

# HANSER



## Leseprobe

zu

## RFID-Handbuch

von Klaus Finkenzeller

Print-ISBN: 978-3-446-44885-8  
E-Book-ISBN: 978-3-446-47972-2

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446448858>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort zur 8. Auflage .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Verwendete Abkürzungen .....</b>	<b>XIX</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Automatische Identifikationssysteme .....	2
1.1.1 Barcode-Systeme .....	2
1.1.2 Optical Character Recognition .....	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
<b>2 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen .....</b>	<b>13</b>
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 .....	29
2.6.2 Reichweite .....	30
2.6.3 Sicherheitsanforderungen .....	31
2.6.4 Speicherkapazität .....	32
<b>3 Grundlegende Funktionsweise .....</b>	<b>33</b>
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 .....	49
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 .....	62
3.2.4	Elektrische Kopplung .....	65
3.2.4.1	Energieversorgung passiver Transponder .....	65
3.2.4.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät .....	66
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
<b>4</b>	<b>Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme .....</b>	<b>77</b>
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
<b>5</b>	<b>Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften .....</b>	<b>187</b>
5.1	Verwendete Frequenzbereiche .....	187
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz .....	189
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz (ISM) .....	189
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz (ISM, SRD) .....	190
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz (ISM) .....	190
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz (ISM) .....	191
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz (ISM) .....	191
5.1.7	UHF-Frequenzbereich .....	192
5.1.7.1	Frequenzbereich 865,0 MHz... 868 MHz (SRD) in Europa .....	192
5.1.7.2	Frequenzbereich 915 ... 921 MHz (SRD) in Europa .....	192
5.1.7.3	Frequenzbereich 915,0 MHz .....	192
5.1.8	Frequenzbereich 2,45 GHz (ISM, SRD) .....	193
5.1.9	Frequenzbereich 5,8 GHz (ISM, SRD) .....	193
5.1.10	Frequenzbereich 24,125 GHz (ISM) .....	193
5.1.11	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme .....	194
5.2	Internationale Fernmeldeunion (ITU) .....	196
5.3	Europäische Zulassungsvorschriften .....	198
5.3.1	CEPT/ERC REC 70-03 .....	199
5.3.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices .....	200
5.3.1.2	Annex 4: Railway applications .....	201
5.3.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics .....	202
5.3.1.4	Annex 9: Inductive applications .....	203
5.3.1.5	Annex 11: RFID applications .....	205
5.3.2	Standardisierte Messverfahren .....	207
5.3.2.1	Übergreifende Standards .....	207
5.3.2.2	Anwendungsspezifische Messvorschriften .....	209
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa .....	209
5.4.1	Bundesrepublik Deutschland .....	210
5.4.1.1	Induktive Funkanwendungen .....	210
5.4.1.2	RFID-Systeme im UHF-Bereich .....	212
5.5	Nationale Zulassungsvorschriften USA .....	213
5.6	Vergleich nationaler Regulierungsvorschriften .....	215
5.6.1	Umrechnung bei 13,56 MHz .....	215
5.6.2	Umrechnung auf UHF .....	217

<b>6</b>	<b>Codierung und Modulation .....</b>	<b>219</b>
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
<b>7</b>	<b>Datenintegrität .....</b>	<b>229</b>
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
<b>8</b>	<b>Sicherheit von RFID-Systemen .....</b>	<b>273</b>
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
8.3	Technische Richtlinien für sicheren RFID-Einsatz .....	334
<b>9</b>	<b>Normung .....</b>	<b>337</b>
9.1	Tieridentifikation .....	337
9.1.1	ISO/IEC 11784 – Codestruktur .....	337
9.1.2	ISO/IEC 11785 – technisches Konzept .....	338
9.1.2.1	Anforderungen .....	338
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System .....	340
9.1.2.3	Sequentielles System .....	341
9.1.3	ISO/IEC 14223 – „Advanced Transponders“ .....	341
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface .....	341
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure .....	344
9.2	Kontaktlose Chipkarten .....	345
9.2.1	ISO/IEC 10536 – Close-coupling-Chipkarten .....	346
9.2.2	ISO/IEC 14443 – Proximity-coupling-Chipkarten .....	347
9.2.2.1	Physikalische Eigenschaften .....	348
9.2.2.2	Energieübertragung und Signalinterface .....	350
9.2.2.3	Initialisierung, Antikollision und Protokollaktivierung .....	365
9.2.2.4	Datenübertragungsprotokoll .....	377
9.2.3	ISO/IEC 15693 – Vicinity-coupling-Chipkarten .....	381
9.2.3.1	Physical characteristics .....	382
9.2.3.2	Air interface and initialization .....	382
9.2.3.3	Anticollision and transmission protocol .....	385
9.2.4	ISO/IEC 10373 – Prüfmethode für Chipkarten .....	393
9.2.4.1	Part 6 – Testverfahren für Proximity-coupling-Chipkarten .....	394
9.2.4.2	Part 7 – Testverfahren für Vicinity-coupling-Chipkarten .....	400
9.3	NFC-bezogene Standards und Spezifikationen .....	401
9.4	ISO/IEC 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge .....	402
9.5	ISO/IEC 10374 – Containeridentifikation .....	403
9.6	VDI 4470 – Warensicherungssysteme .....	404
9.6.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusensysteme .....	404
9.6.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote .....	405
9.6.1.2	Ermittlung der Detektionsrate .....	405
9.6.1.3	Formblätter in VDI 4470 .....	406
9.6.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen .....	406
9.7	Güter- und Warenwirtschaft .....	407

9.7.1	ISO/IEC 18000 Reihe .....	407
9.7.1.1	Datennormen .....	407
9.7.1.2	Luftschnittstellennormen .....	410
9.7.1.3	Testnormen .....	413
9.7.2	GTAG Initiative .....	417
9.7.3	EPCglobal Network .....	417
9.7.3.1	Generation 2 .....	419
9.7.3.2	Normen und Spezifikationen .....	420
9.7.3.3	Der Electronic Product Code (EPC) .....	423
9.7.3.4	Transponderklassen .....	426
9.7.3.5	Einführung in das EPC-Netzwerk .....	427
9.7.4	EPCglobal UHF AI Gen 2 / ISO/IEC 18000-6 Type C / ISO/IEC 18000-63 429	
9.7.4.1	Kommunikationsprinzip .....	429
9.7.4.2	Kommunikation vom Lesegerät zum Transponder .....	430
9.7.4.3	Kommunikation vom Transponder zum Lesegerät .....	432
9.7.4.4	Dense Reader Mode, Signalspektrum und Funkzulassungen .....	435
9.7.4.5	Speicher .....	437
9.7.4.6	Session Flags .....	438
9.7.4.7	Kommandos .....	440
9.7.4.8	Ablauf der Kommunikation .....	446
9.7.4.9	Unterschiede zwischen GS1 EPC Gen 2 UHF und ISO/IEC 18000-63 .....	449
9.7.4.10	Zusätzliches in ISO/IEC 18000-63 Type C .....	450
9.8	Das RFID-Emblem .....	451
9.9	Europäische Normen zum Schutz der Privatsphäre .....	454
9.10	RAIN RFID .....	455
<b>10</b>	<b>Architektur elektronischer Datenträger .....</b>	<b>457</b>
10.1	Transponder mit Speicherfunktion .....	458
10.1.1	HF-Interface .....	458
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger .....	459
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder .....	460
10.1.1.3	Simulation eines ISO/IEC14443-kompatiblen HF-Frontends .....	463
10.1.2	Adress- und Sicherheitslogik .....	465
10.1.2.1	State-Machine .....	466
10.1.3	Speicherarchitektur .....	467
10.1.3.1	Read-only-Transponder .....	467
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder .....	468
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion .....	468
10.1.3.4	Segmentierte Speicher .....	471
10.1.3.5	MIFARE®-Applikationsverzeichnis .....	473
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM .....	476
10.2	Mikroprozessoren .....	479



10.2.1	Dual-Interface Karte .....	481
10.2.1.1	MIFARE plus .....	483
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card .....	484
10.3	Near Field Communication NFC .....	486
10.3.1	NFC-Tag Types .....	488
10.3.1.1	NFC-Tag Type-1 .....	488
10.3.1.2	NFC-Tag Type-2 .....	489
10.3.1.3	NFC-Tag Type-3 .....	490
10.3.1.4	NFC-Tag Type-4 .....	491
10.3.1.5	NFC-Tag Type-5 .....	492
10.3.2	NDEF-Datenstruktur .....	492
10.3.3	Integration in Mobiltelefone und Geräte .....	495
10.3.3.1	Secure-NFC .....	496
10.3.4	NFC-based Wireless-Charging (NFC-WLC) .....	502
10.3.4.1	Funktionsweise .....	503
10.3.4.2	Selektion der Übertragungsleistung .....	505
10.3.4.3	Fremdobjekterkennung .....	505
10.3.4.4	Ladeschaltung .....	506
10.4	Speichertechnologie .....	507
10.4.1	RAM .....	507
10.4.2	EEPROM .....	508
10.4.3	FRAM .....	509
10.4.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM .....	511
10.5	Messung physikalischer Größen .....	512
10.5.1	Transponder mit Sensorfunktionen .....	512
10.5.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern .....	513
10.5.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern .....	514
<b>11</b>	<b>Lesegeräte .....</b>	<b>517</b>
11.1	Datenfluss in einer Applikation .....	517
11.2	Komponenten eines Lesegeräts .....	518
11.2.1	HF-Interface .....	519
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX .....	520
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex .....	521
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ .....	522
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder .....	523
11.2.2	Steuerung .....	524
11.3	Integrierte Leser-ICs .....	526
11.3.1	Integriertes HF-Interface .....	527
11.3.2	Single Chip Reader IC .....	529
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme .....	540
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung .....	540
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel .....	542

11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q .....	546
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten .....	546
11.5.1	OEM-Lesegeräte .....	547
11.5.2	Lesegeräte für den industriellen Einsatz .....	548
11.5.3	Portable Lesegeräte .....	548
<b>12</b>	<b>Messtechnik für RFID-Systeme .....</b>	<b>551</b>
12.1	HF-Messtechnik für Proximity-Systeme .....	551
12.1.1	Kontaktbasierte Messungen .....	552
12.1.1.1	Messung der Transponderchip-Impedanz .....	552
12.1.2	Kontaktlos-Messungen .....	556
12.1.2.1	Konzept zur Messung von Proximity-Karten .....	556
12.1.2.2	Aufbau zur Messung von Proximity-Transpondern .....	558
12.1.2.3	Aufbau zur Messung von Proximity-Lesegeräten .....	562
12.1.2.4	Charakterisierung und Evaluierung .....	563
12.1.3	Ausgewählte Messungen an Proximity-Smartcards .....	564
12.1.3.1	Messung der Rückwirkung, Card Loading Effect .....	564
12.1.3.2	Messung der Ansprechfeldstärke .....	565
12.1.3.3	Messung der Modulation .....	567
12.1.3.4	Messung der Zeiten in der sequentiellen Kommunikation .....	569
12.1.3.5	Messung der Karten-Rückmodulation .....	571
12.1.3.6	Messung ungewollter Störungen (EMD) .....	573
12.1.3.7	Prüfung der maximal verkraftbaren Feldstärke (maximum alternating field) 574	
12.1.3.8	Zusammenfassung der Transponder-Antennenklassen .....	575
12.1.4	Ausgewählte Messungen an Proximity-Readern .....	576
12.1.4.1	Messung der Feldstärke des Lesegeräts .....	576
12.1.4.2	Messung der Modulationseigenschaften .....	578
12.1.4.3	Messung der Empfindlichkeit auf Lastmodulation .....	579
12.1.4.4	Messung der EMD .....	582
12.2	HF-Messtechnik für UHF-Systeme .....	582
12.2.1	Prolog .....	582
12.2.1.1	Unterschiede zwischen LF, HF und UHF .....	582
12.2.1.2	Allgemeiner Ansatz für den Testablauf .....	583
12.2.1.3	Einflussgrößen und Störungen .....	583
12.2.2	Signalstrecke und Umgebungseinflüsse .....	584
12.2.3	Testverfahren .....	585
12.2.3.1	Testverfahren für die Systemleistung – ISO18046-1 .....	585
12.2.3.2	ISO/IEC 18046-2 – Testverfahren für das RFID-Lesegerät .....	588
12.2.3.3	Testverfahren für UHF-Tags/Transponder ISO18046-3 .....	589
12.2.4	UHF-Messtechnik – Gerätetechnik .....	590
12.2.4.1	Standardgeräte .....	591
12.2.4.2	Spezialgeräte für UHF-Messtechnik .....	592

