFID-Systeme zeigt deren Vor- und Nachteile.

Parameter	1D-/2D-Barcode	OCR	Sprechererkennung	Biometrie	Chipkarte	RFID-Systeme
Typische Datenmenge/Byte:	1 ~ 100 10~5k	1 ~ 100	–	–	16 ~ 512k	16 ~ 512k
Datendichte	mittel	gering	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Maschinenlesbarkeit	gut	gut	aufwändig	aufwändig	gut	gut
Lesbarkeit durch Personen	bedingt	einfach	einfach	schwer	unmöglich	unmöglich
Einfluss von Schmutz/Nässe	stark	sehr stark	–	–	möglich (Kontakte)	kein Einfluss
Einfluss von (opt.) Abdeckung	totaler Ausfall	totaler Ausfall	–	möglich	–	kein Einfluss
Einfluss von Richtung und Lage	gering	gering	–	–	eine Steckrichtung	kein Einfluss
Abnutzung, Verschleiß	bedingt	bedingt	–	–	Kontakte	kein Einfluss
Anschaffungskosten Elektronik	sehr gering	mittel	sehr hoch	sehr hoch	gering	mittel
Betriebskosten (z. B. Drucker)	sehr gering	gering	keine	keine	mittel (Kontakte)	keine
unbefugtes Kopieren/Ändern	leicht	leicht	möglich ^a (Tonband)	unmöglich	unmöglich	unmöglich
Lesegeschwindigkeit (incl. Handhabung des Datenträgers)	gering ~ 4 s	gering ~ 3 s	sehr gering > 5 s	sehr gering > 5 ... 10 s	gering ~ 4 s	sehr schnell ~ 0,5 s
Maximale Entfernung zwischen Datenträger und Lesegerät	0 ... 50 cm	< 1 cm (Scanner)	0 ... 50 cm	direkter Kontakt ^b	direkter Kontakt	HF: 0 ... 1 m, UHF: 0 ... 12 m

^a Die Gefahr des „Replay“ kann durch Auswahl eines zu sprechenden Textes mit einem Zufallsgenerator verringert werden, da nicht mehr im Voraus bekannt ist, welcher Text gesprochen werden muss.

^b Dies gilt nur für Fingerabdruck-ID. Bei Augen-Netzhaut- oder Iris-Auswertung ist ein direkter Kontakt nicht nötig bzw. möglich.

1.3 Bestandteile eines RFID-Systems

Ein *RFID-System* besteht immer aus zwei Komponenten:

- dem *Transponder*, der an den zu identifizierenden Objekten angebracht wird;
- dem Erfassungs- oder *Lesegerät*⁴, das je nach Ausführung und eingesetzter Technologie als Lese- oder Schreib/Lese-Einheit erhältlich ist.

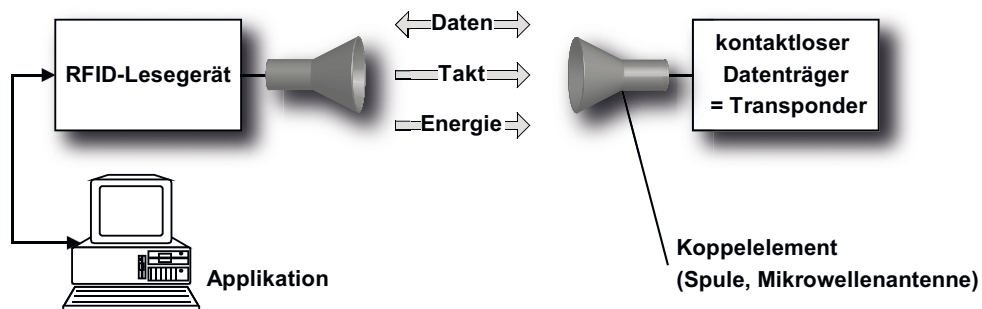


Abb. 1.9 Lesegerät und Transponder sind die Grundbestandteile jedes RFID-Systems.

Ein Lesegerät beinhaltet typischerweise ein Hochfrequenzmodul (Sender und Empfänger), eine Kontrolleinheit sowie ein Koppelement (Antenne) zum Transponder. Daneben sind viele Lesegeräte mit einer zusätzlichen Schnittstelle (USB, LAN, RS 232, ...) ausgestattet, um die erhaltenen Daten an ein anderes System (PC, Automatensteuerung, ...) weiterzuleiten.



Abb. 1.10 RFID-Lesegerät und kontaktlose Chipkarte im praktischen Einsatz.
(Foto: Philips Semiconductors Gratkorn, A-Gratkorn)

Der Transponder, der den eigentlichen *Datenträger* eines RFID-Systems darstellt, besteht üblicherweise aus einem *Koppelement* sowie einem elektronischen *Mikrochip*. Außerhalb des Ansprechbereichs eines Lesegerätes verhält sich der Transponder, der in der Regel keine

⁴ In diesem Buch wird das Erfassungsgerät – der üblichen umgangssprachlichen Verwendung entsprechend – immer als Lesegerät bezeichnet, unabhängig davon, ob Daten damit nur gelesen oder auch geschrieben werden.

eigene Spannungsversorgung (Batterie) besitzt, vollkommen passiv. Erst innerhalb des Ansprechbereichs eines Lesegerätes wird der Transponder aktiviert. Die zum Betrieb des Transponders benötigte Energie wird ebenso wie Takt und Daten durch die Koppeleinheit (kontaktlos) zum Transponder übertragen.

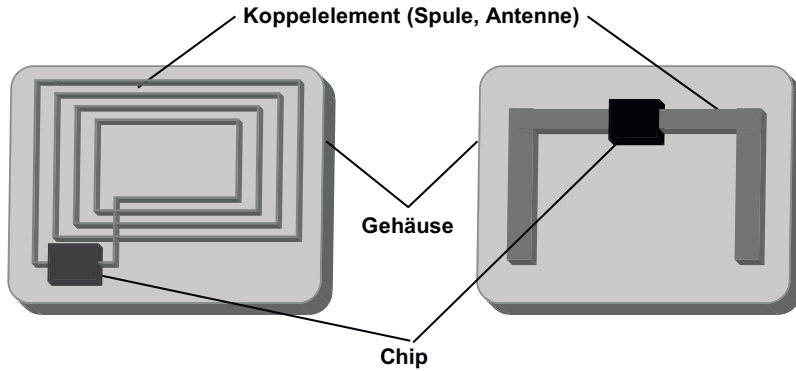


Abb. 1.11 Prinzipieller Aufbau des RFID-Datenträgers, des Transponders.
Links: induktiv gekoppelter Transponder mit Antennenspule,
rechts: Mikrowellen-Transponder mit Dipolantenne.

2 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen

2.1 Grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale

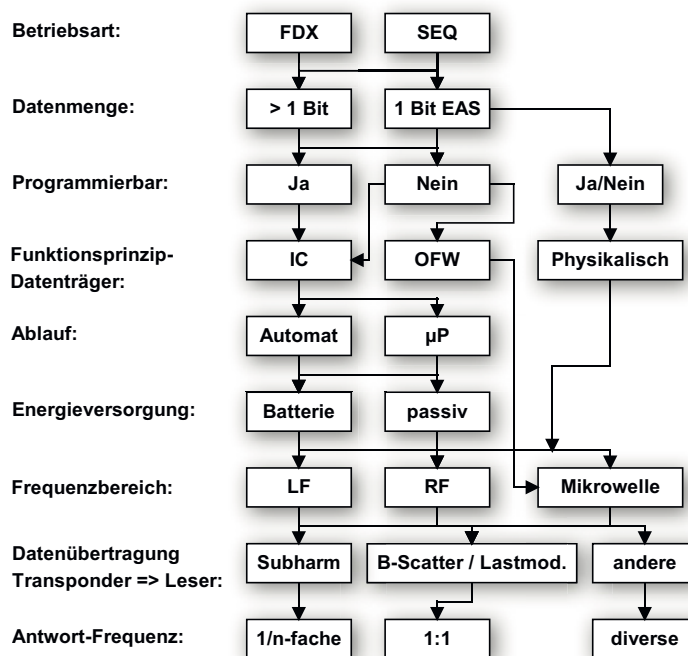


Abb. 2.1 Verschiedene Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen. [isd]

RFID-Systeme existieren in unzähligen Varianten, von fast ebenso vielen verschiedenen Herstellern. Um den Überblick über RFID-Systeme zu behalten, ist es notwendig, Unterscheidungsmerkmale zu finden, nach denen verschiedenste RFID-Systeme voneinander unterschieden werden können.

Bei der Betriebsart von RFID-Systemen sind zwei grundsätzliche Verfahren zu unterscheiden: Voll- (full-duplex, FDX) und Halbduplex-Systeme (half-duplex, HDX), sowie sequentielle Systeme (SEQ).

Beim *Voll- und Halbduplexverfahren* wird die Antwort des Transponders bei eingeschaltetem HF-Feld des Lesegerätes übertragen. Da das Signal des Transponders an der Empfangsantenne, verglichen mit dem Signal des Lesegerätes selbst, extrem schwach sein kann, müssen geeignete Übertragungsverfahren angewendet werden, um die Signale des Transponders von denen des Lesegerätes zu unterscheiden. In der Praxis verwendet man zur Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät Lastmodulation, Lastmodulation mit Hilfsträger, aber auch (Sub-)Harmonische der Sendefrequenz des Lesegerätes.

Bei *sequentiellen Verfahren* hingegen wird das Feld des Lesegerätes periodisch für kurze Zeit abgeschaltet. Diese Lücken werden vom Transponder erkannt und zur Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät benutzt. Nachteil des sequentiellen Verfahrens ist der Ausfall der Energieversorgung des Transponders während der Sendepausen des Lesegerätes, was durch den Einbau ausreichender Stützkondensatoren oder Stützbatterien ausgeglichen werden muss.

Die Datenmenge von RFID-Transpondern reicht üblicherweise von wenigen Bytes bis zu mehreren KBytes. Eine Ausnahme stellen die so genannten 1-bit-Transponder dar: Eine Datenmenge von genau 1 Bit reicht gerade dazu aus, um dem Lesegerät zwei Zustände zu signalisieren: „Transponder im Feld“ oder „kein Transponder im Feld“. Dies ist jedoch vollkommen ausreichend, um einfache Überwachungs- oder Signalisierungsaufgaben zu erfüllen. Da zur Realisierung eines 1-bit-Transponders kein elektronischer Chip benötigt wird, können diese Transponder für Bruchteile eines Pfennigs hergestellt werden. Aus diesem Grunde werden 1-bit-Transponder in großen Stückzahlen zur *Diebstahlsicherung* (EAS) von Waren in Kaufhäusern und Geschäften eingesetzt. Beim Verlassen des Kaufhauses mit unbezahlter Ware wird das am Ausgang installierte Lesegerät dann den Zustand „Transponder im Feld“ erkennen und entsprechende Reaktionen auslösen. Bei einer ordnungsgemäß bezahlten Ware würde der 1-bit-Transponder an der Kasse entfernt oder deaktiviert werden.

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit von RFID-Systemen ist die Beschreibbarkeit des Transponders mit Daten. Bei sehr einfachen Systemen wird der Datensatz des Transponders, meist eine einfache (Serien-) Nummer, schon zum Zeitpunkt der Chipherstellung aufgebracht und kann dann nicht mehr verändert werden. Im Gegensatz dazu können beschreibbare Transponder durch das Lesegerät mit Daten beschrieben werden. Zur Speicherung der Daten werden vor allem drei Verfahren eingesetzt: Bei induktiv gekoppelten RFID-Systemen sind EEPROMs (electrically erasable programmable read only memory) das dominierende Verfahren, jedoch mit dem Nachteil einer hohen Leistungsaufnahme während des Schreibvorganges sowie einer Lebensdauer von maximal 100 000 Schreibvorgängen. In jüngster Zeit werden vereinzelt auch so genannte FRAMs (ferromagnetic random access memory) eingesetzt. Im Vergleich zu EEPROMs ist die Leistungsaufnahme zum Beschreiben von FRAMs etwa um den Faktor 100, die Schreibzeit sogar um den Faktor 1000 geringer. Probleme in der Herstellung der FRAMs haben deren breite Markteinführung bisher jedoch verhindert.

Vor allem bei den Mikrowellen-Systemen werden auch Statische RAMs (static random access memory, SRAM) zur Datenspeicherung eingesetzt, welche sehr schnelle Schreibzyklen ermöglichen. Zum Datenerhalt wird jedoch eine unterbrechungsfreie Spannungsversorgung aus einer Stützbatterie benötigt.

Bei den programmierbaren Systemen müssen der Schreib- und Lesezugriff auf den Speicher sowie die eventuelle Abfrage einer Schreib- und Leseberechtigung durch eine „innere Logik“ des Datenträgers gesteuert werden. Im einfachsten Falle kann dies durch einen Zustandsautomaten realisiert werden (Weiteres dazu in Kap. 10 „Architektur elektronischer Datenträger“, S. 449). Mit *Zustandsautomaten* können durchaus sehr komplexe Abläufe re-

alisiert werden. Der Nachteil von Zustandsautomaten ist jedoch die Inflexibilität gegenüber Änderungen der programmierten Funktionen, da hierzu Schaltungsänderungen auf dem Siliziumchip nötig sind. Dies bedeutet in der Praxis eine kostspielige Neuentwicklung des Chiplayouts.

Eine wesentliche Verbesserung ergibt sich durch die Verwendung eines Mikroprozessors. Ein eigenes Betriebssystem zur Verwaltung der Applikationsdaten wird bei der Chipherstellung durch eine Maske in den Prozessor gebracht. Änderungen lassen sich auf diese Weise kostengünstig einbringen, außerdem kann die Software an unterschiedlichste Applikationen spezifisch angepasst werden. Im Zusammenhang mit kontaktlosen Chipkarten spricht man bei beschreibbaren Datenträgern mit Zustandsautomaten auch von „Speicherkarten“, im Gegensatz zu „Prozessorkarten“.

In diesem Zusammenhang müssen auch Transponder erwähnt werden, die Daten aufgrund physikalischer Effekte speichern können. Hierunter fallen die Read-only-Oberflächenwellen-Transponder sowie 1-bit-Transponder, die meist deaktiviert („Beschreiben“ mit „0“), seltener auch wieder reaktiviert („Beschreiben“ mit „1“) werden können.

Ein sehr wichtiges Merkmal von RFID-Systemen ist die *Energieversorgung* der Transponder. *Passive Transponder* beinhalten keine eigene Energieversorgung, die gesamte Energie zum Betrieb passiver Transponder muss deshalb dem (elektrischen / magnetischen) Feld des Lesegerätes entnommen werden. Im Gegensatz dazu enthalten *aktive Transponder* eine Batterie, welche die Energie zum Betrieb des Mikrochips ganz oder zumindest teilweise („Stützbatterie“) zur Verfügung stellt.

Eines der wichtigsten Merkmale von RFID-Systemen ist die Betriebsfrequenz und die daraus resultierende Reichweite des Systems. Als Betriebsfrequenz eines RFID-Systems wird dabei die Frequenz bezeichnet, auf der das Lesegerät sendet. Die Sendefrequenz des Transponders wird nicht berücksichtigt. In den meisten Fällen entspricht sie der *Sendefrequenz* des Lesegerätes (Lastmodulation, Backscatter). Die „Sendeleistung“ des Transponders kann jedoch in jedem Fall um mehrere Zehnerpotenzen niedriger angesetzt werden als die des Lesegerätes.

Grundsätzlich werden die verschiedenen Sendefrequenzen den drei Bereichen LF (low frequency, 30 kHz ... 300 kHz), HF (high frequency) bzw. RF (radio frequency, 3 MHz ... 30 MHz) und UHF (ultra high frequency, 300 MHz ... 3 GHz) bzw. Mikrowelle (> 3 GHz) zugeordnet. Eine zusätzliche Einteilung der RFID-Systeme nach Reichweite ermöglicht die Unterscheidung zwischen Close coupling (< 1 cm), Remote coupling (0 ... 1 m), und long-range Systemen (> 1 m).

Die verschiedenen Verfahren der Datenübertragung, vom Transponder zurück zum Lesegerät, lassen sich in drei Gruppen einteilen: Die Anwendung von Reflexion bzw. Backscatter (die Frequenz der reflektierten Welle entspricht der Sendefrequenz des Lesegerätes: Frequenzverhältnis 1:1) oder Lastmodulation (das Feld des Lesegerätes wird durch den Transponder beeinflusst: Frequenzverhältnis 1:1), die Anwendung von Subharmonischen (1/n-fache) sowie die Erzeugung von Oberwellen (n-fache) im Transponder.

2.2 Bauformen von Transpondern

2.2.1 Disks und Münzen

Häufigste Bauform sind die so genannten *Disks* (Münzen), Transponder in einem runden (ABS-)Spritzgussgehäuse, mit Durchmessern von wenigen Millimetern bis zu 10 cm. In der Mitte befindet sich meistens eine Bohrung zur Aufnahme einer Befestigungsschraube. Alternativ zu (ABS-)Spritzguss wird auch gerne Polystyrol oder sogar Epoxydharz für einen erweiterten Temperaturbereich verwendet.

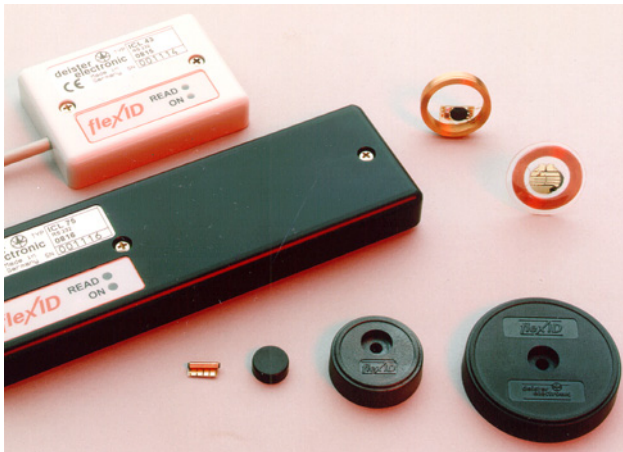


Abb. 2.2 Verschiedene Bauformen von Disk-Transpondern. (Foto: Deister Electronic, Barsinghausen)
rechts: Transponderspule und Chip vor dem Einbau in ein Gehäuse.
links: unterschiedliche Bauformen von Leseantennen.

2.2.2 Glasgehäuse

Für die Identifizierung von Tieren wurden die *Glastransponder* entwickelt, die unter die Haut des Tieres injiziert werden können (siehe hierzu Kap. 14 „Anwendungsbeispiele“, S. 625).

In dem lediglich 12 bis 32 mm langen Glasröhrchen befinden sich ein auf einem Träger (PCB) montierter Mikrochip sowie ein Chipkondensator zur Glättung der gewonnenen Versorgungsspannung. Die Transponderspule wird aus nur 0,03 mm dickem Draht auf einen Ferritkern gewickelt. Für die mechanische Stabilität sind die inneren Komponenten in einem Weichkleber eingebettet.

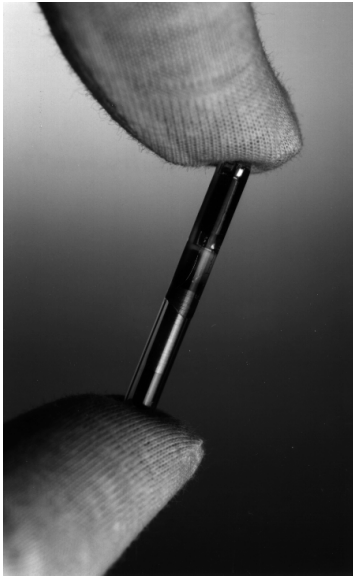


Abb. 2.3
Großaufnahme eines 32-mm-Glastransponders zur Identifikation von Tieren oder zur Weiterverarbeitung zu anderen Bauformen.
(Foto: Texas Instruments, Freising)

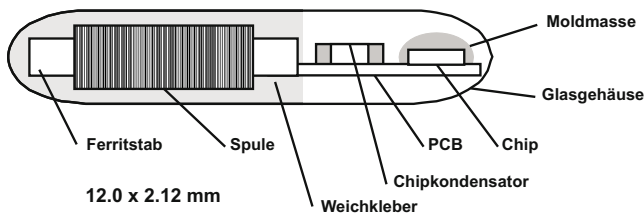


Abb. 2.4 Mechanischer Aufbau eines Glastransponders.

2.2.3 Plastikgehäuse

Für Anwendungen mit besonders hohen mechanischen Anforderungen wurde das *Plastikgehäuse* (*Plasticpackage*, PP) entwickelt. Dieses Gehäuse wird auch gerne in andere Bauformen integriert, so etwa in *Autoschlüssel* für elektronische Wegfahrsperrern.



Abb. 2.5 Transponder im Plastikgehäuse. (Foto: Philips Semiconductors, Hamburg)

Der aus Moldmasse (IC-Vergussmasse) bestehende abgeschrägte Quader beinhaltet nahezu die gleichen Komponenten wie der Glastransponder, hat aber durch die längere Spule eine größere Funktionsreichweite. Weitere Vorteile sind die Aufnahmefähigkeit von größeren Mikrochips sowie die hohe Belastungsfähigkeit gegenüber mechanischen Vibrationen, wie es z. B. von der Automobilindustrie gefordert wird. Auch andere Qualitätsanforderungen, wie Temperatur-Zyklen oder Falltest, erfüllen die PP-Transponder zur vollsten Zufriedenheit [bruhnke].

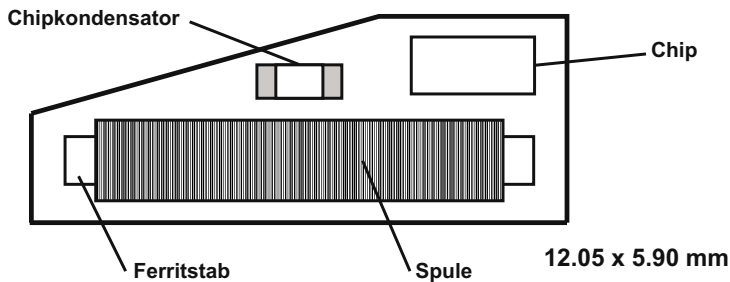


Abb. 2.6 Mechanischer Aufbau eines Transponders im Plastikgehäuse. Die Dicke des Gehäuses beträgt gerade 3 mm.

2.2.4 Werkzeug- und Gasflaschenidentifikation

Für den Einbau induktiv gekoppelter Transponder in *Metalloberflächen* wurden spezielle Bauformen entwickelt. Hierbei wird die Transponderspule in einen Ferritschalenkern gewickelt. Der Transponderchip wird auf der Rückseite des *Ferritschalenkerns* montiert und mit der Transponderspule kontaktiert. Um ausreichend mechanische Stabilität, Vibrations- und Hitzebeständigkeit zu erlangen, werden Transponderchip und Ferritschalenkern mit Epoxydharz in einer Halbschale aus PPS vergossen [link].

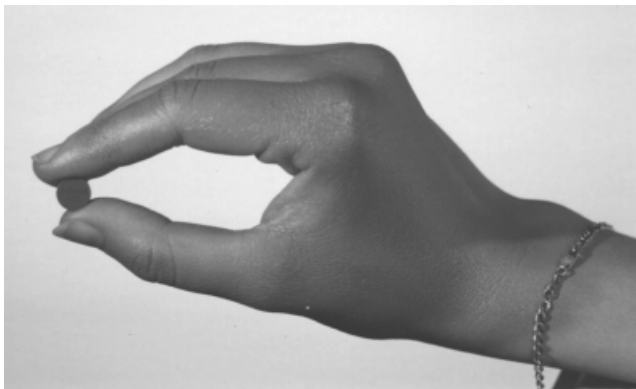


Abb. 2.7 Transponder in der nach DIN/ISO 69873 genormten Bauform, zum Einbau in einen Anzugsbolzen eines CNC-Werkzeuges. (Foto: Leitz GmbH & Co, Oberkochen)

Für den Einbau in einen Anzugsbolzen oder Steilkegelschaft zur Werkzeugidentifikation wurden die Außenabmessungen des Transponders sowie dessen Einbauraum in *DIN/ISO 69873*

genormt. Zur Gasflaschenidentifikation kommen auch davon abweichende Bauformen zum Einsatz.

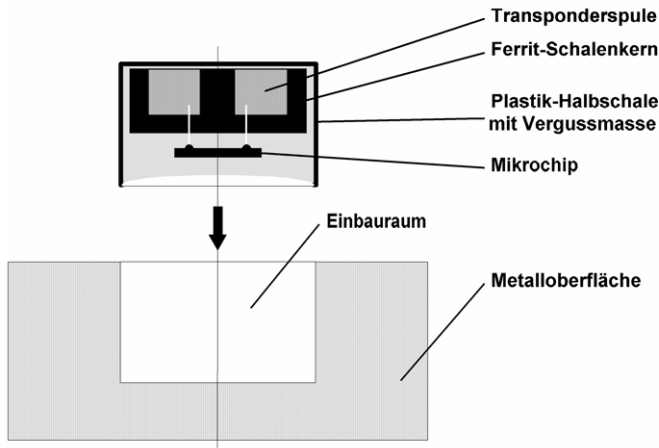


Abb. 2.8 Mechanischer Aufbau eines Transponders zum Einbau in Metalloberflächen. Die Transponderspule wird auf einen Ferrit-U-Kern gewickelt und dann in einer Plastik-Halbschale vergossen. Der Einbau erfolgt mit der Öffnung des U-Kerns nach oben.

2.2.5 Schlüssel und Schlüsselanhänger

Für Anwendungen der Wegfahrsperrung oder für Türschließsysteme mit besonders großen Sicherheitsanforderungen werden Transponder auch in mechanische Schlüssel integriert. Als Ausgangsbasis dient hier in der Regel ein Transponder im Plasticpackage, welcher dann in den Schlüsselknopf eingegossen bzw. eingespritzt wird.

Für Zutrittssysteme zu Büro- und Arbeitsräumen hat sich auch eine Transponderbauform als Schlüsselanhänger als sehr beliebt erwiesen.



Abb. 2.9 Schlüsselanhänger-Transponder für ein Zutrittssystem.
(Foto: Philips Semiconductors Gratkorn, A-Gratkorn)

2.2.6 Uhren

Diese Bauform wurde schon Anfang der 90er Jahre von der österreichischen Firma Ski-Data entwickelt und zunächst als Skipass eingesetzt. Darüber hinaus konnten sich die „*kontaktlosen Uhren*“ vor allem auch bei Zutrittskontrollsystemen durchsetzen. Die Uhr enthält eine auf eine dünne Leiterplatte aufgedruckte Rahmenantenne mit wenigen Windungen, welche möglichst dicht am Uhrengehäuse entlanggeführt werden, um die von der Antennenspule umfasste Fläche – und damit die Reichweite – zu optimieren.

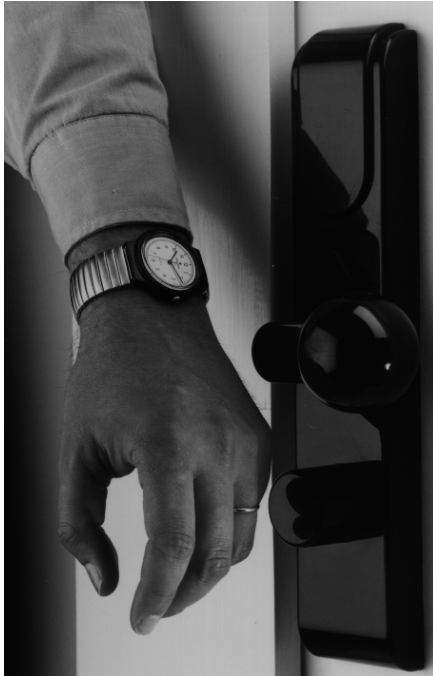


Abb. 2.10

Uhr mit integriertem Transponder als kontaktlose Zutrittsberechtigung.

(Foto: Junghans Uhren GmbH, Schramberg)

2.2.7 Bauform ID-1, kontaktlose Chipkarten

Der von Kredit- und Telefonkarten bekannten Bauform ID-1 (85,72 mm x 54,03 mm x 0,76 mm $\pm$ Toleranzen) dieser kleinen Plastikkärtchen kommt auch bei RFID-Systemen eine immer größer werdende Bedeutung als *kontaktlose Chipkarte* zu. Ein Vorteil dieser Bauform für induktiv gekoppelte RFID-Systeme besteht in der großen Spulenfläche, wodurch sich bei den Chipkarten hohe Reichweiten ergeben.

Kontaktlose Chipkarten entstehen durch das Einlaminieren eines Transponders zwischen vier PVC-Folien. Dabei werden die Einzelfolien bei hohem Druck und Temperaturen über 100 °C zu einer unlösbaren Einheit verbacken (die Herstellung von kontaktlosen Chipkarten ist im Kap. 13 „Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten“, S. 573, ausführlich beschrieben).



Abb. 2.11 Aufbau einer kontaktlosen Chipkarte: Kartenkörper mit Transpondermodul und Antenne.



Abb. 2.12 Halbtransparente kontaktlose Chipkarte. Deutlich zu erkennen die Transponderantenne entlang des Kartenrandes. (Foto: Giesecke & Devrient, München)

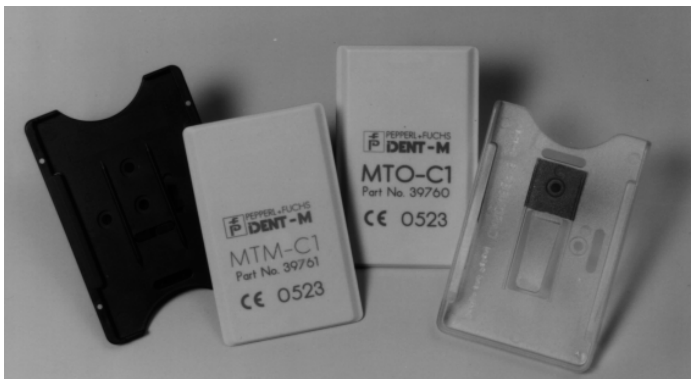


Abb. 2.13 Mikrowellen-Transponder im Kunststoff-Halbschalengehäuse. (Foto: Pepperl & Fuchs, Mannheim)

Kontaktlose Chipkarten in der Bauform ID-1 eignen sich hervorragend als Werbeträger und werden, wie auch Telefonchipkarten, mit künstlerisch gestalteten Aufdrucken versehen.

Nicht immer ist jedoch die in ISO 7810 für ID-1 Karten geforderte maximale Dicke von 0,8 mm einzuhalten. Vor allem Mikrowellentransponder benötigen eine dickere Bauform, weshalb der Transponder hier meist zwischen zwei PVC-Halbschalengehäuse verklebt oder im (ABS-)Spritzgussverfahren verpackt wird.