12.2.5	Praktische RFID-Messtechnik im Labor .....	593
12.2.5.1	Fallbeispiel: Transponder .....	593
12.2.5.2	Fallbeispiel: Population von Transpondern .....	597
12.2.6	Fazit .....	598
<b>13</b>	<b>Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten .....</b>	<b>601</b>
13.1	Herstellung des integrierten Schaltkreises (Chip) .....	602
13.1.1	Das Halbleitermaterial .....	602
13.1.2	Herstellung eines integrierten Schaltkreises .....	604
13.1.2.1	Vorbereitung des Ausgangsmaterials .....	604
13.1.2.2	Züchten des Kristalls .....	604
13.1.2.3	Herstellung der Scheiben (Wafer) .....	605
13.1.2.4	Aufbringung der integrierten Schaltungsstruktur .....	606
13.1.3	Test der integrierten Schaltkreise .....	607
13.1.4	Sägen des Wafer .....	608
13.1.5	Mögliche Lieferformen .....	609
13.1.6	Weitere Verpackung .....	609
13.2	Antennenherstellung .....	610
13.2.1	Wickeltechnik mit Kern .....	610
13.2.2	Wickeltechnik mit Luftspule .....	610
13.2.3	Verlegetechnik .....	612
13.2.4	Siebdrucktechnik .....	613
13.2.5	Ätztechnik .....	614
13.2.6	Stanztechnik .....	615
13.3	Kontaktierverfahren .....	615
13.3.1	Kontaktierverfahren für Halbleiterchips im Gehäuse .....	615
13.3.1.1	Vorbereitung – Montage des Chips im Gehäuse .....	616
13.3.1.2	Löttechnik .....	616
13.3.1.3	Klebe- und Schneid-Klemm-Technik .....	617
13.3.2	Kontaktierverfahren für unverpackte Halbleiterchip .....	618
13.3.2.1	Vorbereitung von Wafer Bumpen .....	618
13.3.2.2	Flip-Chip-Montage .....	619
13.3.2.3	Verbindungstechnik Schweißen .....	621
13.4	Spezielle Bauformen .....	623
13.4.1	Glastransponder .....	623
13.4.2	Plastiktransponder .....	625
13.4.3	Fertigung von Inlays .....	626
13.4.4	Kontaktlose Chipkarten .....	627
13.4.4.1	Zusammentragen der Folien .....	627
13.4.4.2	Laminieren .....	628
13.4.5	Etiketten .....	629
13.4.5.1	Herstellung .....	629
13.4.5.2	Drucktechnik in der Etikettenfertigung .....	630

13.5	Test in der Fertigung .....	632
13.5.1	Prozessparameter .....	632
13.5.1.1	Abschertest (Shear Test) .....	632
13.5.1.2	Rollentest für Inlay und Etiketten .....	632
13.5.2	Messung der HF-Parameter .....	633
13.5.2.1	Anforderungen an den Test .....	633
13.5.2.2	Test von LF- und HF-Transpondern .....	634
13.5.2.3	Test von UHF-Transpondern .....	634
13.5.2.4	Behandlung der Schlechteile .....	636
13.5.3	Test der Produkteigenschaften .....	636
13.5.3.1	Allgemeine Zuverlässigkeitsprüfungen .....	637
13.6	Antennendesign für RFID-Systeme .....	637
13.6.1	Eigenschaften von Schleifenantennen .....	637
13.6.1.1	Impedanz der Antenne .....	639
13.6.1.2	Resonanzfrequenz und Güte .....	642
13.6.1.3	Messung der Werte des Antennen-Ersatzschaltbilds .....	643
13.6.1.4	Abhängigkeiten des Antennen-Ersatzschaltbilds .....	644
13.6.2	Design von Loop-Antennen für Kontaktlos-Karten .....	647
13.6.2.1	Konzept zum Design .....	647
13.6.2.2	Induktivität .....	648
13.6.2.3	Wirkwiderstand .....	649
13.6.2.4	Kapazität .....	650
13.6.2.5	Einfluss des Antennen-Resonanzkreises auf die Performance .....	651
<b>14</b>	<b>Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>655</b>
14.1	Kontaktlose Chipkarten .....	655
14.2	Öffentlicher Nahverkehr .....	656
14.2.1	Ausgangssituation .....	657
14.2.2	Anforderungen .....	657
14.2.2.1	Transaktionszeit .....	657
14.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort .....	658
14.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen .....	659
14.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung .....	660
14.2.5	Historische Projektbeispiele und Feldversuche .....	660
14.2.5.1	Korea – Seoul .....	660
14.2.5.2	Fahrsmart-Projekt – Lüneburg, Oldenburg .....	662
14.2.5.3	FlexPass – Landkreis Konstanz .....	663
14.2.6	(((eTicket Deutschland .....	665
14.3	Kontaktloser Zahlungsverkehr .....	666
14.3.1	MasterCard® Pay Pass .....	669
14.3.2	ExpressPay von American Express® .....	670
14.3.3	Visa® Contactless .....	670
14.3.4	ExxonMobil Speedpass .....	670
14.3.5	EMVCo .....	671

14.4	NFC-Anwendungen .....	671
14.5	Elektronischer Reisepass und nationale eID-Karten (eMRTD) .....	678
14.6	Ski-Ticketing .....	685
14.7	Zutrittskontrolle .....	687
14.7.1	Online-Systeme .....	688
14.7.2	Offline-Systeme .....	693
14.8	Verkehrssysteme .....	697
14.8.1	Eurobalise S21 .....	697
14.8.2	Internationaler Containerverkehr .....	699
14.9	Tieridentifikation .....	700
14.9.1	Länderspezifische Kodierung .....	702
14.9.2	Spezielle Transponderbauformen .....	704
14.9.2.1	Halsbandtransponder .....	705
14.9.2.2	Transponderohrmarken .....	705
14.9.2.3	Injizierbare Glastransponder .....	706
14.9.2.4	Transponderbolus .....	708
14.9.2.5	Fußband .....	709
14.9.3	RFID im Brieftauben-Preisflug .....	710
14.10	Elektronische Wegfahrsperrre .....	712
14.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperrre .....	712
14.10.2	Eine Erfolgsgeschichte .....	715
14.10.3	Zweite Generation – Keyless Entry .....	716
14.11	Behälteridentifikation .....	717
14.11.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter .....	717
14.11.2	Abfallentsorgung .....	719
14.12	Sportliche Veranstaltungen .....	720
14.13	Industriautomation .....	723
14.13.1	Werkzeugidentifikation .....	723
14.13.2	Industrielle Fertigung .....	726
14.13.2.1	Zentrale Steuerung .....	727
14.13.2.2	Dezentrale Steuerung .....	728
14.13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen .....	729
14.13.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme .....	729
14.13.2.5	Projektbeispiel .....	731
14.14	Medizinische Anwendungen .....	731
14.15	RFID im Einzelhandel .....	733
<b>15</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>737</b>
15.1	Die Autoren .....	737
15.2	Industrieverbände .....	741
15.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften .....	742
15.4	Literatur .....	743
<b>16</b>	<b>Register .....</b>	<b>761</b>

## Vorwort zur 8. 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 zeitaufwendig, 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 Sprachen<sup>1</sup> 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 sowie 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.

Dieses Buch erschien zum ersten Mal im März 1998, also vor über 25 Jahren. Zum damaligen Zeitpunkt waren der RFID-Hype, den wir in den Jahren nach 2000 erlebt haben, aber auch die technologische Entwicklung auf dem Gebiet der RFID-Technologie in den folgenden 25 Jahren nicht ansatzweise absehbar. Mittlerweile ist die RFID-Technologie gut ausgereift und Innovationen finden sich vor allem in neuen Anwendungen oder einer Vernetzung der Lesegeräte und Transponder im Internet der Dinge. Erfreulich dabei ist es, dass die zugrunde liegenden Konzepte und physikalischen Grundlagen all diese Jahre erhalten geblieben und sind eine gute Voraussetzung für das Verständnis der neueren Entwicklungen waren und sind.

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 damals sowohl an das ebenso bekannte Chipkartenhandbuch meiner beiden Kollegen Rankl und Effing als auch an das RFID-Handbuch ging. Die Preisverleihung fand anlässlich

---

<sup>1</sup> Derzeit ist das Buch in folgenden Sprachen erhältlich: Deutsch, Englisch, Japanisch, Chinesisch, Koreanisch, Russisch und in chinesischer Langschrift (für Taiwan).

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 1998 in deutscher Sprache erschienene erste Auflage hatte einen Umfang von gerade mal 280 Seiten. War RFID damals noch eine Nischentechnologie und in der Öffentlichkeit kaum näher bekannt, so hat sich dieses Bild mittlerweile sehr gewandelt. RFID und das darauf basierende NFC sind zu einem festen Begriff geworden und durch Anwendungen wie den elektronischen Reisepass, den kontaktlosen Kredit- und EC-Karten oder den elektronischen Produktcode (EPC) sind RFID und NFC heute der breiten Öffentlichkeit als Technologien bekannt.

Auf Grund der 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 über mehrere Auflagen weitergeführt. An der vorliegenden Auflage haben Michael E. Wernle (Meshed Systems, München) und Josef Preishuber-Pflügl (innobir e. U., Klagenfurt), aktiv 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 2023

*Klaus Finkenzeller*

## 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 beschrieben sind, 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 ungepulsten 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.

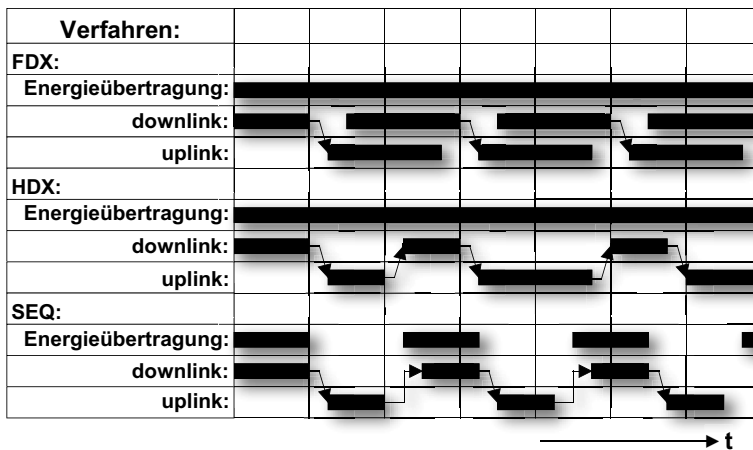


Abb. 3.12 Darstellung der zeitlichen Abläufe bei Voll-, Halbduplex- und sequentiellen Systemen. Die Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder wird in der Abbildung als downlink, die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät als uplink bezeichnet.