Abb. 2.14 Smart Label Transponder sind dünn und flexibel genug, um sie als Selbstklebelabel am Fluggepäck anzubringen. (Foto: i-code-Transponder, Philips Semiconductors, A-Gratcorn)

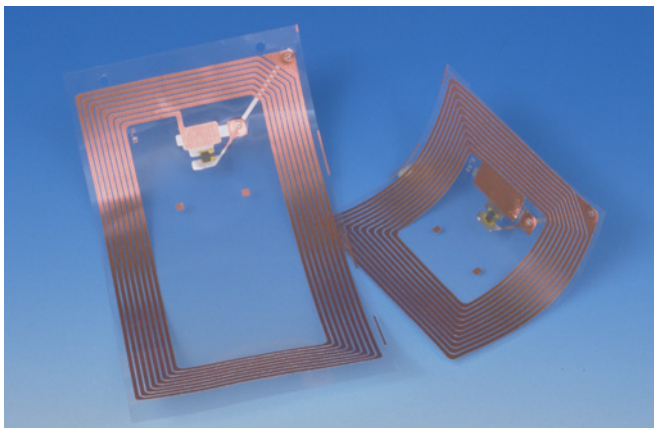


Abb. 2.15 Ein Smart-Label besteht im Wesentlichen aus einer dünnen Papier- oder Plastikfolie, auf die die Transponderspule und der Transponderchip aufgebracht werden. (Foto: Tag-It Transponder, Texas Instruments, Freising)

2.2.8 Smart Label

Unter „*Smart Label*“ versteht man eine papierdünne Transponderbauform. Hierbei wird die Transponderspule durch *Siebdruck* oder *Ätztechnik* auf eine nur 0,1 mm dicke Plastikfolie

aufgebracht. Diese Folie wird häufig mit einer Papierschicht laminiert und auf der Rückseite mit einem Kleber beschichtet. Die Transponder werden als Selbstklebeetiketten auf einer Endlosrolle geliefert und sind dünn und flexibel genug, um sie auf Gepäckstücke, Pakete und Waren aller Art aufzukleben. Da die *Klebeetiketten* leicht nachträglich bedruckt werden können, ist die Verknüpfung der gespeicherten Daten mit einem zusätzlichen Barcode auf der Vorderseite des *Labels* leicht möglich.

2.2.9 Coil-on-Chip

Bei den bisher vorgestellten Bauformen werden die Transponder aus einer separaten Transponderspule, die als Antenne funktioniert, und einem Transponderchip hergestellt (hybride Technologie). Die Transponderspule wird dabei auf konventionelle Weise an den Transponderchip gebondet.

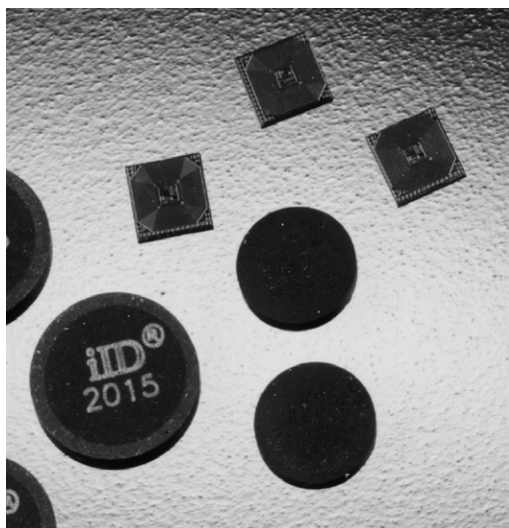


Abb. 2.16 Durch die Coil-on-chip-Technologie wird eine extreme Miniaturisierung von Transpondern möglich. (Foto: Micro Sensys, Erfurt)

Im Wege der Miniaturisierung liegt es nahe, auch die Spulen auf dem Chip zu integrieren („coil-on-chip“). Möglich wird dies durch einen speziellen Mikrogalvanikprozess, der auf einem normalen CMOS-Wafer stattfinden kann. Die Spule wird hier als planare (einlagige) Spiralanordnung unmittelbar auf dem Isolator des Siliziumchips platziert und durch konventionelle Öffnungen in der Passivierungsschicht mit der darunterliegenden Schaltung kontaktiert [jurisch-95, jurisch-98]. Die erreichten Leiterbahnbreiten liegen im Bereich von 5 bis 10 μm , bei einer Schichtdicke von 15 bis 30 μm . Um die mechanische Belastbarkeit des kontaktlosen Speicherbausteins in Coil-on-chip-Technologie zu gewährleisten, wird eine Abschlusspassivierung auf Polyamidbasis durchgeführt.

Die Größe des Siliziumchips und damit des gesamten Transponders beträgt gerade einmal 3 x 3 mm². Zur besseren Handhabung werden die Transponder häufig noch in einen Kunst-

stoffkörper eingebettet und gehören mit $\varnothing$ 6mm x 1,5 mm zu den kleinsten auf dem Markt verfügbaren RFID-Transpondern.

2.2.10 Weitere Bauformen

Neben diesen wichtigsten Bauformen werden noch eine Menge anwendungsspezifischer Sonderbauformen hergestellt. Beispiele hierfür sind etwa die „Brieftaubentransponder“ oder der „Champion-Chip“ für sportliche Zeitmessungen. Transponder können wohl in jede vom Kunden gewünschte Bauform gebracht werden. Bevorzugt werden dabei Glas- oder PP-Transponder zu weiteren Bauformen verarbeitet.

2.3 Frequenz, Reichweite und Kopplung

Die wichtigsten Unterscheidungskriterien für RFID-Systeme sind die Betriebsfrequenz des Lesegerätes, das physikalische Kopplungsverfahren und die Reichweite des Systems. RFID-Systeme werden auf unterschiedlichsten Frequenzen von Langwelle 135 kHz bis in den Mikrowellenbereich bei 5,8 GHz betrieben. Bei der physikalischen Kopplung kommen *elektrische*, *magnetische* und *elektromagnetische Felder* zum Einsatz. Schließlich variiert die erzielbare Reichweite der Systeme von wenigen mm bis hin zu 15 m und darüber.

RFID-Systeme mit sehr kleinen Reichweiten, im Bereich bis zu typischerweise 1 cm, werden als *Close coupling Systeme* bezeichnet. Die Transponder müssen zum Betrieb entweder in ein Lesegerät eingesteckt oder auf einer dafür vorgesehenen Oberfläche positioniert werden. Close coupling Systeme verwenden sowohl elektrische als auch magnetische Felder zur Kopplung und können theoretisch auf beliebigen Frequenzen zwischen DC und 30 MHz betrieben werden, da zum Betrieb der Transponder keine Felder abgestrahlt werden müssen. Dies ermöglicht die Bereitstellung größerer Energiemengen, so etwa auch für den Betrieb eines in der Stromaufnahme nicht optimierten Mikroprozessors. Close coupling Systeme werden vor allem in Applikationen eingesetzt, an die große Sicherheitsanforderungen gestellt werden, die jedoch keine großen Reichweiten erfordern. Dies sind zum Beispiel elektronische Türschließenanlagen oder kontaktlose Chipkartensysteme mit Zahlungsfunktionen. Close coupling Transponder werden derzeit ausschließlich als *kontaktlose Chipkarte* im ID1-Format (ISO 10536) eingesetzt, allerdings spielen Close coupling Systeme auf dem Markt eine zunehmend unbedeutendere Rolle.

RFID-Systeme mit Schreib- und Lesereichweiten bis zu etwa 1 m werden mit dem Überbegriff *Remote-coupling-Systeme* bezeichnet. Fast allen diesen Systemen ist eine *induktive* (magnetische) *Kopplung* gemeinsam, weshalb sie auch als *induktive Funkanlagen* bezeichnet werden. Daneben existieren noch einige wenige Systeme mit *kapazitiver* (elektrischer) *Kopplung* [bistatix]. Mindestens 90% aller verkauften RFID-Systeme gehören derzeit zu den induktiv gekoppelten Systemen. Aus diesem Grunde ist mittlerweile eine fast unüberschaubare Anzahl dieser Systeme auf dem Markt verfügbar. Für verschiedene Standardanwendungen wie kontaktlose Chipkarten, Tier-Identifikation oder Industrieautomation existiert darüber hinaus eine Reihe von Normen, welche die technischen Parameter der

Transponder und Lesegeräte spezifizieren. Hierunter fallen auch die *Proximity coupling* (ISO 14443, kontaktlose Chipkarten) und *Vicinity coupling Systeme* (ISO 15693, *Smart Label* und kontaktlose Chipkarten). Als Sendefrequenzen werden Frequenzen unter 135 kHz oder 13,56 MHz verwendet. Einige Sonderanwendungen (siehe Eurobalise) werden auch noch auf 27,125 MHz betrieben.

RFID-Systeme mit Reichweiten deutlich über 1 m werden als *Long-range-Systeme* bezeichnet. Alle Long-range-Systeme arbeiten mit elektromagnetischen Wellen im *UHF*- und *Mikrowellenbereich*. Die überwiegende Mehrheit dieser Systeme wird nach ihrem physikalischen Funktionsprinzip als *Backscatter-System* bezeichnet. Daneben gibt es im Mikrowellenbereich noch Long-range-Systeme mit *Oberflächenwellen-Transpondern*. Alle diese Systeme werden auf den UHF-Frequenzen 868 MHz (Europa) und 915 MHz (USA), sowie auf den Mikrowellenfrequenzen 2,5 GHz und 5,8 GHz betrieben. Mit passiven (batterielosen) Backscatter-Transpondern können heute Reichweiten von typischerweise 3 m, mit aktiven (batteriegestützten) Backscatter-Transpondern sogar Reichweiten von 15 m und mehr erzielt werden. Die Batterie aktiver Transponder stellt jedoch in keinem Falle die Energie zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät zur Verfügung, sondern dient ausschließlich der Versorgung des Mikrochips und dem Erhalt der gespeicherten Daten. Zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät wird ausschließlich die Energie des elektromagnetischen Feldes eingesetzt, welches vom Lesegerät empfangen wird.

Um den Bezug zu einer möglicherweise irreführenden Reichweitenangabe zu vermeiden, verwendet dieses Buch zur Klassifizierung der physikalischen Eigenschaften im Weiteren ausschließlich die Begriffe „induktiv bzw. kapazitiv gekoppelte Systeme“ und *Mikrowellen-System* oder *Backscatter-System*.

2.4 Aktive und passive Transponder

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal von RFID-Systemen ist die Art der Energieversorgung des Transponders. Wir unterscheiden dabei zwischen *passiven* und *aktiven Transpondern*.

Passive Transponder verfügen über keinerlei eigene Energieversorgung. Die gesamte zum Betrieb des Transponders benötigte Energie wird durch die Antenne des Transponders dem magnetischen oder elektromagnetischen Feld des Lesegerätes entnommen. Zur Datenübertragung vom Transponder an das Lesegerät kann das Feld des Lesegerätes beeinflusst werden (zum Beispiel durch Lastmodulation oder modulierte Rückstreuung, siehe hierzu Kapitel 3.2 „Voll- und Halbduplexverfahren“, S. 45) oder kurzzeitig Energie aus dem Feld des Lesegerätes im Transponder zwischengespeichert werden (siehe Kapitel 3.3 „Sequentielle Verfahren“, S. 67). Die vom Lesegerät abgestrahlte Energie dient also zur Datenübertragung sowohl vom Lesegerät zum Transponder als auch von diesem zurück an das Lesegerät. Befindet sich der Transponder außerhalb der *Reichweite* eines Lesegerätes, so ist dieser vollkommen ohne elektrische Energie, und daher auch niemals in der Lage, irgendein Signal auszusenden.

Aktive Transponder verfügen über eine eigene Energieversorgung, zum Beispiel in Form einer *Batterie* oder einer Solarzelle. Die Energieversorgung wird hierbei zur Spannungsversorgung des Chips eingesetzt. Das vom Lesegerät empfangene magnetische oder elektro-magnetische Feld wird also nicht mehr zur Energieversorgung des Chips benötigt, weshalb auch ein deutlich schwächeres Feld als zum Betrieb eines passiven Transponders benötigt wird. Dieser Umstand kann zu einer deutlichen Erhöhung der *Kommunikationsreichweite* beitragen, falls der Transponder in der Lage ist, die entsprechend schwächeren Signale des Lesegerätes zu detektieren. Auch ein aktiver RFID-Transponder ist jedoch nicht in der Lage, ein eigenes Hochfrequenzsignal zu erzeugen, sondern beeinflusst zur Datenübertragung vom Transponder an das Lesegerät das Feld des Lesegerätes, so wie dies bei den passiven Transpondern der Fall ist. Die Energie aus der eigenen Energieversorgung des Transponders leistet also keinen Beitrag zur Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät! In der Literatur wird dieser Typ des Transponders häufig auch als „*semi-passiver*“ *Transponder* bezeichnet [Kleist-2004], was andeuten soll, dass der Transponder kein eigenes Hochfrequenzsignal erzeugen kann.

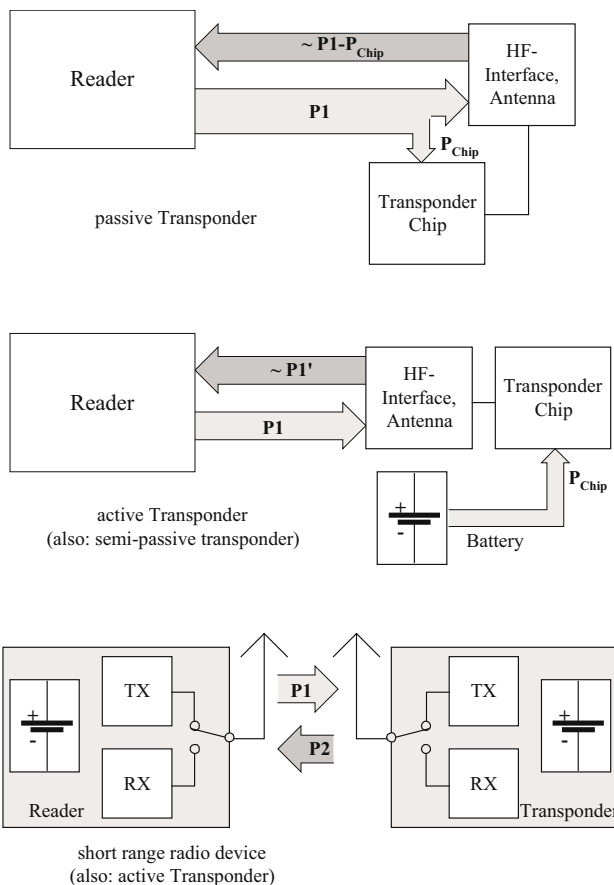


Abb. 2.17 Vergleich zwischen passiven und aktiven Transpondern.

Da sowohl passive als auch aktive (semi-passive) RFID-Transponder das magnetische oder elektromagnetische Feld eines Lesegerätes zur Datenübertragung benötigen, sind die damit erzielbaren Lesereichweiten durch physikalische Grenzen stark limitiert. Unter Berücksichtigung der zugelassenen Sendeleistungen für RFID-Lesegeräte lassen sich damit je nach Frequenzbereich Reichweiten von maximal etwa 15 m erreichen.

Eine weitere Klasse von aktiven Transpondern entspricht in der Schaltungstechnik eher einem klassischen Funkgerät. Diese Transponder verfügen über einen aktiven Sender (TX), sowie häufig auch über einen qualitativ hochwertigen Empfänger (RX). Um Daten an ein Lesegerät zu übertragen, wird der Sender eingeschaltet und von der Antenne ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld abgestrahlt. Die Energieversorgung des Transponders erfolgt dabei aus einer lokalen Energiequelle, z. B. einer Batterie.

Diese Transponder senden also selbst ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld aus, statt das Feld eines Lesegerätes zu beeinflussen. Aus rein technischer Sicht handelt es sich bei diesen Transpondern daher auch um keine echten „RFID“-Transponder, sondern um *Kurzstreckenfunkgeräte* (*Telemetriesender* oder *short range device*, *SRD*) wie sie zum Beispiel schon seit Jahrzehnten zur Messdatenübertragung von entfernten Punkten eingesetzt werden. Auf Grund der anderen physikalischen Mechanismen können unter Berücksichtigung der zugelassenen Sendeleistung für short range devices Reichweiten von bis zu einigen 100 m erzielt werden. Bei größeren Sendeleistungen sind auch entsprechend größere Reichweiten möglich, als dies mit herkömmlichen Funkanlagen möglich ist.

Um von dem anhaltenden RFID-Boom profitieren zu können, werden Telemetriesender seit einiger Zeit als RFID-Systeme verkauft. Aus Marketingsicht ist dagegen sicher nichts einzuwenden, der Techniker sollte sich jedoch immer im Klaren sein, worin die Unterschiede zwischen RFID-Systemen und Telemetriesendern bestehen, und wodurch die hohen Reichweiten der Letzteren begründet sind.

Telemetriesender werden im RFID-Handbuch nicht weiter behandelt, da hierzu bereits eine Menge an Literatur existiert. Als gute Einführung sei [bensky] empfohlen.

2.5 Informationsverarbeitung im Transponder

Ordnet man RFID-Systeme nach dem Funktionsumfang der Transponder hinsichtlich der Informations- und Datenverarbeitung sowie der Größe des im Transponder verfügbaren Datenspeichers, so erhält man ein breites Spektrum an Varianten, dessen Enden durch die Low-end- und High-end-Systeme gebildet wird.

- Das untere Ende der *Low-end-Systeme* wird durch die *EAS-Systeme* (elektronische Artikelsicherungssysteme, siehe Kap. 3.1 „1-bit-Transponder“, S. 34) abgedeckt. Diese Systeme überprüfen und überwachen unter Verwendung einfacher physikalischer Effekte die mögliche Anwesenheit eines Transponders im Ansprechbereich eines Detektionsgerätes. Auch *Read-only-Transponder*, die bereits mit einem Mikrochip ausgestattet sind, gehören noch zu den Low-end-Systemen. Diese Transponder verfügen über einen fest kodierten Datensatz, der in der Regel nur aus einer eindeutigen, mehrere Bytes langen *Seriennum-*

mer („unique number“) besteht. Wird ein Read-only-Transponder in das HF-Feld eines Lesegerätes gebracht, so beginnt er damit, fortlaufend seine ihm eigene Seriennummer auszusenden. Eine Möglichkeit, einen Read-only-Transponder durch das Lesegerät anzusprechen, besteht nicht, es findet also nur ein unidirektionaler Datenfluss vom Transponder zum Lesegerät statt. Im praktischen Betrieb solcher Systeme muss daher darauf geachtet werden, dass sich immer nur ein Transponder im Ansprechbereich des Lesegerätes befindet, da es sonst durch zwei oder mehrere gleichzeitig sendende Transponder unweigerlich zu Datenkollisionen käme, die eine Detektion der Transponder durch ein Lesegerät unmöglich machen. Trotz dieser Einschränkungen sind Read-only-Transponder für viele Anwendungen, in denen das Auslesen einer eindeutigen Nummer genügt, hervorragend geeignet. Aufgrund der einfachen Funktionen eines Read-only-Transponders kann die Fläche der Chips sehr klein gehalten werden, was einerseits zu einer geringen Leistungsaufnahme der Chips, aber andererseits auch zu niedrigen Preisen in der Herstellung führt.

Read-only-Systeme werden auf allen Frequenzen betrieben, die für RFID-Systeme zur Verfügung stehen. Die erzielbaren Reichweiten sind dank der geringen Leistungsaufnahme des Mikrochips in der Regel sehr hoch.

Read-only-Systeme werden dort eingesetzt, wo nur wenig Daten benötigt werden oder Strichcodesysteme in der Funktionalität ersetzt werden können, also zum Beispiel in der Steuerung von Warenflüssen, bei der Identifikation von Paletten, Containern, Gasflaschen (ISO 18000), aber auch bei der Identifikation von Tieren (ISO 11785).

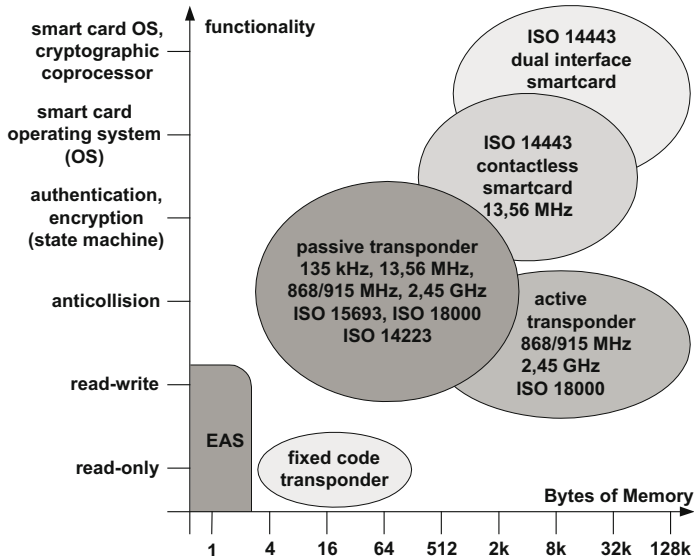


Abb. 2.18 RFID-Systeme können nach ihrer Funktionalität auch in Low-end- und High-end-Systeme eingeteilt werden.

- Das Mittelfeld wird durch eine Vielzahl von Systemen mit beschreibbarem Datenspeicher gebildet, sodass in diesem Bereich die Typenvielfalt mit Abstand am größten ist. Die Speichergrößen variieren von wenigen Bytes bis über 100 kByte EEPROM (passive

Transponder) oder auch SRAM (aktive, d.h. batteriegestützte Transponder). Diese Transponder sind in der Lage, in einer fest codierten *State-Machine* einfache Kommandos des Lesegerätes zum selektiven Lesen und Schreiben des Datenspeichers abzuarbeiten. In der Regel unterstützen die Transponder auch *Antikollisionsverfahren*, wodurch sich mehrere Transponder, die sich zur selben Zeit im Ansprechbereich des Lesegerätes befinden, gegenseitig nicht mehr beeinflussen und durch das Lesegerät selektiv angesprochen werden können (siehe Kap. 7.2 „Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision“, S. 250).

Auch kryptologische Verfahren, also eine *Authentifizierung* zwischen Transponder und Lesegerät, sowie eine Datenstromverschlüsselung (siehe Kap. 8 „Sicherheit von RFID-Systemen“, S. 273) sind bei diesen Systemen bereits häufig anzutreffen. Diese Systeme werden auf allen Frequenzen betrieben, die für RFID-Systeme zur Verfügung stehen.

- Kontaktlose Chipkarten mit einem Mikroprozessor und einem Chipkarten Betriebssystem (smart-card OS) stellen den unteren Bereich der *High-end-Systeme* dar. Durch den Einsatz von Mikroprozessoren lassen sich wesentlich komplexere Algorithmen zur Verschlüsselung und Authentifizierung verwirklichen, als dies mit einer „festverdrahteten“ State-Machine möglich wäre. Am oberen Ende der High-end-Systeme schließlich befinden sich moderne *Dual-Interface-Chipkarten* (siehe Kap. 10.2.1 „Dual Interface Karte“, S. 472), welche mit einem kryptografischen *Coprozessor* ausgestattet sind. Der Einsatz eines Coprozessors ermöglicht durch die damit verbundene enorme Verkürzung von Rechenzeiten den Einsatz kontaktloser Chipkarten auch in Anwendungen, die hohe Anforderungen an die sichere Verschlüsselung der Datenübertragung stellen, wie etwa elektronische Börsensysteme oder Ticketingsysteme für den Nahverkehr.

High-end-Systeme werden fast ausschließlich auf der Frequenz 13,56 MHz betrieben. Die Datenübertragung zwischen Transponder und entsprechendem Lesegerät wird in der Norm ISO 14443 beschrieben.

2.6 Auswahlkriterien für RFID-Systeme

RFID-Systeme haben in den letzten Jahren einen enormen Aufschwung erlebt. Bestes Beispiel hierfür sind kontaktlose Chipkarten als elektronische Tickets im ÖPNV. Noch vor 5 Jahren völlig undenkbar, sind heute weltweit bereits zig Millionen von kontaktlosen Tickets im Einsatz. Auch die möglichen Einsatzgebiete für kontaktlose Identifikationssysteme haben sich in den letzten Jahren vervielfacht.

Die Entwickler von RFID-Systemen haben dieser Entwicklung Rechnung getragen, sodass heute unzählige Systeme auf dem Markt erhältlich sind, deren technische Parameter für unterschiedlichste Anwendungsgebiete – *Ticketing*, *Tieridentifikation*, *Industriautomation* oder *Zutrittskontrolle* – optimiert sind. Häufig überschneiden sich diese Anwendungsgebiete in ihren technischen Anforderungen, sodass eine klare Zuordnung geeigneter Systeme nicht einfach ist. Erschwerend kommt hinzu, dass – abgesehen von wenigen Ausnahmen (Tieridentifikation, „Close coupling Chipkarte“) – noch keine verbindlichen Normen für RFID-Systeme geschaffen wurden.

Die Produktpalette der heute angebotenen RFID-Systeme kann selbst vom Fachmann kaum noch überblickt werden. Für den Anwender ist es deshalb nicht immer einfach, das für ihn am besten geeignete System auszuwählen.

Im Folgenden einige Anregungen, unter welchen Gesichtspunkten RFID-Systeme bei der Auswahl betrachtet werden können.

2.6.1 Arbeitsfrequenz

RFID-Systeme von ca. 100 kHz bis etwa 30 MHz arbeiten mit induktiver Kopplung. Im Gegensatz dazu verwenden Mikrowellen-Systeme im Frequenzbereich 2,45 oder 5,8 GHz elektromagnetische Felder zur Kopplung.

Die spezifische *Absorptionsrate* (Dämpfung) bei 100 kHz ist für Wasser oder nichtleitende Stoffe etwa um den Faktor 100 000 niedriger als bei 1 GHz. Damit findet praktisch keine Absorption oder Dämpfung statt. Niederfrequenter HF-Systeme werden hauptsächlich wegen der besseren Durchdringung von Objekten benutzt [schürmann-94]. Ein Beispiel hierfür ist der Bolus, ein Transponder, der im Vormagen (Pansen) von Rindern platziert wird und von außen mit einer Ansprechfrequenz von < 135 kHz ausgelesen werden kann.

Mikrowellen-Systeme weisen gegenüber induktiven Systemen eine deutlich höhere *Reichweite* von typischerweise 2 ... 15 Metern auf. Im Gegensatz zu den induktiven Systemen benötigen Mikrowellen-Systeme jedoch eine zusätzliche Stützbatterie. Die Sendeleistung des Lesegerätes reicht in der Regel nicht aus, ausreichend Energie zum Betrieb des Transponders bereitzustellen.

Ein wichtiger Faktor ist auch die Empfindlichkeit gegenüber *elektromagnetischen Störfeldern*, wie sie etwa von Schweißrobotern oder starken Elektromotoren erzeugt werden. Induktive Transponder sind hier eindeutig im Nachteil. Insbesondere in Fertigungslinien und Lackieranlagen der Automobilindustrie haben sich deshalb Mikrowellen-Systeme etabliert. Hinzu kommt die hohe Speicherkapazität (bis 32 kByte) und die hohe Temperaturfestigkeit (bis 250 °C) der Mikrowellen-Systeme [bachthaler].

2.6.2 Reichweite

Die benötigte Reichweite einer Anwendung hängt von mehreren Faktoren ab:

- Positioniergenauigkeit des Transponders;
- Minimaler Abstand mehrerer Transponder im praktischen Einsatz;
- Geschwindigkeit des Transponders im Ansprechbereich des Lesegerätes.

So ist beispielsweise bei kontaktlosen Zahlungsanwendungen – etwa Tickets für ÖPNV – die Positioniergeschwindigkeit sehr klein, da die Transponder von Hand an das Lesegerät geführt werden. Der minimale Abstand mehrerer Transponder entspricht hier dem Abstand zweier Fahrgäste beim Betreten eines Fahrzeuges. Für diese Systeme ergibt sich eine optimale Reichweite von 5 ... 10 cm. Eine größere Reichweite könnte hier nur zu Problemen führen, da womöglich die Tickets mehrerer Fahrgäste gleichzeitig vom Lesegerät erfasst

würden. Eine sichere Zuordnung zwischen Ticket und Fahrgast wäre damit nicht mehr möglich.

Auf einer Montagelinie in der Automobilindustrie werden oft gleichzeitig verschiedene Fahrzeugmodelle mit unterschiedlichen Abmessungen gebaut. Damit sind starke Schwankungen des Abstands zwischen dem Transponder am Fahrzeug und dem Lesegerät vorprogrammiert [Bachthaler]. Der Schreib-/Leseabstand des eingesetzten RFID-Systems muss deshalb für die maximal benötigte Reichweite ausgelegt sein. Der Abstand zwischen den Transpondern muss so eingerichtet sein, dass sich immer nur ein einziger Transponder im Ansprechbereich des Lesegerätes befindet. Hier bieten Mikrowellen-Systeme mit einer „gerichteten Keule“ des Feldes deutliche Vorteile gegenüber den breiten, ungerichteten Feldern induktiv gekoppelter Systeme.

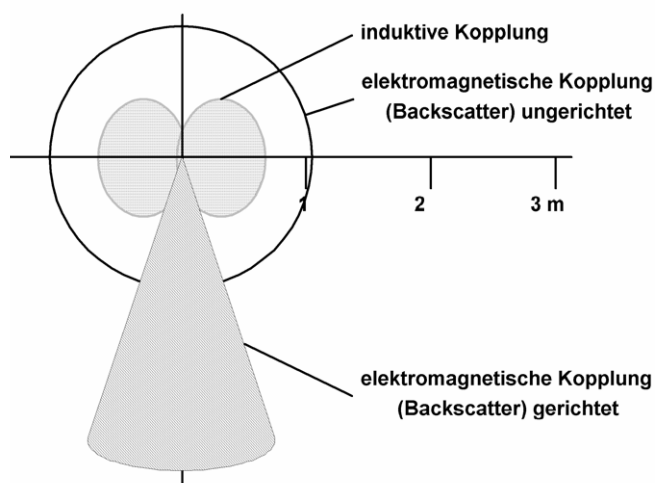


Abb. 2.19 Vergleich der relativen Ansprechbereiche verschiedener Systeme.

Die Geschwindigkeit des Transponders, relativ zum Lesegerät, bestimmt zusammen mit dem maximalen Schreib-/Leseabstand die Aufenthaltsdauer im Ansprechbereich des Lesegerätes. Bei der Identifikation von Fahrzeugen wird die benötigte Reichweite des RFID-Systems so ausgelegt, dass bei maximaler Fahrzeuggeschwindigkeit die Aufenthaltsdauer im Ansprechbereich zur Übertragung der vorgesehenen Daten ausreichend ist.

2.6.3 Sicherheitsanforderungen

Sicherheitsanforderungen, welche an eine geplante RFID-Anwendung zu stellen sind, also *Verschlüsselung* und *Authentifizierung*, sollten sehr genau abgeschätzt werden, um böse Überraschungen in der Einsatzphase von vornherein auszuschließen. Zu diesem Zweck ist zu beurteilen, welchen Anreiz das System einem potenziellen Eindringling bietet, sich durch eine Manipulation Vorteile hinsichtlich Geld- oder Sachwerten zu verschaffen. Um diese Anreize abschätzen zu können, teilen wir die Anwendungen in zwei Gruppen:

- industrielle oder geschlossene Anwendungen;
- öffentliche Anwendungen in Verbindung mit Geld- und Sachwerten.

Hierzu zwei gegensätzliche Anwendungsbeispiele:

Ein typisches Beispiel für eine industrielle oder geschlossene Anwendung wäre auch hier wieder eine Montagelinie in der Automobilindustrie. Zunächst einmal ist dieses RFID-System nur zutrittsberechtigten Personen zugänglich, sodass der Kreis potenzieller Angreifer überschaubar bleibt. Ein mutwilliger *Angriff* auf dieses System durch Verändern oder Verfälschen der Daten auf einem Transponder könnte zwar eine empfindliche Störung des Betriebsablaufes bewirken, doch würde dem Angreifer keinerlei persönlicher Nutzen entstehen. Die Wahrscheinlichkeit eines Angriffs kann also gleich null gesetzt werden, womit auch ein preisgünstiges Low-end-System ohne Sicherheitslogik eingesetzt werden kann.