## 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 Lesegeräts 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 Kapitel 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 magnetisches Feldes durchdringt dabei auch die Antennenspule des Transponders, der sich in einiger Entfernung zur Spule des Lesegeräts 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 Lesegeräts 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 Lesegeräts entspricht. Durch den Effekt der Resonanzüberhöhung im Parallelschwingkreis können in der Antennenspule des Lesegeräts sehr hohe Ströme erreicht werden, womit die notwendigen Feldstärken auch zum Betrieb entfernter Transponder erzeugt werden können.

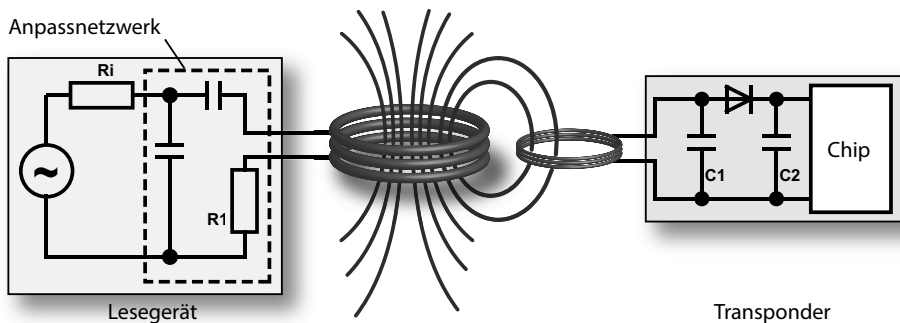


Abb. 3.13 Spannungversorgung eines induktiv gekoppelten Transponders aus der Energie des magnetischen Wechselfeldes, das vom Lesegerät erzeugt wird.

Die Antennenspule des Transponders bildet zusammen mit dem Kondensator C1 ebenfalls einen Schwingkreis, welcher in etwa auf die Sendefrequenz des Lesegeräts 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 Lesegeräts 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)

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 Kapitel 4.1.7 „Resonanz“, S. 90), wirkt sich die geringere Windungszahl bei höheren Frequenzen in der Praxis auf den Wirkungsgrad der Leistungsübertragung kaum aus.

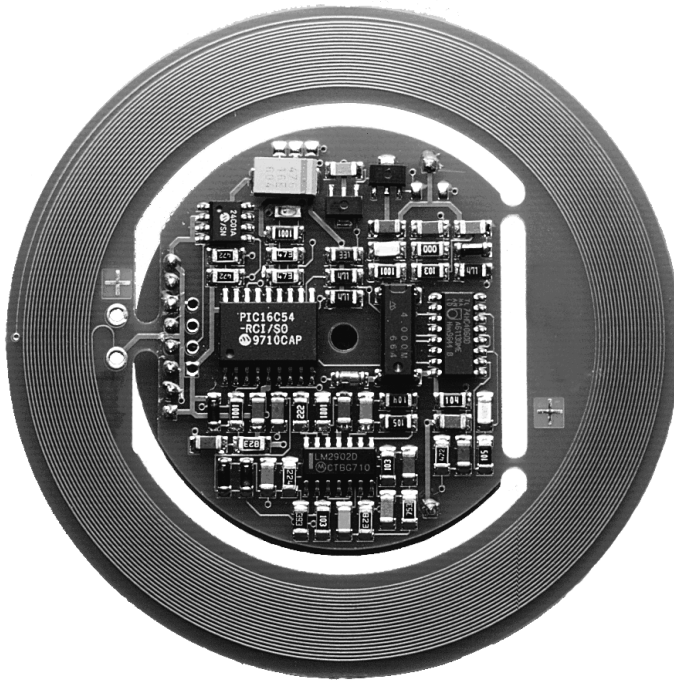


Abb. 3.15 Lesegerät für induktiv gekoppelte Transponder im Frequenzbereich  $< 135$  kHz mit integrierter Antenne. (Foto: easy-key System, micron, Halbergmoos)

### 3.2.1.2 Datenübertragung Transponder $\rightarrow$ 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 Lesegeräts) in das magnetische Wechselfeld der Antenne des Lesegeräts gebracht, so entzieht dieser dem magnetischen Feld Energie. Die dadurch hervorgerufene Rückwirkung des Transponders auf die Antenne des Lesegeräts kann als *transformierte Impedanz*  $Z_T$  in der Antennenspule des Lesegeräts dargestellt werden. Das Ein- und Ausschalten eines *Lastwiderstands* an der Antenne des Transponders bewirkt eine Veränderung der Impedanz  $Z_T$  und damit Spannungsänderungen an der Antenne des Lesegeräts (siehe Kapitel 4.1.10.3 „Lastmodulation“, S. 115). Dies entspricht in der Wirkung einer Amplitudenmodulation der Spannung  $U_L$  an der Antennenspule des Lesegeräts durch den entfernten Transponder. Steuert man das An- und Ausschalten des Lastwiderstands 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 Lesegeräts 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 Lesegeräts abgegriffene Spannung gleichgerichtet. Dies entspricht der Demodulation eines amplitudenmodulierten Signals. Ein Schaltungsbeispiel hierfür kann dem Kapitel 11.3.1 „Integriertes HF-Interface“, S. 527 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 Lesegeräts 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 Kapitel 3.2.2 „Elektromagnetische Backscatter-Kopplung“, S. 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 Hilfst Träger

Auf Grund der geringen Kopplung zwischen Leseantenne und Transponder-Antenne sind die das Nutzsignal darstellenden Spannungsschwankungen an der Antenne des Lesegeräts um Größenordnungen kleiner als die Ausgangsspannung des Lesegeräts. 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 zu nutze:

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 Lesegeräts, die nun leicht detektiert werden können (es muss jedoch  $f_H < f_{LESER}$  sein). Im Sprachgebrauch der Funktechnik wird die zusätzlich eingeführte Taktfrequenz als *Hilfsträger* (*Subcarrier*) bezeichnet.

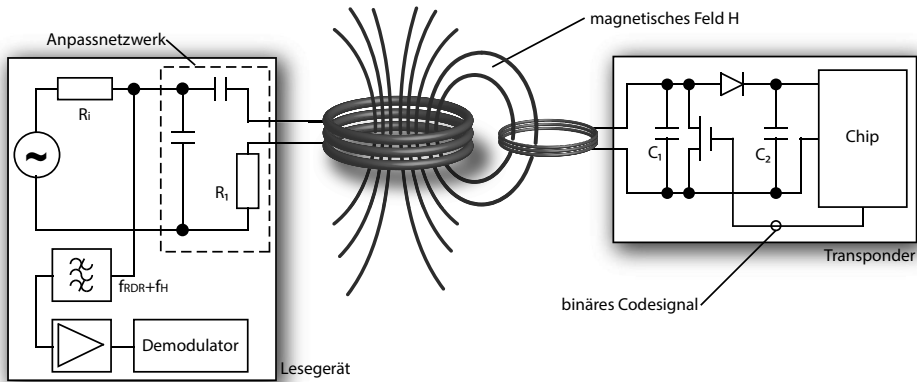


Abb. 3.16 Erzeugung der Lastmodulation im Transponder durch Umschalten des Drain-Source-Widerstandes eines FET auf dem Chip. Das abgebildete Lesegerät ist für die Detektion eines Hilfsträgers ausgelegt.

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 werden ASK- (z. B. ISO/IEC 14443 Typ A: On-Off keying), FSK- (z. B. ISO/IEC 15693: Umtastung zwischen den beiden Hilfsträgerfrequenzen 424 kHz und 485 kHz) oder PSK-Modulation (z. B. ISO/IEC 14443 Typ B: 2-PSK oder BPSK) eingesetzt.

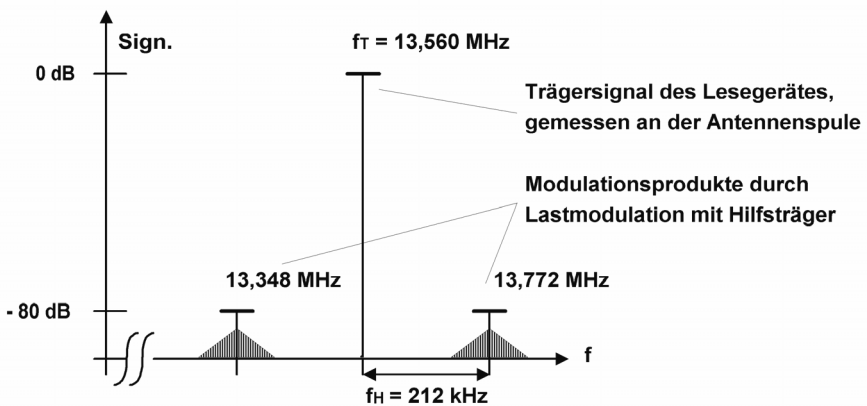


Abb. 3.17 Durch Lastmodulation mit Hilfsträger entstehen zwei Seitenbänder im Abstand der Hilfsträgerfrequenz  $f_H$  um die Sendefrequenz des Lesegeräts. Die eigentliche Information steckt in den Seitenbändern der beiden Hilfsträgerseitenbänder, welche durch die Modulation des Hilfsträgers selbst entstehen.

Durch Lastmodulation mit Hilfsträger entstehen an der Antenne des Lesegeräts zwei Modulationsseitenbänder im Abstand der Hilfsträgerfrequenz um die Arbeitsfrequenz  $f_{\text{LESER}}$ . Diese Modulationsseitenbänder können durch eine Bandpassfilterung auf einer der beiden Frequenzen  $f_{\text{LESER}} \pm f_H$  vom wesentlich stärkeren Signal des Lesegeräts getrennt werden.

Nach anschließender Verstärkung ist das Hilfsträgersignal dann sehr einfach zu demodulieren.

Lastmodulation mit Hilfsträger wird fast ausschließlich im Frequenzbereich 13,56 MHz eingesetzt. Typische Hilfsträgerfrequenzen sind 212 kHz, 424 kHz (z.B. ISO/IEC 15693) und 848 kHz (z.B. ISO/IEC 14443).

### 3.2.1.2.3 Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger

Ein Beispiel für die schaltungstechnische Realisierung eines Transponders mit Lastmodulation mit Hilfsträger ist in Abbildung 3.18 gezeigt. Die Schaltung ist für eine Arbeitsfrequenz von 13,56 MHz ausgelegt und erzeugt einen Hilfsträger von 106 kHz.

Die an der Antennenspule  $L_1$  durch das magnetische Wechselfeld des Lesegeräts induzierte Spannung wird mit dem Brückengleichrichter ( $D_1 \dots D_4$ ) gleichgerichtet und steht nach zusätzlicher Glättung ( $C_1$ ) der Schaltung als Versorgungsspannung zur Verfügung. Mit dem Parallelregler (ZD 5V6) wird das unbegrenzte Ansteigen der Versorgungsspannung bei Annäherung des Transponders an die Leserantenne verhindert.

Über den Vorwiderstand ( $R_1$ ) gelangt ein Teil der hochfrequenten Antennenspannung (13,56 MHz) an den Takteingang (CLK) des Frequenzteilers (IC1) und dient dem Transponder als Basis zur Erzeugung eines internen Taktsignals. Nach einer Teilung durch  $2^7 (=128)$  steht an Ausgang Q7 ein Hilfsträger-Taktsignal von 106 kHz zur Verfügung. Das Hilfsträger-Taktsignal wird, gesteuert durch einen seriellen Datenfluss am Dateneingang (DATA), auf den Schalter ( $T_1$ ) gegeben. Liegt am Dateneingang (DATA) ein logisches HIGH-Signal, so wird das Hilfsträger-Taktsignal auf den Schalter ( $T_1$ ) gegeben. Der Lastwiderstand ( $R_2$ ) wird dann im Takt der Hilfsträgerfrequenz an- und abgeschaltet.