Als zweites Beispiel dient uns ein Ticketing-System für den Einsatz im ÖPNV. Ein solches System, vor allem die Datenträger in Form kontaktloser Chipkarten, ist für jedermann zugänglich. Der Kreis potenzieller Angreifer ist somit unüberschaubar. Ein erfolgreicher Angriff auf ein derartiges System könnte für das angegriffene ÖPNV-Unternehmen einen großen finanziellen Schaden bedeuten, etwa bei organisiertem Vertrieb gefälschter Fahrausweise, vom Imageverlust für das Unternehmen einmal ganz abgesehen. Für solche Anwendungen ist ein High-end-Transponder mit Authentifizierungs- und Verschlüsselungsverfahren unverzichtbar. Für Anwendungen mit höchsten Sicherheitsanforderungen, beispielsweise Banken-anwendungen mit Klingelgeldbörse, sollten ausschließlich Transponder mit Mikroprozessor eingesetzt werden.

2.6.4 Speicherkapazität

Die Chipgröße des Datenträgers – und damit die Preisklasse – wird hauptsächlich durch dessen *Speicherkapazität* bestimmt. Für preissensitive Massenanwendungen mit geringem Informationsbedarf vor Ort werden deshalb festcodierte Read-only-Datenträger eingesetzt. Damit kann jedoch nur die Identität eines Objekts definiert werden. Weitere Daten werden auf der zentralen Datenbank eines Leitrechners gespeichert. Sollen anfallende Daten auf den Transponder zurückgeschrieben werden, benötigt man Transponder mit EEPROM- oder RAM-Speichertechnologie.

EEPROM-Speicher sind vor allem bei induktiv gekoppelten Systemen zu finden. Es werden Speicherkapazitäten von 16 Byte bis 8 kByte angeboten.

Batteriegepufferte SRAM-Speicher sind dagegen überwiegend bei Mikrowellen-Systemen anzutreffen. Die angebotenen Speicherkapazitäten reichen von 256 Byte bis zu 64 kByte.

3 Grundlegende Funktionsweise

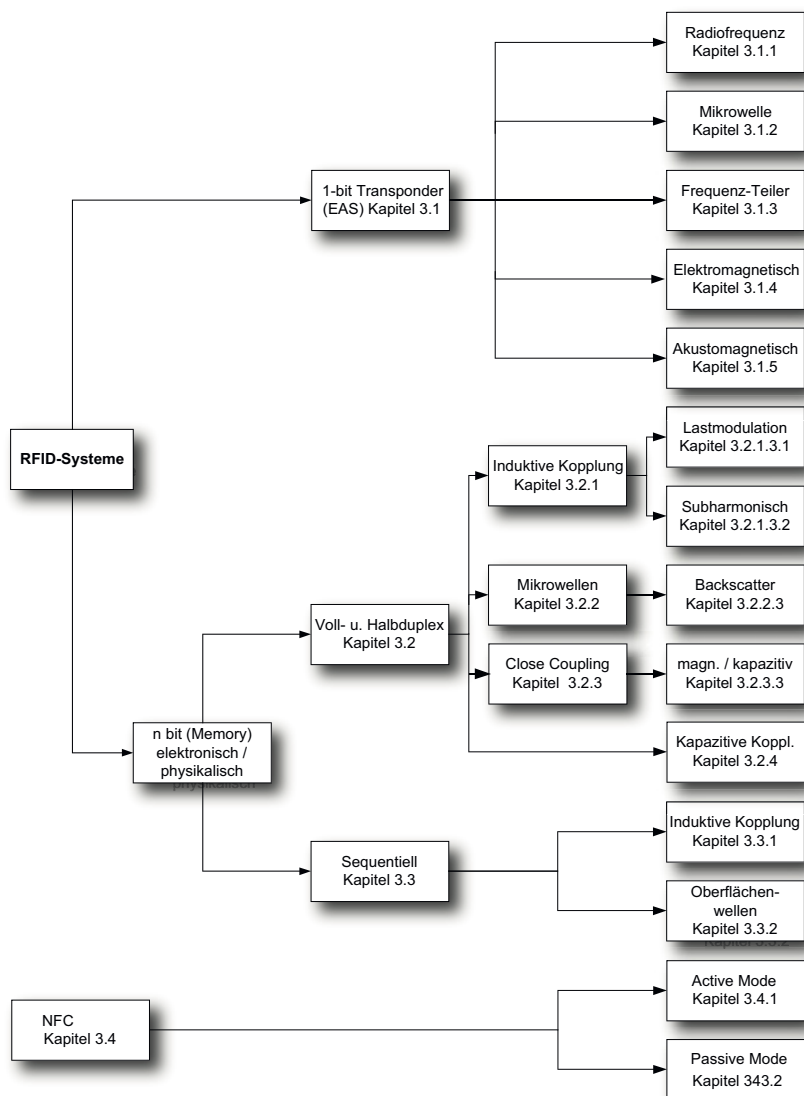


Abb. 3.1 Die Aufteilung der verschiedenen Funktionsweisen von RFID-Systemen in den Kapiteln.

Dieses Kapitel beschreibt das grundsätzliche Zusammenwirken zwischen dem Transponder und einem Lesegerät, insbesondere die Spannungsversorgung des Transponders und die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät. Eine tiefergehende Beschreibung der physikalischen Zusammenhänge sowie mathematische Modelle für induktive Kopplung oder Backscatter-Systeme sind dem Kap. 4 „Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme“, S. 77 zu entnehmen.

3.1 1-bit-Transponder

Ein Bit stellt die kleinste darstellbare Informationseinheit dar und kennt nur zwei Zustände: „1“ oder „0“. Für Systeme mit *1-bit-Transponder* bedeutet dies, dass nur zwei Systemzustände darstellbar sind: „Transponder im Ansprechbereich“ oder „**kein** Transponder im Ansprechbereich“. Trotz dieser Einschränkung sind 1-bit-Transponder sehr weit verbreitet – ihr Haupteinsatzgebiet sind elektronische *Diebstahlsicherungen* im Warenhaus (EAS – electronic article surveillance; elektronische Artikelsicherung).

Eine elektronische Artikelsicherung besteht aus folgenden Komponenten: den Antennen eines „Lesegerätes“ bzw. Detektors, dem *Sicherungsmittel* oder *Etikett*, sowie optional einem *Deaktivator* zur Entschärfung nach dem Bezahlen. Bei modernen Systemen erfolgt die Entwertung gleichzeitig mit der Registrierung des Preiscodes an der Kasse. Manche Systeme verfügen auch noch über einen *Aktivator*, mit dem ein Sicherungsmittel nach Entschärfung wieder reaktiviert werden kann [gillert]. Wesentliches Leistungsmerkmal aller Systeme ist die Erkennungs- oder *Detektionsrate* in Abhängigkeit von der Durchgangsbreite (maximaler Abstand zwischen Transponder und Detektorantenne).

Die Vorgehensweise bei der Abnahme und Überprüfung installierter Artikelsicherungssysteme ist in der Richtlinie VDI 4470 mit dem Titel „Warensicherungssysteme – Kundenabnahmerichtlinie für Schleusensysteme“ festgelegt. Diese Richtlinie enthält Definitionen und Testverfahren zur Ermittlung von Detektionsrate und Fehlalarmquote. Sie kann dem Einzelhandel als Grundlage für Kaufverträge oder zur laufenden Leistungskontrolle installierter Systeme dienen. Für den Produkthersteller stellt die Kundenabnahmerichtlinie ein wirkungsvolles Kontrollinstrument bei der Entwicklung und Optimierung von Integrationslösungen für Sicherungsprojekte dar [nach VDI 4470].

3.1.1 Radiofrequenz

Das *Radiofrequenz (RF)-Verfahren* arbeitet mit L-C-Schwingkreisen als Sicherungsmittel, welche auf eine definierte Resonanzfrequenz f_R abgeglichen sind. Ursprünglich wurden dazu Induktivitäten aus gewickeltem Kupferlackdraht mit angelötetem Kondensator im Kunststoffgehäuse (*Hartetikette*) verwendet. Heute benutzt man dazu zwischen Folie geätzte Spulen als Aufklebeschildchen. Damit der Dämpfungswiderstand nicht zu groß, und damit die Güte der Schwingkreise nicht zu klein wird, muss die Dicke der Aluminium-Leiterbahnen auf den 25µm starken *Polyethylen-Folie* wenigstens 50µm betragen [jörn]. Zur Herstellung der Kondensatorplatten werden 10µm dicke Zwischenfolien verwendet.

Durch das Lesegerät (Detektionsgerät) wird ein magnetisches Wechselfeld im Radiofrequenzbereich erzeugt (siehe Abbildung 3.2). Nähert man den L-C-Schwingkreis dem magnetischen Wechselfeld, so wird über die Spule des Schwingkreises Energie aus dem Wechselfeld in den Schwingkreis eingekoppelt (Induktionsgesetz). Entspricht nun die Frequenz f_G des Wechselfeldes der Resonanzfrequenz f_R des L-C-Schwingkreises, so wird der Schwingkreis zu einer *Resonanzschwingung* angeregt. Der dadurch im Schwingkreis fließende Strom wirkt seiner Ursache, also dem von außen einwirkenden magnetischen Wech-

selfeld entgegen. (siehe Kap. 4.1.10.1 „Transformierte Transponderimpedanz Z_T “, S. 105). Dieser Effekt macht sich in einer kleinen Änderung des Spannungsabfalles über der Generatorspule des Transmitters bemerkbar und führt letztendlich zu einer Abschwächung der messbaren magnetischen Feldstärke. Auch in einer optionalen Sensorspule ist eine Änderung der induzierten Spannung messbar, sobald ein resonanter Schwingkreis in das magnetische Feld der Generatorspule eingebracht wird.

Die relative Stärke dieser Änderung ist abhängig vom Abstand der beiden Spulen zueinander (*Generatorspule* – Sicherungsmittel, Sicherungsmittel – *Sensorspule*) sowie der Güte Q des angeregten Schwingkreises (im Sicherungsmittel).

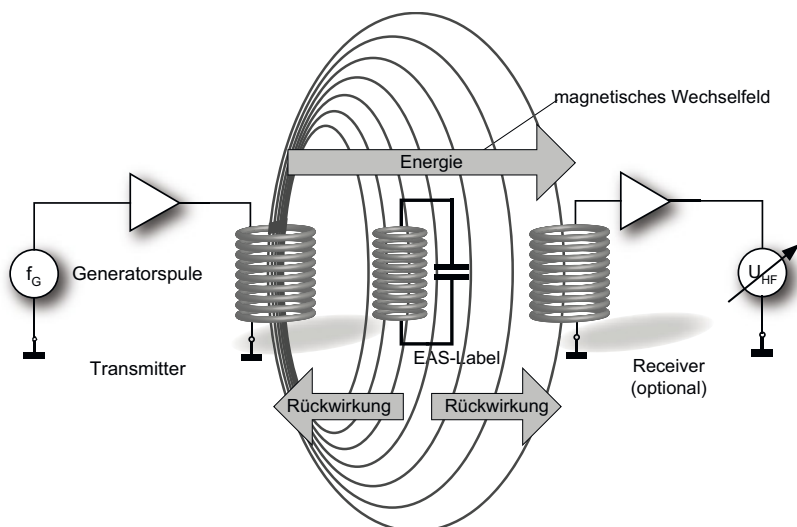


Abb. 3.2 Funktionsprinzip des EAS-Radiofrequenzverfahrens.

Die relative Stärke der Spannungsänderungen an Generator- und Sensorspule ist in der Regel sehr gering und damit schwierig zu erkennen. Um eine sichere Erkennung der Sicherungsmittel zu erreichen, ist es aber notwendig, ein möglichst ausgeprägtes Signal zu erhalten. Dies wird durch einen kleinen Trick erreicht: Die Frequenz des erzeugten Magnetfeldes ist nicht konstant, sondern wird „gewobbelt“. Dabei überstreicht die Generatorfrequenz fortlaufend den Bereich zwischen zwei Eckfrequenzen. Als Frequenzbereich steht den gewobbelten Systemen dazu der Bereich $8,2 \text{ MHz} \pm 10\%$ zur Verfügung [jörn].

Immer dann, wenn die gewobbelte Generatorfrequenz genau die Resonanzfrequenz des Schwingkreises (im Transponder) trifft, beginnt dieser einzuschwingen und erzeugt dadurch einen ausgeprägten Dip der Spannungen an der Generator- sowie der Sensorspule. Auch Frequenztoleranzen der Sicherungsmittel, bedingt durch Fertigungstoleranzen oder metallische Umgebung, spielen durch das „Abtasten“ eines ganzen Frequenzbereiches keine Rolle mehr.

Da die Etiketten an der Kasse nicht abgelöst werden, müssen sie so verändert werden, dass ein Ansprechen der Diebstahlsicherung ausgeschlossen ist. Hierzu werden die gesicherten Produkte von der Kassiererin auf ein Gerät gelegt – den *Deaktivator* –, das ein ausreichend

starkes Magnetfeld erzeugt, um mit der induzierten Spannung den Folienkondensator des Transponders zu zerstören. Die Kondensatoren besitzen dazu eigens eingebaute Sollkurzschlussstellen, so genannte *Dimples*. Das Durchschlagen der Kondensatoren ist irreversibel und verstimmt den Schwingkreis so stark, dass dieser durch das *Wobbelsignal* nicht mehr angeregt werden kann.

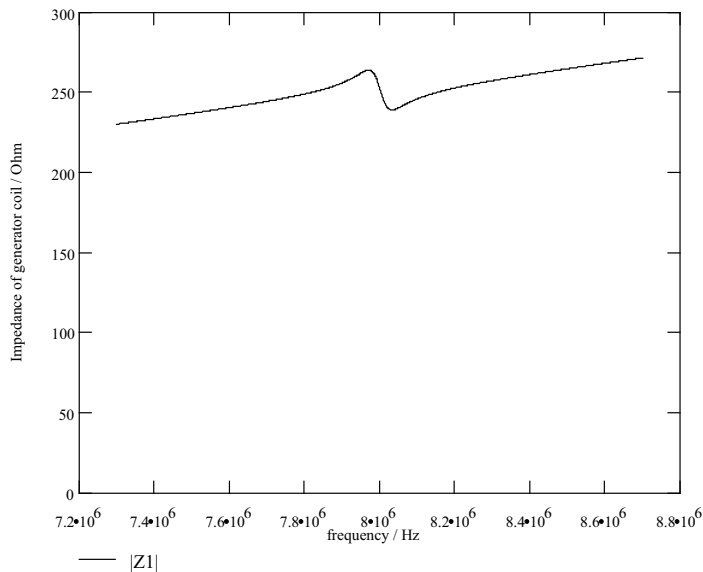


Abb. 3.3 Auftreten eines Impedanz-„Dip“ an der Generatorspule an der Resonanzfrequenz des Sicherungsmittels ($Q = 90$, $k = 1\%$). Die Frequenz f_G des Generators wird kontinuierlich zwischen zwei Eckfrequenzen gewobbelt. Ein RF-Etikett im Feld des Generators erzeugt auf seiner Resonanzfrequenz f_R einen ausgeprägten Dip.

Zur Erzeugung des benötigten magnetischen Wechselfeldes im Detektionsbereich der Sicherungsanlage werden großflächige *Rahmenantennen* eingesetzt. Die in Säulen integrierten Rahmenantennen werden zu Durchgangsschleusen kombiniert. Die klassische Bauform, bekannt aus jedem größeren Kaufhaus, ist in Abbildung 3.4 dargestellt. Mit dem RF-Verfahren werden Schleusenbreiten von bis zu 2 m erreicht. Bei der relativ niedrigen Detektionsrate von ca. 70% [gillert] zeigt sich ein relativ starker Einfluss von bestimmten Produktmaterialien. Vor allem Metalle (z. B. Konservendosen) beeinflussen die Resonanzfrequenz der Etiketten sowie die Kopplung zur Detektorspule und beeinflussen damit die Detektionsrate negativ. Um die genannte Schleusenbreite und Detektionsrate zu erreichen, müssen Etiketten von 50 x 50 mm zum Einsatz kommen.

Tabelle 3.1: Typische Systemparameter für RF-Systeme [VDI 4471].

Gütefaktor Q der Sicherungsmittel	> 60 .. 80
Minimale Deaktivierungsfeldstärke H_D	1,5 A/m
Maximale Feldstärke im Detektionsbereich	0,9 A/m

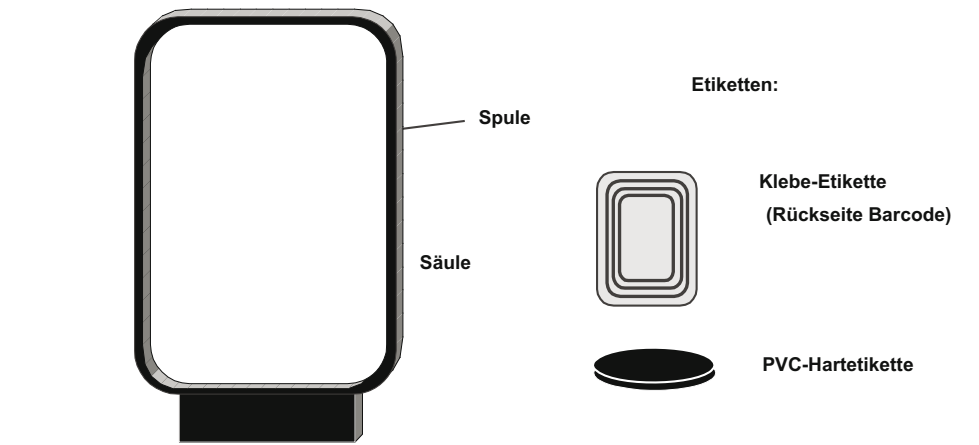


Abb. 3.4 links: Typische Rahmenantenne eines RF-Systems (Höhe 1,20 .. 1,60 m);
rechts: Bauformen von Etiketten.

Eine große Herausforderung für die Systemhersteller besteht in der Eigenschaft verschiedener Produkte, ebenfalls Resonanzfrequenzen aufzuweisen (z. B. Kabeltrommeln). Liegen diese Resonanzfrequenzen innerhalb des Wobbelbereiches $8,2\text{ MHz} \pm 10\%$, werden unweigerlich Fehlalarme ausgelöst.

Tabelle 3.2: Frequenzbereiche unterschiedlicher RF-Sicherungsanalgen [plotzke].

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4
Frequenz/MHz:	1,86 – 2,18	7,44 – 8,73	7,30 – 8,70	7,40 – 8,60
Wobbelfrequenz/Hz:	141	141	85	85

3.1.2 Mikrowelle

EAS-Systeme im *Mikrowellenbereich* nutzen die Entstehung von Harmonischen, an Bauteilen mit nichtlinearer Kennlinie (z. B. Dioden). Unter der *Harmonischen* einer sinusförmigen Spannung A mit definierter Frequenz f_A versteht man eine sinusförmige Spannung B, deren Frequenz f_B ein ganzzahliges Vielfaches der Frequenz f_A darstellt. Die Subharmonischen der Frequenz f_A sind also die Frequenzen $2f_A$, $3f_A$, $4f_A$ usw. Die N-fache der Ausgangsfrequenz wird in der Funktechnik als Nte Harmonische (Nte Oberwelle) bezeichnet, die Ausgangsfrequenz selbst wird als Grundwelle oder erste Harmonische bezeichnet.

Prinzipiell erzeugt jeder Zweipol mit nichtlinearer Charakteristik Harmonische zur Grundschwingung. Bei *nichtlinearen Widerständen* wird aber Energie verbraucht, sodass nur ein geringer Teil der Grundwellenleistung in die Oberschwingung umgesetzt wird. Unter günstigsten Bedingungen ist bei der Vervielfachung von f auf $n \cdot f$ der Wirkungsgrad $\eta = 1/n^2$. Benutzt man zur Vervielfachung hingegen nichtlineare Energiespeicher, hat man im Idealfall keine Verluste [fleckner].

Zur Frequenzvervielfachung eignen sich *Kapazitätsdioden* als nichtlineare Energiespeicher besonders gut. Anzahl und Stärke der entstehenden Harmonischen wird durch das *Dotierungsprofil* bzw. die Steilheit der Kennlinie der Kapazitätsdiode bestimmt. Ein Maß für die Steilheit (= Kapazitäts-Spannungs-Kennlinie) ist der Exponent n (auch γ). Dieser beträgt für einfach diffundierte Dioden 0,33 (z. B. BA110), für legierte Dioden 0,5 und für Tuner Dioden mit hyperabruptem PN-Übergang etwa 0,75 (z. B. BB 141) [itt75].

Legierte Kapazitätsdioden weisen einen quadratischen Verlauf der Kapazitäts-Spannungs-Kennlinie auf und eignen sich deshalb vor allem zum Verdoppeln von Frequenzen. Mit einfach diffundierten Kapazitätsdioden lassen sich sehr gut höhere Harmonische erzeugen [fleckner].

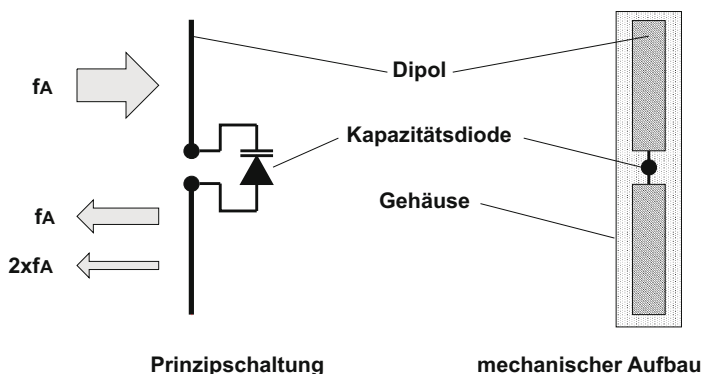


Abb. 3.5 Prinzipschaltbild und typische Bauform eines Mikrowellen-Etiketts.

Der Aufbau eines 1-bit-Transponders zur Erzeugung von Harmonischen ist ausgesprochen einfach: An den Fußpunkt eines auf die Grundwelle abgeglichenen *Dipols* wird eine Kapazitätsdiode geschaltet. Bei einer Grundwellenfrequenz von 2,45 GHz ergibt sich für den Dipol eine Gesamtlänge von 6 cm. Als Grundwellenfrequenz werden 915 MHz (außerhalb Europa), 2,45 GHz oder 5,6 GHz verwendet. Befindet sich der Transponder in der Strahlungskeule des Senders, so werden durch den Stromfluss in der Diode Harmonische der Grundwelle erzeugt und wieder abgestrahlt. Besonders ausgeprägte Signale erhält man je nach verwendetem Diodentyp auf der 2-fachen oder 3-fachen der Grundwelle.

In Kunststoff vergossene Transponder dieser Bauart (Hartetiketten) werden vor allem zur Sicherung von Textilien eingesetzt. An der Kasse werden die Etiketten beim Bezahlen abgenommen und wiederverwendet.

In Abbildung 3.6 wird ein Transponder in die Strahlungskeule eines Mikrowellensenders mit 2,45 GHz gebracht. Die an der Diodenkennlinie des Transponders erzeugte zweite Harmonische von 4,90 GHz wird wieder abgestrahlt und von einem Empfänger detektiert, der auf genau diese Frequenz abgeglichen wurde. Das Eintreffen eines Signals auf Frequenz der 2. Harmonischen kann dann zum Beispiel das Auslösen einer Alarmanlage bewirken.

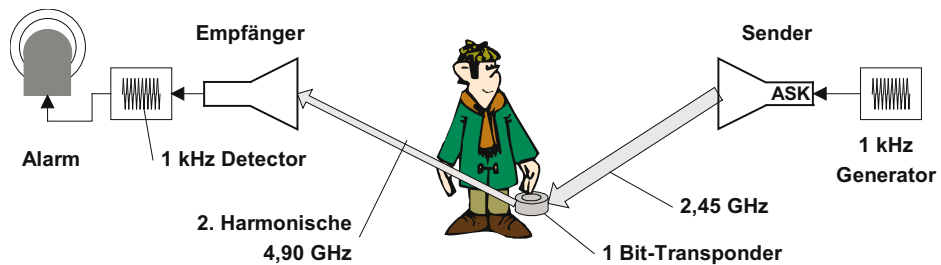


Abb. 3.6 Mikrowellen-Etikett im Ansprechbereich eines Detektors.

Wird die Grundwelle in ihrer Amplitude oder Frequenz moduliert (ASK, FSK), so ist dieselbe Modulation auch in allen Harmonischen enthalten. Dies kann zur Unterscheidung von „Stör“- und „Nutz“-Signalen eingesetzt werden, womit sich Fehlalarme durch Fremdsignale weitestgehend ausschließen lassen. In obigem Beispiel modulieren wir die Amplitude der Grundwelle mit einem Signal von 1 kHz (100% ASK). Auch die am Transponder entstandene 2. Oberwelle ist mit 1 kHz ASK moduliert. Im Empfänger wird das Empfangssignal demoduliert und einem 1-kHz-Detektor zugeführt. Zufällig auftretende Störsignale auf der Empfangsfrequenz 4,90 GHz können dann keinen Fehlalarm auslösen, da diese in der Regel nicht oder anders moduliert sind.

3.1.3 Frequenzteiler

Dieses Verfahren arbeitet im Langwellenbereich bei 100 ... 135,5 kHz. Die Sicherungsetiketten enthalten eine *Halbleiterschaltung (Mikrochip)* sowie eine *Schwingkreisspule* aus gewickeltem Kupferlack. Mit einer angelöteten Kapazität wird der Schwingkreis auf der Arbeitsfrequenz des EAS-Systems in Resonanz gebracht. Diese Transponder sind als *Hart-etiketten* (Kunststoff) erhältlich und werden beim Kauf von der Ware entfernt.

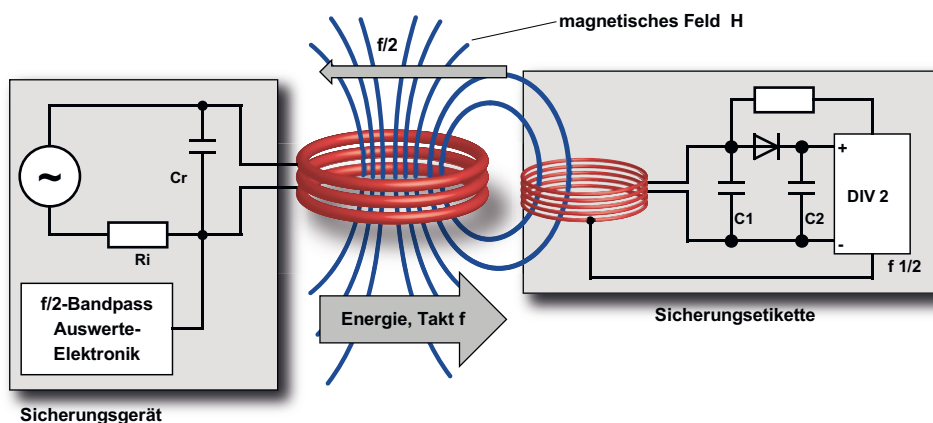


Abb. 3.7 Prinzipschaltbild des EAS-Frequenzteiler-Verfahrens: Sicherungsetikette (Transponder) und Detektor (Auswertegerät).

Der Mikrochip des Transponders wird durch die aus dem magnetischen Feld des Sicherungsgerätes ausgekoppelte Energie mit Betriebsspannung versorgt (siehe Kap. 3.2.1.1 „Energieversorgung passiver Transponder“, S. 47). Die an der Schwingkreisspule anliegende Frequenz wird vom Mikrochip durch 2 geteilt und zum Sicherungsgerät zurückgesendet. Die Einspeisung des frequenzhalbierten Signals erfolgt an einer Anzapfung der Schwingkreisspule.

Um die Auswertequote zu verbessern, wird das magnetische Feld des Sicherungsgerätes mit niedriger Frequenz gepulst (ASK-moduliert). Wie bei der Erzeugung von Harmonischen, so bleibt auch bei der halbierten Frequenz (*Subharmonische*) die Modulation der Grundwelle (ASK oder FSK) erhalten. Dies wird zur Unterscheidung von „Stör“- und „Nutz“-Signalen eingesetzt. Fehlalarme treten bei diesen Systemen daher kaum auf.

Als Sensor-Antennen werden Rahmenantennen eingesetzt, wie sie von den RF-Systemen her bereits bekannt sind.

Tabelle 3.3: Typische Systemparameter [plotzke].

Frequenz:	130 kHz
Modulationsart:	100% ASK
Modulationsfrequenz/-signal:	12,5 Hz oder 25 Hz, Rechteck 50%

3.1.4 Elektro-Magnetisch

Elektro-magnetische Verfahren arbeiten mit starken magnetischen Feldern im *NF-Bereich* von 10 Hz bis etwa 20 kHz. In den Sicherungsmitteln befindet sich ein weichmagnetischer *amorpher Metallstreifen* mit einer steilflankigen *Hysteresekurve* (siehe hierzu 4.1.2). In einem starken magnetischen Wechselfeld wird dieser Streifen periodisch ummagnetisiert und bis in die magnetische Sättigung geführt. Das stark unlineare Verhältnis zwischen angelegter Feldstärke H und magnetischer Flussdichte B nahe der Sättigung (siehe hierzu Abbildung 4.56 auf Seite 132), sowie der sprunghafte Wechsel der Flussdichte B nahe dem Nulldurchgang der angelegten Feldstärke H erzeugen Harmonische der Grundfrequenz des Sicherungsgerätes, die von diesem empfangen und ausgewertet werden können.

Eine Optimierung des elektro-magnetischen Verfahrens besteht darin, dem Hauptsignal zusätzlich Signalanteile mit höherer Frequenz zu überlagern. Durch die starke Unlinearität der Hysteresekurve im Streifen entstehen dadurch, zusätzlich zu den Harmonischen, Signalanteile mit Summen- und Differenzfrequenzen der eingespeisten Signale. Bei einem Hauptsignal der Frequenz $f_H=20$ Hz und den Zusatzsignalen $f_1=3,5$ und $f_2=5,3$ kHz entstehen folgende Signale (1. Ordnung):

$$f_1+f_2 = f_{1+2} = 8,80 \text{ kHz}$$

$$f_1-f_2 = f_{1-2} = 1,80 \text{ kHz}$$

$$f_H+f_1 = f_{H+1} = 3,52 \text{ kHz} \quad \text{und so weiter ...}$$

Das Sicherungsgerät reagiert hier nicht auf die Harmonischen der Grundfrequenz, sondern auf die Summen- oder Differenzfrequenz der Zusatzsignale.

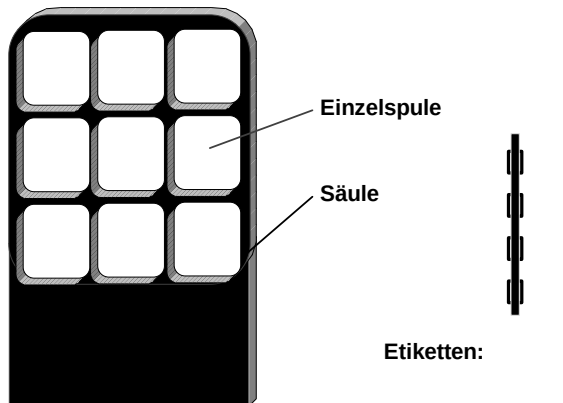


Abb. 3.8 links: Typische Antennenbauform der Sicherungsanlage (Höhe ca 1,40 m);
rechts: Mögliche Bauformen von Etiketten.