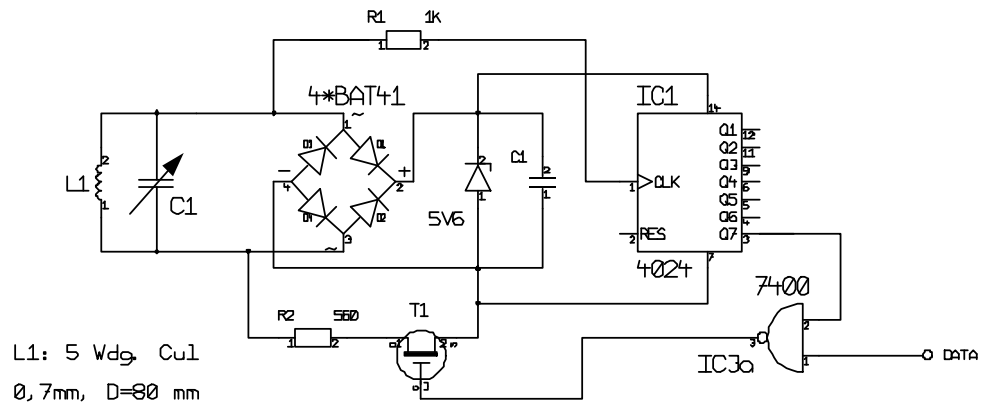


Abb. 3.18 Schaltungsbeispiel für die Erzeugung einer Lastmodulation mit Hilfsträger in einem induktiv gekoppelten Transponder.

Durch die Beschaltung des UND-Gatters (IC3) mit einem beliebigen anderen Ausgang (Q1 .. Q6) des Teilers kann auch eine höhere Hilfsträgerfrequenz (Q6: 212 kHz, Q5: 484 kHz, Q4: 848 kHz, .. Q2: 6,78 MHz) gewählt werden.

Optional lässt sich bei der abgebildeten Schaltung der Transponderschwingkreis mit der Kapazität  $C_1$  auf 13,56 MHz in Resonanz bringen. Die Reichweite dieses „Minimaltransponders“ kann damit deutlich vergrößert werden.

### 3.2.1.2.4 Aktive Lastmodulation

Die begrenzenden Faktoren eines induktiv gekoppelten RFID-Systems hinsichtlich der *Kommunikationsreichweite* liegen einerseits in der *Energierreichweite* des Lesegeräts, also der Fähigkeit, einen Transponder im Leseabstand mit ausreichend Energie zum Betrieb zu versorgen, sowie andererseits in der Fähigkeit, Daten per Lastmodulation vom Transponder an das Lesegerät zurückzusenden. In beiden Fällen wird eine ausreichend große magnetische Gegenkopplung (mutual magnetic coupling  $M$ ) zwischen der Antenne des Lesegeräts und der Antenne des Transponders benötigt.

Die physikalischen Parameter eines induktiv gekoppelten RFID-Systems sind zum Beispiel in *ISO/IEC 14443* so definiert, dass sich bei hohen Bitraten (106 .. 868 kBit/s), hohem Energieverbrauch des Transponderchips (Mikroprozessor mit Smart Card-Betriebssystem) und der Chipkarten-Bauform ID1 eine typische Lesereichweite von 10 cm oder weniger ergibt.

Werden an Stelle der Chipkarten-Bauform ID1 sehr kleine Transponder mit Antennen im Formfaktor einer *SIM-Karte* oder einer *micro-SD Karte* eingesetzt, so sinkt die magnetische Gegenkopplung, und damit die erreichbare Lesereichweite drastisch ab. Soll ein solch kleiner Transponder beispielsweise in ein Mobiltelefon oder in ein PDA eingesetzt werden, um diese mit einem kontaktlosen Interface auszustatten, so führt die kleine Lesereichweite von evtl. nur wenigen Zentimetern schnell zu einem Problem, insbesondere wenn der Transponder bei zusätzlich auftretender Abschirmung (z.B. durch den Akku) schließlich nicht mehr in der Lage ist, die Reichweite zu einem außerhalb befindlichen Lesegerät zu überbrücken.

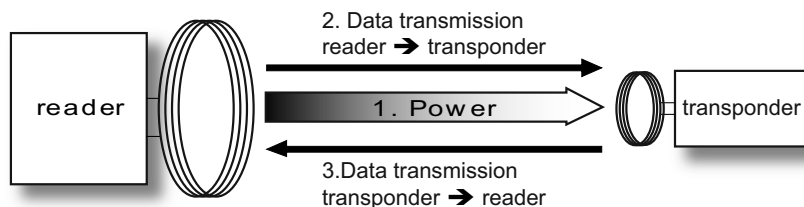


Abb. 3.19 Die die Kommunikationsreichweite begrenzenden Faktoren eines passiven, induktiv gekoppelten RFID-Systems.

Um auch mit Transpondern mit sehr kleiner Antennengeometrie akzeptable Lesereichweiten zu erzielen, müssen die eben beschriebenen begrenzenden Faktoren beseitigt werden. Im Falle der *Energierreichweite* ist das Problem einer zu geringen magnetischen Gegenkopplung einfach zu lösen. Hierzu ist es lediglich notwendig, den Transponder aus einer lokalen Energiequelle (Batterie) mit Strom zu versorgen. Wird der Transponder in der Bauform einer *SIM-Karte* oder einer *micro-SD Karte* in einem Mobiltelefon betrieben, so kann die Energie über einen Anschlusspin direkt im Mobiltelefon zur Verfügung gestellt werden.



Um einen passiven Transponderchip mit Energie zu versorgen, müsste eine Spannung von wenigstens 3 V in der Transponderantenne induziert werden. Bei einem *batteriegestützten Transponder* hingegen wird die in der Antenne induzierte Spannung nicht mehr zur Energieversorgung des Transponderchips verwendet, sondern nur noch dazu, Daten und Kommandos vom Lesegerät zu übertragen. Hierzu reicht aber bereits eine Spannung mit erheblich geringerem Pegel von wenigstens einigen mV aus, da diese einfach verstärkt werden kann. Auf diese Weise kann das Signal des Lesegeräts auch mit kleinsten Transponderantennen und Metallabschirmung auf deutlich größere Entfernung detektiert werden.

Etwas komplexer ist die Optimierung der Datenübertragung vom Transponder zurück zu einem Lesegerät. Die üblicherweise verwendete (passive) Lastmodulation scheidet auch bei einem Transponder mit externer Energieversorgung (aktiver Transponder) aus, da sich ohne eine Verbesserung der magnetischen Kopplung nur eine unwesentliche Verbesserung gegenüber einem passiven (batterielosen) Transponder ergibt. Eine Vergrößerung der magnetischen Kopplung ist aber nur durch die Verringerung des Abstands zwischen den Antennen oder durch eine Vergrößerung der Antennenfläche des Transponders möglich.

Eine Alternative besteht darin, auf anderem Wege ein Signal zu erzeugen, welches im Frequenzspektrum dem Signal einer *passiven Lastmodulation* gleicht, und dieses aktiv (d.h. unter Aufwendung von eigener Energie) an das Lesegerät zu senden. Ein solches Verfahren wird als *aktive Lastmodulation* (active load modulation) bezeichnet. Betrachten wir das durch eine (passive) Lastmodulation an der Antenne des Lesegeräts auftretende Frequenzspektrum, so sind zum Beispiel bei ISO/IEC 14443 neben dem Trägersignal (13,56 MHz) im Abstand der *Hilfsträgerfrequenz* (848 kHz) zwei weitere Spektrallinien (14,408 MHz und 12,712 MHz) zu erkennen, um die sich jeweils zwei Modulationsseitenbänder ausbilden. Die Nutzdaten sind dabei ausschließlich in den Modulationsseitenbändern um die Hilfsträgerlinien enthalten.

Um Daten von einem aktiven Transponder an ein Lesegerät zu senden, würde es ausreichen, die beiden Hilfsträger-Spektrallinien mit den datentragenden Seitenbändern zu erzeugen und an ein Lesegerät zu senden. Das Trägersignal muss dabei nicht übertragen werden; dieses wird vom Lesegerät ohnehin permanent ausgesendet. Ein solches Signal wird als *Zweiseitenband-* oder „*Dual-Side-Band*“ (DSB)-Modulation bezeichnet.

Eine Grundschialtung der Nachrichtentechnik, mit der eine solche DSB-Modulation erzeugt werden kann, ist der *Ringmodulator*. Der Ringmodulator wird mit einer Referenzfrequenz  $f_c = 13,56$  MHz und dem modulierten Hilfsträger gespeist. Das Ausgangssignal des Ringmodulators ist dann bereits das benötigte DSB-Signal. Dieses wird in einem Verstärker im Pegel angehoben und über die Antenne abgestrahlt.

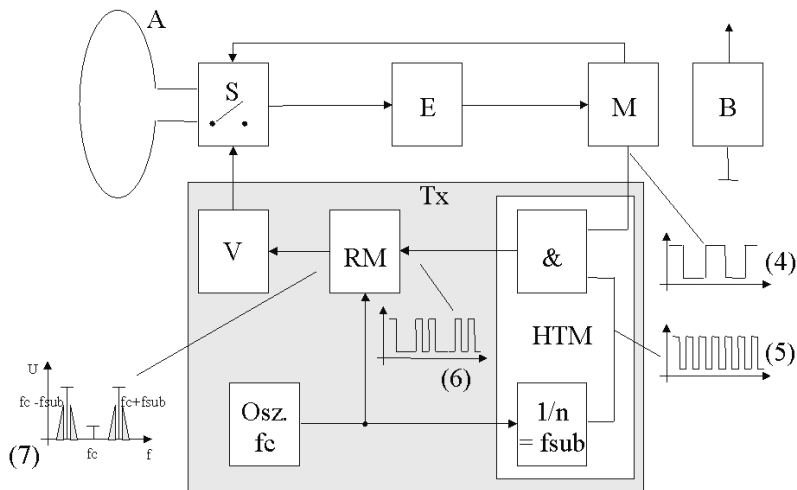


Abb. 3.20 Blockschaltbild eines Transponders mit aktiver Lastmodulation (RM: Ringmodulator, HTM: modulierter Hilfsträger, V: Verstärker, M: Microcontroller, E: Empfangsverstärker, B: Energieversorgung (Batterie)).

Da es sich bei den in einem Transponderchip verfügbaren Signalen nicht um analoge, sondern um binäre Signale handelt, können die benötigten Modulationsseitenbänder noch wesentlich einfacher durch eine Amplitudenmodulation erzeugt werden. Eine Amplitudenmodulation entsteht bei analogen Signalen wie bekannt durch die Multiplikation zweier Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz:

$$U_{\text{mod}} = U_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot U_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) \quad [3.1]$$

Eine Multiplikation von Binärsignalen, also eine (2-)ASK-Modulation kann durch eine einfache UND-Verknüpfung realisiert werden.

Der passive Lastmodulator am Beispiel eines ISO/IEC 14443 Typ A-Transponders wird mit einem durch einen Manchestercode modulierten Hilfsträgersignal angesteuert. Diese Ansteuerung führt beim aktiven Transponder mit ASK-Modulator zu einem Signal, welches aus jeweils vier Träger-Bursts pro Bit besteht und genau die gewünschten Modulationsseitenbänder erzeugt, wie sie in Abbildung 3.17 dargestellt sind. Lediglich der 13,56 MHz-Träger kann durch die ASK-Modulation nicht unterdrückt werden, was aber die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät nicht weiter beeinflusst.