Die Sicherungsmittel sind als Etiketten in Form selbstklebender Streifen von einigen cm bis 20 cm Länge erhältlich. Aufgrund der extrem niedrigen Arbeitsfrequenzen eignen sich elektro-magnetische Systeme als einzige für metallhaltige Waren. Nachteilig wirkt sich jedoch die Lageabhängigkeit der Etiketten aus: Für eine sichere Detektion müssen die magnetischen Feldlinien des Sicherungsgerätes senkrecht durch den amorphen Metallstreifen laufen.



Abb. 3.9 Elektro-magnetische Etiketten im Einsatz. (Foto: Schreiner Codedruck, München)

Zur Deaktivierung sind die Etiketten mit einer hartmagnetischen Metallschicht umgeben oder partiell mit hartmagnetischen Plättchen bedeckt. An der Kasse werden die Sicherungsmittel deaktiviert indem die Kassiererin mit einem starken *Permanentmagneten* den Metall-

streifen entlangfährt [plotzke]. Hierdurch werden die hartmagnetischen Metallplättchen magnetisch. Dabei sind die Metallstreifen so ausgelegt, dass die Remanenzfeldstärke (siehe hierzu Kap. 4.1.12 „Magnetische Werkstoffe“, S. 132) der Metallplättchen ausreicht, um den amorphen Metallstreifen in der Sättigung zu halten, sodass das magnetische Wechselfeld der Sicherungsanlage nicht mehr wirksam werden kann.

Durch Entmagnetisierung können die Etiketten jederzeit wieder reaktiviert werden. Der Prozess der De- und Reaktivierung ist beliebig oft durchführbar. Aus diesem Grunde lag das Haupteinsatzgebiet der elektro-magnetischen Warensicherung ursprünglich bei Leihbibliotheken. Wegen der kleinen (mind. 32 mm kurze Streifen) und preiswerten Etiketten werden diese Systeme zunehmend auch im Lebensmitteleinzelhandel eingesetzt.

Um die erforderlichen Feldstärken zur Ummagnetisierung der Permalloy-Streifen zu erreichen, wird das Feld von zwei Spulensystemen in den Säulen zu beiden Seiten des schmalen Durchgangs erzeugt. In den beiden Säulen sind mehrere Einzelspulen, typischerweise 9 bis 12, die in der Mitte schwächere und außen stärkere Magnetfelder generieren [plotzke]. Damit sind heute Schleusenbreiten bis zu 1,50 m realisierbar, wobei noch Detektionsraten von 70% erreicht werden [gillert].



Abb. 3.10 Praktische Ausführung einer Antenne für Artikelsicherungssysteme. (Foto: METO EAS-System 2200, Esselte Meto, Hirschborn)

Tabelle 3.4: Typische Systemparameter [plotzke].

Frequenz	70 Hz
optionale Mischfrequenzen verschiedener Anlagen	21 Hz, 215 Hz, 3,3 kHz, 5 kHz
Feldstärke H_{eff} im Detektionsbereich	25 .. 120 A/m
minimale Feldstärke zur Deaktivierung	16000 A/m

3.1.5 Akustomagnetisch

Die Sicherungsmittel akustomagnetischer Systeme bestehen aus kleinen Kunststoffboxen, die etwa 40 mm lang, je nach Ausführung etwa 8 bis 14 mm breit und einen knappen Millimeter hoch sind. In dieser Box befinden sich zwei Metallstreifen, ein *hartmagnetischer Metallstreifen*, der fest mit der Plastikbox verbunden ist, sowie ein Streifen aus *amorphem Metall*, der so gelagert wird, dass er mechanisch frei schwingen kann [zechbauer].

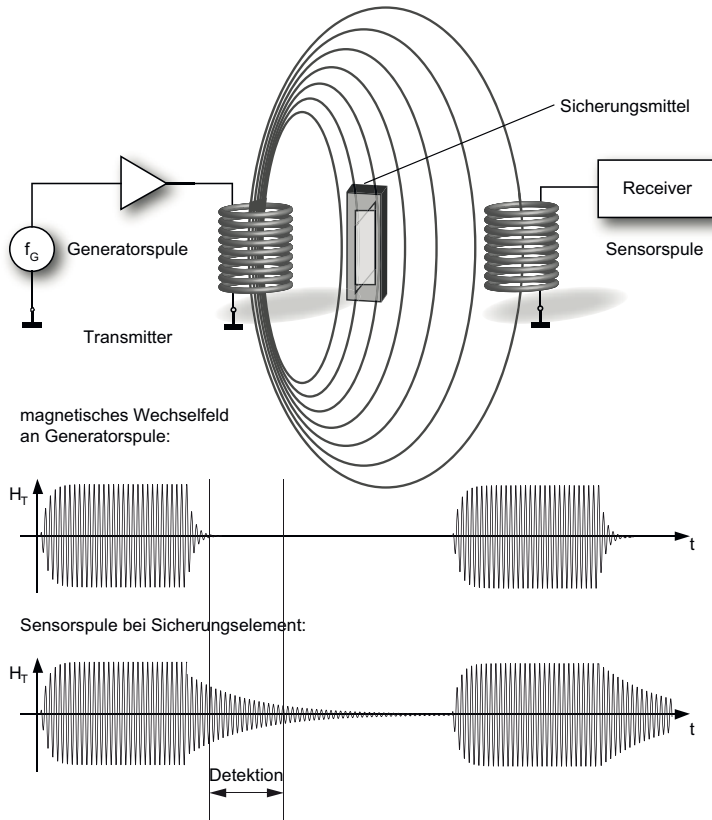


Abb. 3.11 Akustomagnetisches System bestehend aus Sender und Detektionsgerät (Receiver). Befindet sich ein Sicherungsmittel im Feld der Generatorspule, so schwingt dieses nach den Pulsen der Generatorspule wie eine Stimmgabel aus. Das Ausschwingverhalten kann von einem Auswertegerät detektiert werden.

Ferromagnetische Metalle (Nickel, Eisen, usw.) verändern in einem magnetischen Feld unter dem Einfluss der Feldstärke H ihre Länge in einem geringen Maße. Dieser Effekt wird als *Magnetostriktion* bezeichnet und ergibt sich aus einer geringfügigen Änderung des Atomabstandes durch die Magnetisierung. In einem magnetischen Wechselfeld schwingt ein magnetostriktiver Metallstreifen longitudinal mit der Frequenz des Feldes. Entspricht die Frequenz des magnetischen Wechselfeldes der (akustischen) Resonanzfrequenz des Metallstreifens, so wird die Amplitude der Schwingung besonders groß. Bei amorphen Metallen ist dieser Effekt besonders ausgeprägt.

Entscheidend ist nun, dass der magnetostriktive Effekt auch umkehrbar ist. Dies bedeutet, dass von einem schwingenden magnetostriktiven Metallstreifen ein magnetisches Wechselfeld ausgesendet wird. *Akustomagnetische Sicherungssysteme* sind nun so ausgelegt, dass die Frequenz des erzeugten magnetischen Wechselfeldes mit den Resonanzfrequenzen der Metallstreifen in den Sicherungsmitteln exakt übereinstimmt. Der amorphe Metallstreifen beginnt unter dem Einfluss des angelegten Magnetfeldes zu schwingen. Wird das magnetische Wechselfeld nach einiger Zeit abgeschaltet, so schwingt der angeregte Metallstreifen wie eine Stimmgabel noch eine gewisse Zeit weiter und erzeugt dabei selbst ein magnetisches Wechselfeld, das von der Sicherungsanlage leicht detektiert werden kann.

Tabelle 3.5: Typische Betriebsparameter akustomagnetischer Systeme [VDI4471].

Parameter	typischer Wert
Resonanzfrequenz f_0	58 kHz
Frequenztoleranz	$\pm 0,52\%$
Gütefaktor Q	> 150
minimale Feldstärke zur H_A zur Aktivierung	> 16.000 A/m
Einschaltdauer des Feldes	2 ms
Feldpause (Ausschaltdauer)	20 ms
Ausschwingvorgang des Sicherungsmittels	5 ms

Der große Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Sicherungsanlage während der Zeit, in der das Sicherungsmittel antwortet, selbst nicht sendet und die Detektionsempfänger somit entsprechend empfindlich ausgelegt werden können.

Im aktivierten Zustand sind akustomagnetische Sicherungsmittel magnetisiert, d. h. der eingangs erwähnte hartmagnetische Metallstreifen weist eine hohe Remanenzfeldstärke auf und bildet somit einen Dauermagneten. Um das Sicherungsmittel zu deaktivieren, muss der hartmagnetische Metallstreifen entmagnetisiert werden. Dies verstimmt die Resonanzfrequenz des amorphen Metallstreifens, sodass dieser durch die Ansprechfrequenz der Sicherungsanlage nicht mehr angeregt werden kann. Das Entmagnetisieren des hartmagnetischen Metallstreifens kann nur durch ein in der Feldstärke langsam abklingendes, starkes magnetisches Wechselfeld erfolgen. Die Manipulation der Sicherungsmittel durch vom Kunden mitgebrachte Dauermagneten ist somit sicher ausgeschlossen.

3.2 Voll- und Halbduplexverfahren

Im Gegensatz zu den 1-bit-Transpondern, welche meist durch die Anwendung einfacher physikalischer Effekte (Anschwingvorgänge, Anregung von harmonischen Verfahren mit Hilfe der unlinearen Kennlinien von Dioden oder an der unlinearen Hysteresekurve von Metallen) realisiert werden, verwenden die in diesem und dem folgenden Kapitel beschriebenen Transponder einen elektronischen Mikrochip als Datenträger. Auf diesem Datenträger können Datenmengen von wenigen Bytes bis hin zu einigen MByte gespeichert werden. Um die Datenträger auszulesen oder zu beschreiben, müssen Daten vom Lesegerät an den Transponder und auch zurück vom Transponder an das Lesegerät übertragen werden können. Hierbei kommen zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren zum Einsatz: Voll- und Halbduplexverfahren, die in diesem Kapitel, sowie sequentielle Systeme, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben werden.

Findet die Datenübertragung von Transponder in Richtung Lesegerät zeitversetzt mit der Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder statt, so bezeichnet man dies als *Halbduplexverfahren* (HDX). Bei Frequenzen unter 30 MHz wird zur Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät am häufigsten das Verfahren der Lastmodulation mit und ohne Hilfsträger eingesetzt, welches auch schaltungs-technisch sehr einfach zu realisieren ist. Damit eng verwandt ist das aus der Radartechnik bekannte Verfahren des modulierten Rückstrahlquerschnitts, welches auf Frequenzen über 100 MHz zum Einsatz kommt. Lastmodulation und modulierter Rückstrahlquerschnitt beeinflussen unmittelbar das durch das Lesegerät erzeugte magnetische oder elektromagnetische Feld, und werden deshalb auch zu den „*harmonischen*“ Verfahren gezählt.

Findet die Datenübertragung vom Transponder in Richtung Lesegerät (Uplink) zeitgleich mit der Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder (Downlink) statt, so bezeichnet man dies als *Vollduplexverfahren* (FDX). Dabei kommen Verfahren zum Einsatz, bei denen die Daten des Transponders auf Teilfrequenzen des Lesegeräts, also einer *subharmonischen*, oder auf einer davon völlig unabhängigen, also *anharmonischen* Frequenz zum Lesegerät übertragen werden.

Zur Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder (Downlink) werden bei Voll- und Halbduplexsystemen unabhängig von der Arbeitsfrequenz oder dem Kopplungsverfahren alle bekannten Verfahren der digitalen Modulation eingesetzt. Man unterscheidet zwischen drei grundsätzlichen Verfahren:

- *ASK*: Amplitude Shift Keying
- *FSK*: Frequency Shift Keying
- *PSK*: Phase Shift Keying

Wegen der einfachen Demodulationsmöglichkeit und der damit verbundenen einfacheren Schaltungstechnik im Transponder, verwendet die überwiegende Mehrheit der Systeme eine ASK-Modulation zur Datenübertragung an den Transponder.

FSK ist theoretisch möglich, dem Autor ist derzeit jedoch kein RFID-System bekannt, bei welchem FSK auf der Downlink kommerziell eingesetzt würde.

Auch PSK gewinnt erst in jüngster Zeit an Bedeutung. So wurde in der Standardisierung für ISO/IEC 14443 in 2011 ein Projekt gestartet, um mit PSK-Modulationsverfahren in Zukunft Bitraten von 10 MBit/s und höher auf dem Downlinkkanal zu ermöglichen. ASK wird bei ISO/IEC 14443 für Bitraten von 106 kBit/s bis hin zu 6,78 MBit/s eingesetzt.

Das wichtigste gemeinsame Merkmal der Voll- und Halbduplexsysteme besteht darin, dass die Energieübertragung vom Lesegerät zum Transponder kontinuierlich, also unabhängig von der Datenübertragungsrichtung stattfindet. Im Gegensatz dazu findet bei den sequentiellen Systemen (SEQ) die Energieübertragung vom Transponder zum Lesegerät immer nur für eine begrenzte Zeitspanne statt (Pulsbetrieb → *gepulste Systeme*). Die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät wird in den Pausen zwischen der Energieversorgung des Transponders durchgeführt.

Leider konnte man sich in der Literatur über RFID-Systeme nie auf eine einheitliche Nomenklatur für diese Systemvarianten einigen. Vielmehr ist eine verwirrende und uneinheitliche Zuordnung einzelner Systeme zu Voll- und Halbduplexsystemen üblich. So werden gepulste Systeme häufig als Halbduplexsysteme bezeichnet – dies ist aus Sicht der Datenübertragung zunächst richtig –, alle un gepulsten Systeme werden aber gleichzeitig fälschlicherweise den Vollduplexsystemen zugeordnet. In diesem Buch werden deshalb gepulste Systeme – zur Unterscheidung von anderen Verfahren, und entgegen der üblichen RFID-Literatur(!) – als sequentielle Systeme (SEQ) bezeichnet.

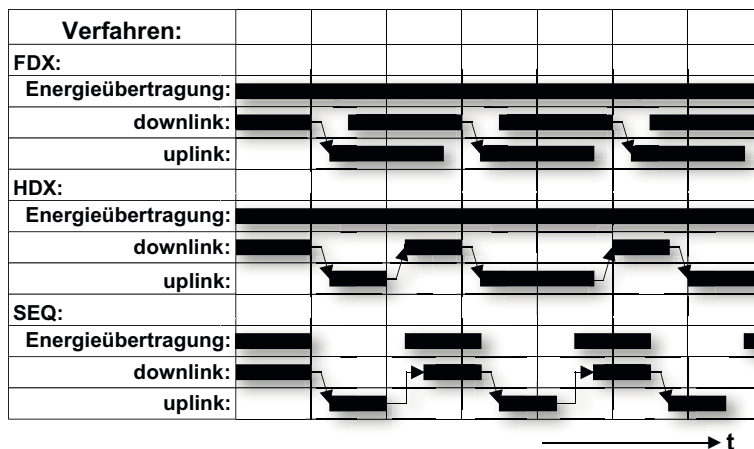


Abb. 3.12 Darstellung der zeitlichen Abläufe bei Voll-, Halbduplex- und sequentiellen Systemen. Die Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder wird in der Abbildung als downlink, die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät als uplink bezeichnet.

3.2.1 Induktive Kopplung

3.2.1.1 Energieversorgung passiver Transponder

Ein induktiv gekoppelter Transponder besteht aus einem elektronischen Datenträger, meist einem einzelnen Mikrochip, sowie einer großflächigen Spule oder Leiterschleife, welche als Antenne dient.

Induktiv gekoppelte Transponder werden fast ausschließlich passiv betrieben. Dies bedeutet, dass die gesamte zum Betrieb des Mikrochips notwendige Energie durch das Lesegerät zur Verfügung gestellt werden muss. Von der Antennenspule des Lesegerätes wird dazu ein starkes hochfrequentes, elektromagnetisches Feld erzeugt, welches den Querschnitt der Spulenfläche und den Raum um die Spule durchdringt. Da die Wellenlänge der verwendeten Frequenzbereiche ($< 135 \text{ kHz}$: 2400 m, 13,56 MHz: 22,1 m) um ein Vielfaches größer ist als die Entfernung zwischen Leser-Antenne und Transponder, darf das elektromagnetische Feld im Abstand des Transponders zur Antenne mathematisch noch als einfaches magnetisches Wechselfeld behandelt werden (Weiteres dazu kann dem Kap. 4.2.1.1 „Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen“, S. 138 entnommen werden).

Ein geringer Teil des von der Antenne des Lesegeräts erzeugten magnetischen Feldes durchdringt dabei auch die Antennenspule des Transponders, der sich in einiger Entfernung zur Spule des Lesegerätes befindet. Durch Induktion wird dadurch an der Antennenspule des Transponders eine Spannung U_i erzeugt. Die induzierte Spannung wird gleichgerichtet und dient der Energieversorgung des Datenträgers (Mikrochip).

Der Antennenspule des Lesegerätes wird ein Kondensator C_r parallelgeschaltet, dessen Kapazität so gewählt wird, dass zusammen mit der Spuleninduktivität der Antennenspule ein Parallelschwingkreis gebildet wird, dessen Resonanzfrequenz der Sendefrequenz des Lesegerätes entspricht. Durch den Effekt der Resonanzüberhöhung im Parallelschwingkreis können in der Antennenspule des Lesegerätes sehr hohe Ströme erreicht werden, womit die notwendigen Feldstärken auch zum Betrieb entfernter Transponder erzeugt werden können.

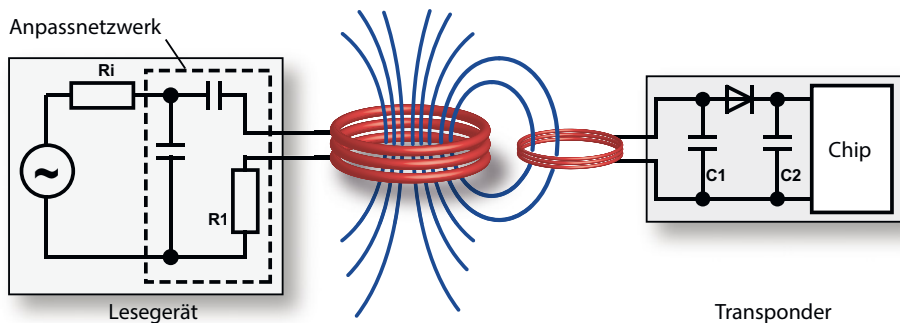


Abb. 3.13 Spannungsversorgung eines induktiv gekoppelten Transponders aus der Energie des magnetischen Wechselfeldes, das vom Lesegerät erzeugt wird.

Die Antennenspule des Transponders bildet zusammen mit dem Kondensator C1 ebenfalls einen Schwingkreis, welcher in etwa auf die Sendefrequenz des Lesegerätes abgestimmt wird. Durch Resonanzüberhöhung im Parallelschwingkreis erreicht die Spannung U_i an der Transponderspule ein Maximum.

Die Anordnung der beiden Spulen kann auch als Transformator interpretiert werden (*transformatorische Kopplung*), wobei zwischen den beiden Windungen nur eine sehr schwache Kopplung besteht. Der Wirkungsgrad der Leistungsübertragung zwischen der Antennenspule des Lesegerätes und dem Transponder ist proportional der Arbeitsfrequenz f , der Windungszahl n der Transponderspule, der umschlossenen Fläche A der Transponderspule, dem Winkel der beiden Spulen zueinander sowie der Entfernung zwischen den beiden Spulen.

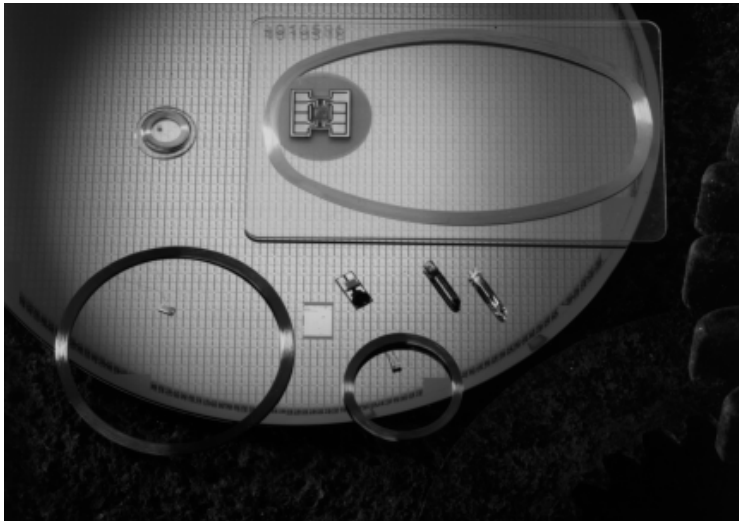


Abb. 3.14 Verschiedene Bauformen induktiv gekoppelter Transponder. Dargestellt sind Transponder-Halbzuge, also Transponder vor dem Einspritzen in ein Kunststoffgehäuse.
(Foto: AmaTech GmbH & Co. KG, Pfronten)

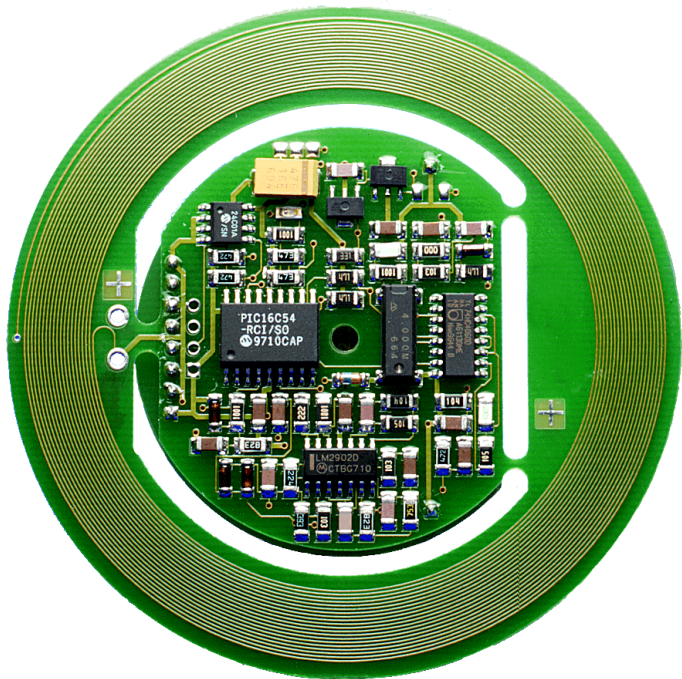


Abb. 3.15 Lesegerät für induktiv gekoppelte Transponder im Frequenzbereich < 135 kHz mit integrierter Antenne. (Foto: easy-key System, micron, Halbergmoos)

Tabelle 3.6: Übersicht über die Stromaufnahme verschiedener RFID-ASIC-Bausteine [ATMEL]. Die zum Betrieb der Mikrochips minimal notwendige Versorgungsspannung ist mit 1,8 V, die maximal zulässige mit 10 V angegeben.

	Speicher/Byte	Schreib-/ Lesedistanz	Stromauf- nahme	Frequenz	Anwendung
ASIC#1	6	15 cm	10 µA	120 kHz	Tier ID
ASIC#2	32	13 cm	600 µA	120 kHz	Warenfluss, Zutritts- kontrolle
ASIC#3	256	2 cm	6 mA	128 kHz	ÖPNV
ASIC#4	256	< 2 cm	~ 1 mA	4/13,56 MHz	Warenfluss
ASIC#5	256	100 cm	500 µA	125 kHz	Zutrittskontrolle
ASIC#6	2048	0,3 cm	< 10 mA	4,91 MHz*)	kontaktlose Chipkarte
ASIC#7	1024	10 cm	~ 1 mA	13,56 MHz	ÖPNV
ASIC#8	8	100 cm	< 1 mA	125 kHz	Warenfluss
ASIC#9	128	100 cm	< 1 mA	125 kHz	Zutrittskontrolle

Mit zunehmender Frequenz f nimmt die benötigte Spuleninduktivität der Transponderspule und damit auch die Windungszahl „ n “ ab (135 kHz: typisch 100 ... 1000 Windungen, 13,56 MHz: typisch 3 ... 10 Windungen). Da die im Transponder induzierte Spannung jedoch proportional der Frequenz f ist (siehe hierzu Kap. 4.1.7 „Resonanz“, S. 90), wirkt sich die geringere Windungszahl bei höheren Frequenzen in der Praxis auf den Wirkungsgrad der Leistungsübertragung kaum aus.

3.2.1.2 Datenübertragung Transponder > Lesegerät

3.2.1.2.1 Lastmodulation

Wie bereits gezeigt, besteht bei induktiv gekoppelten Systemen eine *transformatorische Kopplung* zwischen der primären Spule im Lesegerät und der sekundären Spule im Transponder. Dies gilt, solange der Abstand zwischen den Spulen nicht größer als $(\lambda/2\pi) 0,16 \lambda$ wird, sodass sich der Transponder im *Nahfeld* der Sendeantenne befindet (eine nähere Erklärung zur Definition des Nah- und Fernfeldes siehe Kapitel 4.2.1.1 „Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen“, S. 138).

Wird ein resonanter Transponder (d. h. die Eigenresonanzfrequenz des Transponders entspricht der Sendefrequenz des Lesegerätes) in das magnetische Wechselfeld der Antenne des Lesegerätes gebracht, so entzieht dieser dem magnetischen Feld Energie. Die dadurch hervorgerufene Rückwirkung des Transponders auf die Antenne des Lesegerätes kann als *transformierte Impedanz* Z_T in der Antennenspule des Lesegerätes dargestellt werden. Das Ein- und Ausschalten eines *Lastwiderstandes* an der Antenne des Transponders bewirkt eine Veränderung der Impedanz Z_T und damit Spannungsänderungen an der Antenne des Lesegerätes (siehe Kapitel 4.1.10.3 „Lastmodulation“, S. 115). Dies entspricht in der Wirkung einer Amplitudenmodulation der Spannung U_L an der Antennenspule des Lesegerätes durch den entfernten Transponder. Steuert man das An- und Ausschalten des Lastwiderstandes durch Daten, so können diese Daten vom Transponder zum Lesegerät übertragen werden. Diese Form der Datenübertragung wird als *Lastmodulation* bezeichnet.

In der Praxis zeigt sich, dass der Phasenwinkel der transformierten Impedanz vom Phasenwinkel des Stromes in der Transponderantenne, und damit von der genauen Resonanzfrequenz des Transponderschwingkreises abhängt. Je nach Phasenwinkel der transformierten Impedanz kann eine Lastmodulation eine „positive“ oder „negative“ Amplitudenmodulation, eine reine Phasenmodulation, oder eine Mischung davon, an der Antennenspule des Lesegerätes erzeugen. Hinzu kommt, dass vereinzelt auch kapazitive Lastmodulation, also die Umschaltung der Resonanzfrequenz des Transponders, verwendet wird.

Zur Rückgewinnung der Daten im Lesegerät wird eine an der Antenne des Lesegerätes abgegriffene Spannung gleichgerichtet. Dies entspricht der Demodulation eines amplitudenmodulierten Signals. Ein Schaltungsbeispiel hierfür kann dem Kapitel 11.3.1 „Integriertes HF-Interface“, S. 498 entnommen werden.

Verlässt der Transponder das Nahfeld, also den Bereich $< \lambda/2\pi (0,16 \lambda)$, so geht mit dem Übergang in das Fernfeld auch die transformatorische Kopplung zwischen der Antenne des

Lesegerätes und der Antenne des Transponders verloren. Eine Lastmodulation ist im Fernfeld daher nicht mehr möglich. Dies bedeutet jedoch nicht, dass eine Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät grundsätzlich nicht mehr möglich wäre. Mit dem Übergang ins Fernfeld beginnt der Mechanismus der Backscatter-Kopplung (Siehe „Elektromagnetische Backscatter-Kopplung“ auf Seite 58.) wirksam zu werden. In der Praxis scheitert eine Datenübertragung zum Lesegerät jedoch in der Regel an dem kleinen Wirkungsgrad der Transponderantennen (d. h. dem geringen Antennengewinn) im Fernfeld.

3.2.1.2.2 Lastmodulation mit Hilfsträger

Auf Grund der geringen Kopplung zwischen Leseantenne und Transponder-Antenne sind die das Nutzsignal darstellenden Spannungsschwankungen an der Antenne des Lesegerätes um Größenordnungen kleiner als die Ausgangsspannung des Lesegerätes. Bei einem 13,56 MHz-System kann in der Praxis, bei einer Antennenspannung von ca. 100V (Spannungsüberhöhung durch Resonanz!) mit einem Nutzsignal von etwa 10 mV gerechnet werden (= 80 dB Nutz/„Störsignal“-Verhältnis). Da diese geringen Spannungsänderungen nur mit einem sehr großen schaltungstechnischen Aufwand zu detektieren sind, macht man sich die durch die Amplitudenmodulation der Antennenspannung entstehenden Modulationsseitenbänder zunutze:

Wird nämlich der zusätzliche Lastwiderstand im Transponder mit sehr hoher Taktfrequenz f_H ein- und ausgeschaltet, so entstehen zwei Spektrallinien im Abstand $\pm f_H$ um die Sendefrequenz des Lesegerätes, die nun leicht detektiert werden können (es muss jedoch $f_H < f_{\text{LESER}}$ sein). Im Sprachgebrauch der Funktechnik wird die zusätzlich eingeführte Taktfrequenz als *Hilfsträger* (Subcarrier) bezeichnet.

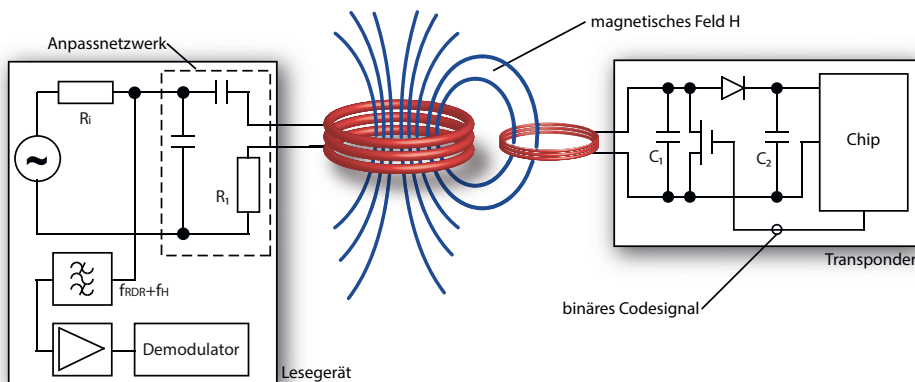


Abb. 3.16 Erzeugung der Lastmodulation im Transponder durch Umschalten des Drain-Source-Widerstandes eines FET auf dem Chip. Das abgebildete Lesegerät ist für die Detektion eines Hilfsträgers ausgelegt.

Um nun Daten an das Lesegerät zu übertragen, wird der *Hilfsträger* selbst im Takt des Datenflusses moduliert. Der Lastwiderstand im *Lastmodulator* wird nun im Takt des modulierten Hilfsträgers ein- und ausgeschaltet. Als Modulationsverfahren für den Hilfsträger