Der Einfluss der Antennengröße eines aktiven Transponders auf die Lesereichweite wurde in [fink-0211] empirisch ermittelt. Die Messungen wurden dabei mit einem handelsüblichen Lesegerät nach ISO/IEC 14443 durchgeführt.

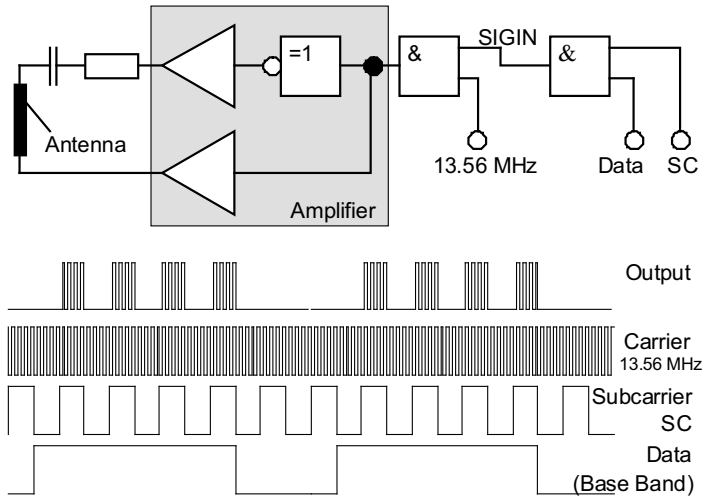


Abb. 3.21 Erzeugung einer aktiven Lastmodulation für ISO/IEC 14443 Typ A.

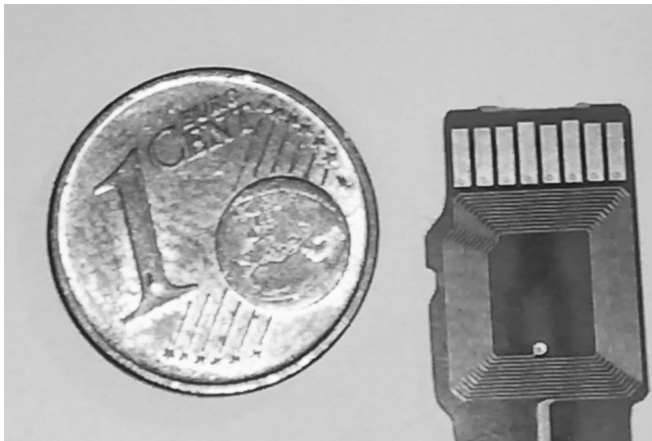


Abb. 3.22 Größenvergleich zwischen einer Transponderantenne in micro-SD Bauform und einer 1 Cent Euro-Münze.

Eine typische passive kontaktlose Chipkarte im ID1 Format kann hier mit dem exemplarisch verwendeten Lesegerät über eine Entfernung von etwa 7 cm ausgelesen werden. Ein NFC-fähiges Mobiltelefon wurde in der NFC-Betriebsart „card emulation“ über eine Entfernung von etwa 4 cm ausgelesen. Wird die Antennenfläche des Transponders auf 130 mm<sup>2</sup>, was der typischen Fläche einer micro-SD-Karte entspricht, verkleinert, so sinkt die Lesereichweite eines passiven Transponders auf unter einen Zentimeter. Der Transponder muss auf das Lesegerät gelegt werden, und kann unter Umständen gar nicht mehr gelesen werden. Wird solch ein kleiner Transponder in einem Gerät verbaut, zum Beispiel einem Mobiltelefon, so wird durch die zusätzliche Metallabschirmung ein Auslesen fast unmöglich gemacht. Unter Verwendung aktiver Lastmodulation ist es hingegen möglich, den kleinen Transponder auf

eine Entfernung von sogar 10 cm auszulesen – weit mehr, als die Lesereichweite einer passiven kontaktlosen Chipkarte im ID1-Format auf demselben Lesegerät. Selbst im eingebauten Zustand in einem Mobiltelefon können noch einige Zentimeter Lesereichweite erreicht werden. Aktive Lastmodulation eignet sich daher vor allem für sehr kleine Transponder in Form von Speicherkarten, Schlüsselanhängern oder ähnlichen Bauformen, bei denen die Energieversorgung des Transponders durch eine Batterie sichergestellt werden kann [fink-0211], [fink-0411].

### 3.2.1.2.5 Subharmonische Verfahren

Unter der Subharmonischen einer sinusförmigen Spannung A mit definierter Frequenz  $f_A$  versteht man eine sinusförmige Spannung B, deren Frequenz  $f_B$  durch ganzzahlige Teilung aus der Frequenz  $f_A$  abgeleitet ist. Die Subharmonischen der Frequenz  $f_A$  sind also die Frequenzen  $f_A/2$ ,  $f_A/3$ ,  $f_A/4$  ...

Bei den subharmonischen Übertragungsverfahren erhält man aus der im Transponder abgegriffenen Leser-Sendefrequenz  $f_A$  durch digitale Teilung eine zweite, meist um den Faktor zwei niedrigere Frequenz  $f_B$ . Zur Datenübertragung an das Lesegerät wird das Ausgangssignal  $f_B$  des Teilers mit dem Datenstrom des Transponders moduliert. Hierbei kann eine *ASK* (On-Off-Keying im Takt der Daten) oder eine *BPSK-Modulation* (Umschaltung zwischen  $f_B$  und einem invertierten Signal  $\bar{f}_B$  im Takt der Daten) zum Einsatz kommen. Über einen Ausgangstreiber wird das modulierte Signal dann wieder in die Antenne des Transponders eingespeist.

Eine häufig verwendete Arbeitsfrequenz für subharmonische Systeme ist 128 kHz. Hieraus ergibt sich eine Transponder-Antwortfrequenz von 64 kHz.

Die Antenne der Transponder besteht aus einer Spule mit Mittenanzapfung, wobei an einem Ende die Spannungsversorgung abgegriffen wird. Am zweiten Anschluss der Spule wird das Rücksignal des Transponders eingespeist.

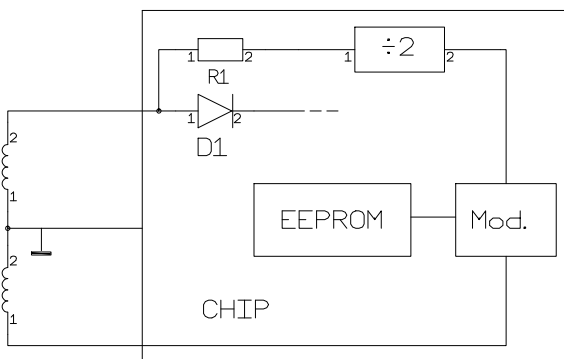


Abb. 3.23 Prinzipschaltung eines Transponders mit subharmonischer Rückfrequenz. Das empfangene Takt-Signal wird durch zwei geteilt, mit den Daten moduliert und in eine Anzapfung der Transponder-Spule eingespeist.

## 3.2.2 Elektromagnetische Backscatter-Kopplung

### 3.2.2.1 Energieversorgung der Transponder

RFID-Systeme, die deutlich mehr als 1 m zwischen Lesegerät und Transponder überbrücken, werden als *Long-range-Systeme* bezeichnet. Diese werden auf den *UHF-Frequenzen* 868 MHz (Europa) und 915 MHz (USA) sowie auf den *Mikrowellenfrequenzen* 2,5 GHz und 5,8 GHz betrieben. Die kurzen Wellenlängen dieser Frequenzbereiche ermöglichen die Konstruktion von Antennen mit weitaus kleineren Abmessungen und besserem Wirkungsgrad, als dies auf Frequenzbereichen unter 30 MHz möglich wäre.

Um die zum Betrieb eines Transponders verfügbare Energie abschätzen zu können, berechnen wir zunächst die *Freiraumdämpfung*  $a_F$  in Abhängigkeit der Entfernung  $r$  zwischen dem Transponder und der Antenne des Lesegeräts, dem Gewinn  $G_T$  und  $G_R$  der Transponder- und Leserantenne sowie der Sendefrequenz  $f$  des Lesegeräts:

$$a_F = -147,6 + 20\log(r) + 20\log(f) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R) \quad [3.2]$$

*Tabelle 3.6:* Freiraumdämpfung  $a_F$  bei unterschiedlichen Frequenzen und Entfernungen. Als Gewinn der Transponderantenne wurde 1,64 (Dipol), als Gewinn der Leserantenne 1 (isotroper Strahler) angenommen.

Abstand $r$	868 MHz	915 MHz	2,45 GHz
0,3 m	18,6 dB	19,0 dB	27,6 dB
1 m	29,0 dB	29,5 dB	38,0 dB
3 m	38,6 dB	39,0 dB	47,6 dB
10 m	49,0 dB	49,5 dB	58,0 dB

Die Freiraumdämpfung ist ein Maß für das Verhältnis zwischen der von einem Lesegerät in den „freien Raum“ ausgesendeten und der vom Transponder empfangenen HF-Leistung.

Im folgenden Beispiel nehmen wir eine Leistungsaufnahme des Transponderchips von  $5 \mu\text{W}$  an [friedrich], auch wenn sich mit heutiger Low-power-Halbleitertechnologie kleinere Werte realisieren lassen. Der Wirkungsgrad eines integrierten Gleichrichters kann im UHF- und Mikrowellenbereich mit 5 ... 25% angenommen werden [tanneberger]. Bei einem Wirkungsgrad von 10% benötigen wir damit zum Betrieb des Transponderchips eine Empfangsleistung von  $P_e = 50 \mu\text{W}$  am Anschluss der Transponderantenne. Dies bedeutet, dass bei einer Strahlungsleistung des Lesegeräts von  $P_s = 0,5 \text{ W}$  EIRP die Freiraumdämpfung einen Wert von 40 dB ( $P_s/P_e = 10000/1$ ) nicht überschreiten darf, um an der Transponderantenne noch eine ausreichend große Leistung zum Betrieb des Transponders zu erhalten. Ein Blick auf Tabelle 3.6 zeigt, dass damit bei einer Sendefrequenz von 868 MHz immerhin eine *Reichweite* (Energierreichweite) von etwas über 3 m realisierbar wäre, bei 2,45 GHz könnte immerhin noch etwas über 1 m erreicht werden. Mit den heute in Europa für 868 MHz zugelassenen 2 W ERP (dies entspricht 3,28 W EIRP) wäre entsprechend der (gegenüber

0,5 W EIRP) um 8,16 dB höheren Sendeleistung eine maximale Freiraumdämpfung von 48,16 dB zulässig. Damit ließe sich mit den im Beispiel angenommenen Werten eine Energierreichweite von sogar 9 m erzielen. Bei einer größeren Leistungsaufnahme des Transponderchips würde sich die erzielbare Reichweite wieder entsprechend reduzieren. Entscheidend für den Betrieb des Transponderchips ist neben einer ausreichenden Empfangsleistung  $P_e$  allerdings auch, dass nach Impedanzanpassung zwischen Antenne und Transponderchip eine ausreichend große Spannung  $U_e$  am Gleichrichter und Spannungsvervielfacher des Transponderchips anliegt, um daraus eine für den Chip ausreichend hohe Versorgungsspannung erzeugen zu können. Nach dem Ohmschen Gesetz ( $U_e = \sqrt{P_e \cdot |Z_e|}$ ) ist dabei eine möglichst hochohmige Eingangsimpedanz des Transponderchips und damit auch der Ausgangsimpedanz der Antennen bzw. des Anpassnetzwerkes erstrebenswert.

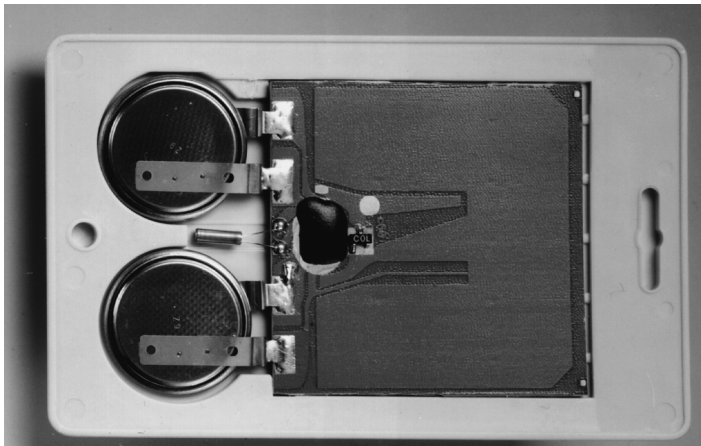


Abb. 3.24 Aktiver Transponder für den Frequenzbereich 2,45 GHz. Der Datenträger wird durch zwei *Lithiumbatterien* mit Energie versorgt. Die Mikrowellen-Antenne des Transponders ist als u-förmige Fläche auf der Leiterkarte zu erkennen. (Photo: Pepperl & Fuchs, Mannheim)

Um große Reichweiten bis zu 15 m zu erreichen oder aber auch Transponderchips mit einer größeren Leistungsaufnahme noch mit einer akzeptablen Reichweite betreiben zu können, verfügen Backscatter-Transponder häufig über eine Stützbatterie zur Energieversorgung des Transponderchips. Um die Batterie nicht unnötig zu belasten, verfügen die Mikrochips in der Regel über einen stromsparenden „power-down“- bzw. „stand-by“-Modus. Verlässt der Transponder das Feld eines Lesegeräts, so schaltet der Chip automatisch in den stromsparenden „power-down“-Mode. Die Stromaufnahme beträgt dann maximal noch einige  $\mu\text{A}$ . Erst durch ein ausreichend starkes Signal in Lesereichweite eines Lesegeräts wird der Chip erneut aktiv und nimmt den normalen Betrieb wieder auf. Die Batterie aktiver Transponder stellt jedoch in keinem Falle Energie zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät zur Verfügung, sondern dient ausschließlich der Versorgung des Mikrochips. Zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät wird ausschließlich die Energie des elektromagnetischen Feldes eingesetzt, welches vom Lesegerät ausgesendet wird.

### 3.2.2.2 Datenübertragung Transponder > Leser: Modulierter Rückstrahlquerschnitt

Aus der *RADAR-Technik* ist bekannt, dass elektromagnetische Wellen von Materie, deren Ausdehnung größer als etwa die halbe Wellenlänge der Welle ist, reflektiert werden. Die Wirksamkeit, mit der ein Objekt elektromagnetische Wellen reflektiert, wird durch dessen *Rückstrahlquerschnitt* beschrieben. Einen besonders großen Rückstrahlquerschnitt weisen Objekte auf, die zu der eintreffenden Wellenfront in Resonanz sind, wie dies zum Beispiel bei Antennen für die jeweilige Frequenz der Fall ist.

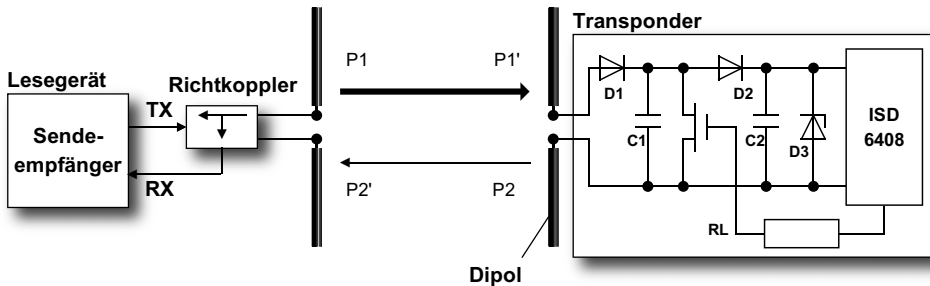


Abb. 3.25 Funktionsweise eines Backscatter-Transponders. Durch Umschalten des FET auf dem Chip wird die Impedanz des Chips „moduliert“ [isd].

Von der Antenne des Lesegeräts wird eine Leistung  $P_1$  abgestrahlt, wovon ein geringer Teil (Freiraumdämpfung) die Antenne des Transponders erreicht. Die am Transponder ankommende Leistung  $P_1'$  steht als HF-Spannung an den Anschlüssen der Antenne zur Verfügung und kann nach Gleichrichtung durch die Dioden  $D_1$  und  $D_2$  als Schaltspannung zur De-/Aktivierung des stromsparenden „power-down“-Modus verwendet werden. Als Dioden werden hier *low-barrier-Schottky-Dioden* verwendet, welche eine besonders niedrige Schwellenspannung aufweisen. Für kurze Reichweiten kann die gewonnene Spannung auch zur Energieversorgung ausreichend sein.

Ein Teil der ankommenden Leistung  $P_1'$  wird von der Antenne reflektiert und als Leistung  $P_2$  zurückgesendet. Die *Reflexionseigenschaften* (= Rückstrahlquerschnitt) der Antenne können durch Ändern der an die Antenne angeschlossenen Last beeinflusst werden. Um Daten vom Transponder zum Lesegerät zu übertragen, wird ein der Antenne parallelgeschalteter zusätzlicher Lastwiderstand  $R_L$  im Takte des zu übertragenden Datenstroms ein- und ausgeschaltet. Die vom Transponder reflektierte (= rückgestrahlte) Leistung  $P_2$  kann so in ihrer Amplitude moduliert werden ( $\rightarrow$  modulierter Rückstrahlquerschnitt, engl. *modulated backscatter*).

Die vom Transponder reflektierte Leistung  $P_2$  wird in den freien Raum abgestrahlt. Ein geringer Teil davon (Freiraumdämpfung) wird von der Antenne des Lesegeräts aufgenommen. Das reflektierte Signal läuft daher in der Antennenleitung des Lesegeräts in „Rückwärtsrichtung“ und kann unter Verwendung eines *Richtkopplers* ausgekoppelt und auf den Empfängereingang eines Lesegeräts geführt werden. Das um Zehnerpotenzen stär-

kere „vorwärtslaufende“ Signal des Senders wird durch den Richtkoppler dabei weitestgehend unterdrückt.

Das Verhältnis zwischen der vom Lesegerät ausgesendeten und der vom Transponder zurückkommenden Leistung ( $P_1/P_2'$ ) kann anhand der Radargleichung abgeschätzt werden (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.5.4 „Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt“, S. 147).

### 3.2.3 Close coupling

#### 3.2.3.1 Energieversorgung der Transponder

*Close-coupling-Systeme* sind für Reichweiten von 0,1 cm bis maximal 1 cm konzipiert. Die Transponder werden deshalb zum Betrieb in ein Lesegerät eingesteckt oder auf eine markierte Oberfläche gebracht („*touch & go*“).

Das Einstecken oder Auflegen des Transponders in/auf das Lesegerät ermöglicht die gezielte Platzierung der Transponderspule im *Luftspalt* eines Ringkerns oder U-Kerns. Die funktionelle Anordnung von Transponderspule und Leserspule entspricht dann der eines Transformators. Es entspricht hierbei die Leserspule der Primärwicklung und die Transponderspule der Sekundärwicklung eines Transformators. Durch einen hochfrequenten Wechselstrom in der Primärwicklung wird ein hochfrequentes magnetisches Feld in Kern und Luftspalt der Anordnung erzeugt, das auch die Transponderspule durchströmt. Dadurch wird eine Wechselspannung gleicher Frequenz in der Transponderspule induziert. Durch Gleichrichtung dieser Spannung kann eine Versorgungsspannung für den Chip erzeugt werden.

Da die in der Transponderspule induzierte Spannung  $U$  proportional zur Frequenz  $f$  des Erregerstromes ist, wird zur Energieübertragung eine möglichst hohe Frequenz gewählt. In der Praxis kommen dabei Frequenzen im Bereich von 1 ... 10 MHz zum Einsatz. Um die Verluste im Kern des Transformators gering zu halten, muss bei diesen Frequenzen geeignetes Ferritmaterial als Kernmaterial verwendet werden.

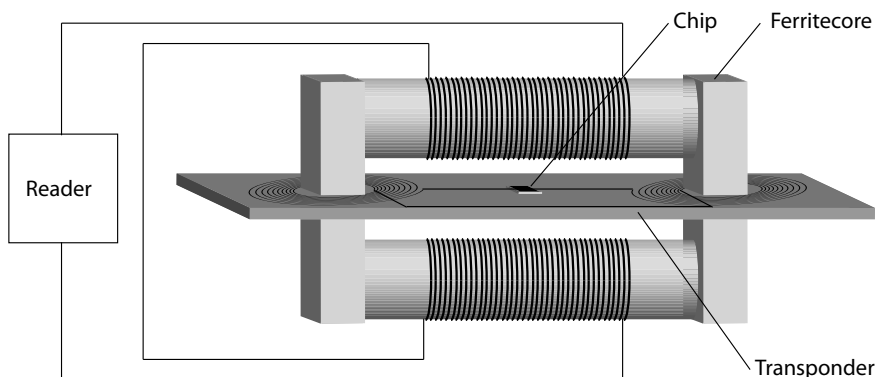


Abb. 3.26 Close coupling Transponder in einem Einsteckleser mit magnetischen Koppelspulen.

Aufgrund des im Gegensatz zu induktiv gekoppelten oder Mikrowellen-Systemen sehr guten Wirkungsgrads der Leistungsübertragung vom Lesegerät zum Transponder eignen sich Clo-



se-coupling-Systeme außerordentlich gut für den Betrieb von Chips mit hohem Energiebedarf. Anfang der 90er-Jahre wurden *Close-coupling-Systeme* für kontaktlose Chipkarten mit Mikroprozessor und Chipkarten-Betriebssystem (Smart Card OS) eingesetzt. Die mechanischen und elektrischen Parameter kontaktloser *Close-coupling-Chipkarten* wurden hierzu in einer eigenen Norm, der *ISO/IEC 10536*, spezifiziert. Für den Energieverbrauch der Mikroprozessoren mussten nach dem damaligen Stand der Technik einige 10 mW Leistung bereitgestellt werden [sickert]. Ab Mitte der 90er-Jahre wurden die Close-Coupling-Chipkarten allerdings zunehmend durch induktiv gekoppelte Proximity-Karten (ISO/IEC 14443) verdrängt. Seitdem Ende der 90er-Jahre Proximity-Karten auch mit Mikroprozessor verfügbar wurden, haben Close-coupling-Karten ihre Bedeutung jedoch gänzlich verloren und werden daher heute für neue Anwendungen nicht mehr eingesetzt.

### 3.2.3.2 Datenübertragung Transponder > Leser

Zur magnetisch gekoppelten Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät wird auch bei Close-coupling-Systemen Lastmodulation mit Hilfsträger verwendet. Für Close-coupling-Chipkarten sind Hilfsträgerfrequenz und -modulation in ISO/IEC 10536 festgelegt.

Aufgrund der geringen Entfernung zwischen Lesegerät und Transponder kann bei den Close-coupling-Systemen auch *kapazitive Kopplung* zur Datenübertragung verwendet werden. Hierbei werden Plattenkondensatoren aus zueinander isolierten Koppelflächen gebildet, die im Transponder und Lesegerät so angeordnet werden, dass sie bei einem eingesteckten Transponder genau parallel zueinander platziert sind.

Auch dieses Verfahren findet bei Close-coupling-Chipkarten Verwendung. Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften dieser Karten sind in *ISO/IEC 10536* definiert.

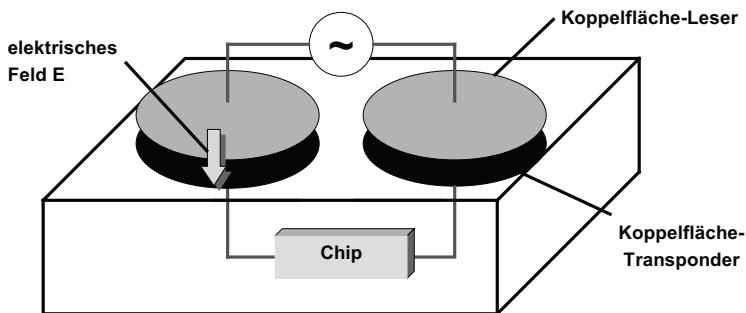


Abb. 3.27 Die kapazitive Kopplung bei Close-coupling-Systemen erfolgt zwischen zwei parallelen, in geringem Abstand zueinander angeordneten Metallflächen.

### 3.2.3.3 Close-Coupling-Chipkarten

Die vor allem in den 90er-Jahren eingesetzten Close-coupling-Chipkarten wurden mittlerweile vollständig von anderen Systemen verdrängt. Die in ISO/IEC 10536 spezifizierten Ei-

genschaften sind aber zumindest aus technischer und technikhistorischer Sicht interessant, weshalb sie hier kurz vorgestellt werden sollen.

Bei den Close-coupling-Chipkarten kamen sowohl *induktive* (H1 ... 4) als auch *kapazitive Koppelemente* (E1 ... 4) zum Einsatz. Die Anordnung der Koppelemente wurde so gewählt, dass eine Close-coupling-Chipkarte in einem Einsteckleser in allen vier Lagen betrieben werden konnte.

Die Energieversorgung der Close-coupling-Chipkarte erfolgt über die vier induktiven Koppelemente H1 ... H4. Das induktive Wechselfeld soll eine Frequenz von 4,9152 MHz aufweisen. Die Koppelemente H1, H2 werden als Spulen, jedoch mit umgekehrtem Wickelsinn ausgeführt, sodass bei gleichzeitiger Speisung der Koppelemente eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  zwischen den dazugehörigen magnetischen Feldern F1 und F2 bestehen muss (z. B. durch U-Kern im Lesegerät). Analoges gilt für die Koppelemente H3 und H4.

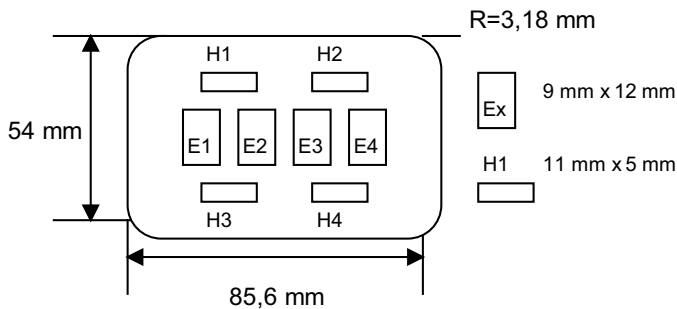


Abb. 3.28 Lage der kapazitiven (E1 – E4) und induktiven Koppelemente (H1 – H4) einer Close-coupling-Chipkarte.



Abb. 3.29 Halb geöffnetes Lesegerät für Close-coupling-Chipkarten nach ISO/IEC 10536. In der Mitte des Einsteckschlitzes sind vier kapazitive Koppelflächen zu erkennen, umgeben von vier induktiven Koppelementen (Spulen). (Foto: Denso Corporation, Japan – Aichi-ken)

Die Lesegeräte müssen so ausgelegt sein, dass mit jedem der magnetischen Felder F1 ... F4 eine Leistung von 150 mW an die kontaktlose Karte abgegeben werden kann. Über alle vier Felder zusammen dürfen von der Karte jedoch nicht mehr als 200 mW aufgenommen werden.

Table 3.7: Einstecklage 1 (Zustand A: ungetastet, Zustand A': getastet).

A	A'
$\Phi F$	$1 \Phi' F1 = \Phi F1 - 90^\circ$
$\Phi F3 = \Phi F1 + 90^\circ$	$\Phi' F3 = \Phi F3 + 90^\circ$

Table 3.8: Einstecklage 2 (Zustand A: ungetastet, Zustand A': getastet).

A	A'
F1	$\Phi' F1 = \Phi F1 + 90^\circ$
$\Phi F3 = \Phi F1 - 90^\circ$	$\Phi' F3 = \Phi F3 - 90^\circ$

Zur Datenübertragung zwischen Karte und Lesegerät können wahlweise die induktiven oder kapazitiven Koppellemente verwendet werden. Während einer laufenden Kommunikation darf jedoch nicht mehr zwischen den Kopplungsarten gewechselt werden.

*Induktiv:* Zur Übertragung von Daten über die Koppelfelder H1 ... H4 wird hier *Lastmodulation* mit *Hilfsträger* eingesetzt. Die *Hilfsträgerfrequenz* beträgt 307,2 kHz, die Modulation des Hilfsträgers erfolgt mit 180° PSK. Das Lesegerät ist so auszulegen, dass ein Lastwechsel von 10% der Grundlast an mindestens einem der Felder F1 ... F4 als Lastmodulationssignal erkannt werden kann. Der minimale Lastwechsel einer Karte ist mit 1 mW spezifiziert.

*Kapazitiv:* Hierzu werden paarweise die Koppelfelder E1, E2 oder E3, E4 eingesetzt. In beiden Fällen werden die paarweisen Koppelfelder durch ein Differenzsignal angesteuert. Die Spannungsdifferenz  $U_{\text{diff}} = U_{E1} - U_{E2}$  soll so bemessen werden, dass an den Koppelflächen E1' und E2' des Lesegeräts ein Spannungspegel von mindestens 0,33 V zur Verfügung steht. Die Datenübertragung erfolgt durch *NRZ-Codierung* im Basisband (d. h. ohne Hilfsträger). Die Datenrate nach Reset beträgt 9600 bit/s; während des Betriebs kann jedoch auf eine höhere Datenrate umgeschaltet werden.

Zur Datenübertragung in Richtung Karte wird durch die Norm der induktive Kanal präferiert. Als Modulationsverfahren wird eine 90° PSK der Felder F1 ... F4 eingesetzt, wobei die Phasenlage aller Felder synchron umgetastet wird. Je nach Lage der Karte im Einsteckleser sind bei Modulation folgende Phasenbeziehungen zwischen den Koppelfeldern möglich.

Die Datenübertragung erfolgt durch NRZ-Codierung im Basisband (d. h. ohne Hilfsträger). Die Datenrate nach Reset beträgt 9600 bit/s; während des Betriebs kann jedoch auf eine höhere Datenrate umgeschaltet werden.

## 16 Register

- 1999/5/EG 207, 209  
 1-bit-Transponder 34  
 2-FSK 226  
 2-FSK-Modulation 71  
 4-Kanalplan 437
- A/D-Wandler 512  
 Abfallentsorgung 719  
 Abfrageimpuls 177  
 Abhören 278  
 Abhörreichweite 297  
 Abschertest 632  
 Abschirmen des Transponders 276  
 Absorberfolie 646  
 Absorberkammer 585  
 Absorptionsrate 30, 196  
 Abtastpuls 71  
 Access Kommandos 444  
 Access-Register 469, 477  
 ACK Kommando 444  
 Acquirer 668  
 Activation Energy 585, 589, 594  
 Activation Sensitivity 585  
 AddRoundKey 324  
 Administration-Code 475  
 Adresslogik 465  
 Advanced Encryption Standard 321  
 Advanced Mode 342  
 Advanced Transponder 341  
 AES 321  
 AFC 656  
 AFI 455  
 AIM 741  
 Aktivator 34  
 aktive Lastmodulation 54, 305  
 aktiver Transponder 15, 25, 95, 305  
 Aktivierungsenergie 585, 589  
 Aktivierungsfeld 338  
 Akustomagnetisches Sicherungssystem 44  
 Ali Baba 315  
 ALLFA-Ticket 665
- Allocation Code 703  
 ALOHA-Verfahren 255, 257  
 Alufolie 276  
 American Express 670  
 amorphes Metall 40, 43, 135  
 Amplitude 219  
 Amplitudenmodulation 117, 222  
 Anechoic Chamber 585  
 Angreifer 497  
 Angriff 31  
 Angriffsversuch 315  
 Anharmonische 45  
 Animal Identification 337  
 anisotroper Klebstoff 620  
 Anpassschaltung 542  
 Anpassung 166
  - Leistung 68
  - Spannung 69
  - Strom 69
- Ansprechbereich 102, 156  
 Ansprechfeldstärke 82, 97, 168, 565  
 Antenne 144
  - Dipol 71, 637
  - Draht 615
  - E-Feld 637
    - geätzt 615
    - gedruckt 615
  - H-Feld 637
    - Schleifenantenne 637
- Antennengewinn 302  
 Antennengruppe 303  
 Antennengüte 643, 650  
 Antennenradius 81  
 Antennenspule 540  
 Antennenstrom 104  
 Anticollision Frame 367  
 Antikollisionsalgorithmus 119, 310, 529  
 Antikollisionsverfahren 29, 252  
 Antwortpuls, Phasenlage 178, 515  
 Anzugsbolzen 402, 723  
 APDU 491  
 aperture, scatter~ 143  
 Application Code (MAD) 474

- Applikation 474
- Applikationssoftware 496, 517, 525
- Applikationsverzeichnis 474
  - MAD 474
- Arbeitspunkt 555
- Arbiträrsignalgenerator 560, 567
- Armbanduhr 670
- Artikelsicherung 34
  - elektromagnetisches Verfahren 40
  - Frequenzteiler-Verfahren 39
  - Mikrowellensysteme 37
  - RF-Verfahren 34
- Artikelsicherungssystem 27
- ASK 45
- ASK-Modulation 222, 520
- Asynchronous Balanced Mode 402
- Ätztechnik 22, 614
- Auslöschung 167
- Ausschwingen 127
- Ausspähen 275
- Ausstanzen 636
- AuthComm Kommando 445
- Authenticate Kommando 445
- Authentifizierung 29, 31, 329, 469, 713
- Authentizität 316
- Auto-ID-Center 419
- Automatic fare collection 656
- Autoschlüssel 17
- AWG 560, 561, 567
  
- Backlack 610, 625
- Backscatter 60
- Backscattermodulator 458
- Backscattersignal 297
- Backscatter-System 25, 142, 156
- Backscatter-Transponder 208
- Bandbreite 126, 194
- Barcode 2, 425
- Barcodeleser 409
- Basic Access Control Protocol 331
- Basisbandsignal 219, 520, 529
- Batterie 26, 166
- batteriegestützter Transponder 54
- Behälteridentifikation 718
- Being Card 401
- Being Reader 401
- Beschleunigungsmessung 514
- Betriebsfrequenz 103
- Betriebsspannung 95
- Betriebssystem 8, 479
  - auf Chipkarte 484
- Biegunsmessung 514
- Binary-Search-Tree-Algorithmus 266, 311
- Binary-Search-Verfahren 256
- Biometrie 5
- Bitcodierung 263
- Bitrate 531
- Blindwiderstand 640
- Blockchiffre 320
- Blockertag 311
- Blockieren des Lesegerätes 278
- Blockschaltbild Lesegerät 532
- Blockstruktur 468
- Bluetooth 73
- Bodenantenne 721
- Bolus 708
- Bondpads 606
- Broadcast 250
- Brückengleichrichter 293
- Brückenskapazität 650
- BSI 334
- Bump 618
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 334
- Bundesnetzagentur 210
- Bürgerverband 274
- Busy-Signal 687
  
- CALYPSO 664
- Capture-Effekt 260
- Card-Emulation-Mode 76, 501
- Card Loading Effect 564
- carrier 222
- Carrier-circuit 219
- CBC 326
- CBC-MAC 319
- CDMA 251
- CEN/TR 16669 454
- CEN/TR 16670 454
- CEN/TR 16671 454

- CEN/TR 16672 454
- CEN/TR 16673 454
- CEN/TR 16674 454
- CEN/TR 16684 454
- CEN/TS 16685 454
- CEN TC225 454
- CEPT 198, 199, 209
- CERP 198
- CETIM 704
- CE-Zeichen 209
- Chaining 530
- Chaining-Verfahren 324
- Challenge Kommando 445
- Channel 219
- Charakterisierung 553, 563
- Chiffre
  - one-time-pad 326
  - sequentiell 317
  - Vernam 326
- Chiffrieren 317
- Chip 11
- Chip-Impedanzmessung 553
- Chipkarte 6
  - close-coupling 346
  - mit Mikroprozessor 8
- Chipkartenbetriebssystem 484
- CIN 455
- cipher block chaining 326
- Close-coupling 656
- Close-coupling-Chipkarte 346
- Close-coupling-System 24, 61
- CNC-Technik 723
- Code, EAN 2
- Codemultiplexverfahren 251
- Codierung im Basisband 219
- coil-on-chip 23
- Company Identification Number 455
- Company Prefix 424
- Competent Authority 702
- Contactless Interface Unit 484
- Contact Pads 606
- Container 403
  - Identifikation 403
- Coprozessor 29
- CRC 237, 344, 485
- Credential 694
- Crypto Suite 445
- Crypto Suite Identifier 445
- CSI 445
- Czochralski Verfahren 604
- DAC 561
- DATA0 689
- DATA1 689
- Data Compactor 408
- Datenblock 408
- Datenobjekt 409
- Datenschutz 451
- Datensicherheit 451
- Datenträger 11
- Datenübertragung 115, 219
- DBP-Code 220
- Deaktivator 35
- Deaktivierungsanlage 406
- Deaktivierungsquote 407
- Debit-System 667
- Dechiffrieren 317
- Deckfolie 627
- Dehnungsmessung 514
- Demodulation 219, 222, 458, 462
- Demodulator 219
- Denial of Service 275
  - Angriff 310
- Dense-Reader-Mode 420, 435
- DES 321, 486
- Detektionsrate 34, 404
- Dethloff, Jürgen 655
- Deutsche Bahn A. G. 676
- Device under Test 556
- DFT 562, 570
- Die Bonder 616
- Diebstahlsicherung 14, 34, 203, 207
- Dielektrikum 276
- dielektrischer Spalt 135
- Differential Bi-Phase Code 220
- Differential-Code 220
- Digital-Analog-Konversion 561
- Dimple 36
- DIN 742
- Diode, Schottky-Diode 60
- Dipolantenne 38, 71, 137, 144, 151, 637

- Dirac-Impuls 127  
 Dirac-Messung 127  
 Direktor 153  
 Discovery Services 418  
 diskrete Fourier-Transformation 562  
 Disktransponder 16  
 DoD 423  
 Doppler-Effekt 513  
 Dotieren 603  
 Dotierungsprofil 38  
 Drahtbonden 616  
 Dreiecksknopfel 708  
 Druckmessung 514  
 Drucktechnik 630  
 DSB 54  
 DSB-Modulation 430  
 Dual-Interface-Card 29, 481  
 Dual-Port-EEPROM 476  
 Dual-Side-Band 54  
  
 EAN 419  
 EAN-Code 2, 274  
 EAS 14, 34, 203  
 EAS-System 27  
 ECB 325  
 ECTRA 199  
 EEPROM 730  
     Lebensdauer 509  
     Schreibzeit 511  
 E-Feld Antenne 637  
 effective aperture 147  
 effective height 150  
 Eindringtiefe 196, 645  
 Eingangsimpedanz  
     Antenne 146  
     Transponder 157  
 Eingangskapazität 157  
 Eingangsspannung, HF- 98  
 Eintor-Resonator 182  
 EIRP 145  
 Eisenbahnverkehr 201  
 Electromagnetic Distortion 573, 582  
 electronic code book 325  
 elektrisches Feld 24, 65, 137  
 elektrische Kompensation 558  
 elektrische Kopplung 24, 65  
 elektrische Länge 651  
 elektrisches Wirbelfeld 88  
 Elektrode 65  
 elektromagnetisches Feld 24  
 elektromagnetisches Störfeld 30  
 elektromagnetische Verfahren 40  
 elektromagnetische Welle 139, 142, 542  
     Entstehung 137  
 elektronischer Datenträger 457  
 elektronischer Produktcode 418  
 elektronischer Reisepass 331  
 elektronische Wegfahrsperre 712  
 EMD 573, 582  
 Empfängerempfindlichkeit 171  
 Empfängerzweig 520  
 Empfangsleistung 147  
 Empfangsreichweite 307  
 Empfangssignal 219  
 Empfangssignalaufbereitung 527  
 Empfangszweig 520  
 EMV-Spezifikation 667  
 EN 16570 454  
 EN 16571 454  
 EN 300 220 208  
 EN 300 330 194  
 EN 300 440 208  
 EN 300 674 209  
 EN 300 761 209  
 EN 301 091 209  
 EN 302 208 209  
 end-of-burst detector 70  
 Energiereichweite 53, 100, 299, 300, 523  
 Energieversorgung 15, 458  
 EN ISO/IEC 29160 454  
 Entschlüsseln 317  
 Entschlüsselung 486  
 EPC 418, 423, 446  
 EPCglobal Inc 419  
 EPCglobal Middleware 418  
 EPCglobal Network 417  
 EPCglobal Specifications 420  
 EPC Information Services 417  
 EPCIS 417  
 EPC Memory 437  
 ERC 199

- ERC Recommendation 70-03 199  
 ERO 199, 209  
 ERP 146  
 Ersatzschaltbild 552  
     Schottky-Diode 158  
 ESB 552  
 ETCS 697  
 Etikett 34  
 ETSI 198, 205, 207  
     Anschrift 743  
 ETSI EN 300 220 207  
 ETSI EN 300 330 207  
 ETSI EN 300 440 207  
 ETSI EN 302 208 206  
 ETSI TR 102 436 209  
 EU-Mandat M/436 451  
 Eurobalise 201, 698  
 European Radio Office 199  
 Evaluierung 563  
 ExpressPay 670  
 Extended Bit Vector 444  
 ExxonMobil 670
- Fahrsmart 662, 665  
 Fahrzeugidentifikation 201, 202  
 FCC Part 15 213  
 FCC-Vorschrift 214  
 FDMA 251, 254  
 FDT 306, 569, 580  
 FDX 13, 45  
 FDX-B Transponder 342  
 Fehlalarmquote 404  
 Feld  
     elektrisch 65  
     magnetisch 78  
 Feldeinwirkung 276  
 Feldlinie 79  
     magnetische 102  
 Feldstärke 168, 559  
     die zur Zerstörung des Transponders  
     führt 590  
     magnetische 78  
     Maximum 81  
     Verlauf der 80  
 Feldwellenwiderstand 140
- FeliCa 401, 672  
 Fernfeld 138, 194, 634, 638  
 Ferrit 18  
 Ferritantenne 133  
 Ferritfolie 646  
     gesintert 646  
 Ferritschalenkern 18  
 Ferritstab 135  
 ferromagnetisches Metall 43  
 field threshold 589  
 File Kommando 446  
 Filter Value 424  
 FIPS-197 321  
 Flächenwiderstand 613  
 Flexodruck 631  
 FlexPass 663, 665  
 Flip Chip 619, 620  
 Floating-Gate 508  
 FM0 Modulation 432  
 FOD 503  
 FRAM 509  
     Schreibzeit 511  
 Frame Delay Time 306, 569  
 Freiraumdämpfung 58, 139  
 frequency shift keying 225  
 Frequenz 219  
     anharmonische 45  
     harmonische 37, 45  
     Sende- 15  
     subharmonische 40, 45  
 Frequenzauswahl 194  
 Frequenzband 199  
 Frequenzbereich 187, 189  
     13,56 MHz 190  
     135 kHz 189  
     2,45 GHz 142, 193  
     24,125 GHz 193  
     27,125 MHz 190  
     40,680 MHz 191  
     433,920 MHz 191  
     5,8 GHz 193  
     6,78 MHz 189  
     865,0 MHz 192  
     868 MHz 192  
     915 MHz 142, 192  
     ISM 189



- Frequenzmodulation 222
- Frequenzmultiplexverfahren 251, 254
- Frequenzplanung 197
- FSK 45, 222
- FSK-Modulation 520
- Full-Blocker 311
- Füllbytes 324
- Function-Cluster 474
- Funkanlage 187
- Funkdienst 187
- Funkfrequenzspektrum
  - Nutzung 197
- Fußband-Transponder 709
  
- GaAs 602
- Gallium-Arsenid 602
- geätzte Antenne 615
- gedruckte Antenne 615
- Gegeninduktion 89
- Gegeninduktivität 84, 85, 105
- gegenseitige Authentifizierung 329, 469
- geinkt 607
- gemapt 607
- Gen 2 Protokoll 419, 429
- Generation 2 419
- Generatorspule 35
- gepulste Systeme 46
- gerichtete (Strahlungs-)Keule 30
- geschlossenes System 273
- GIAI 426
- GID 423
- Glastransponder 16, 135, 701, 706
  - Herstellen 623
- Glaukom 731
- Golden Device 558
- GRAI 423
- Graphitbeschichtung 66
- Grötrupp, Helmut 655
- Gruppenantenne 155
- GS1 429
- GS1 EPC Gen 2 UHF 449
- GS1EPC1 Standards 421
- GSM 205
- GTAG Initiative 417
- Güte 642
  
- Antennengüte 643
- Messung 128
- Gütefaktor 93, 114, 119, 121, 182, 546
- Messung 126
  
- Haftfestigkeit 632
- Halbduplexverfahren 13, 45
- Halbleiterschaltung 39
- Halbwellendipol 151
- Halsbandtransponder 705
- Handelspartner 417
- Händlerbank 668
- Harmonische 37, 294
- harmonische Frequenz 45
- Hartetikette 34, 39
- hartmagnetisches Metall 43
- Hashfunktion 318
  - kryptografisch 318
- Hauptstrahlrichtung 145, 153
- HCE 495
- HCI 501
- HDLC Protokoll 500
- HDX 13, 45
- Header 424
- Helmholtz-Anordnung 559, 571
- HF-Eingangsspannung 98
- H-Feld 208
- H-Feld Antenne 637
- HF-Interface 293, 306, 458, 518
- High-end-System 29
- High-end-Transponder 458
- Hilbert-Algorithmus 562, 568
- Hilfsträger 50, 51, 64, 227, 459, 520
- Hilfsträgerfrequenz 54, 227
  - 307,2 kHz 64
- Hologramm 632
- Homologationscode 704
- Host Based Card Emulation 495
- Host-Control-Interface 501
- Humanmedizin 731
- Hysteresekurve 40, 132
  
- IAC 455
- ICAR 702, 703

- ICARE 664  
Identifikationscode für Tiere 337  
Identifikationssystem 727  
Identifikation von Tieren 337, 338  
IIC-Bus 476  
Impedanzanalysator 123  
Impedanzanpassung 158, 166  
Impedanzfunktion 642  
Induktionsgesetz 88  
Induktionsspannung 88  
induktive Funkanlage 24, 203  
induktives Koppelement 63  
induktive Kopplung 24, 77, 138, 194  
Induktivität 84, 640  
    Gegeninduktion 89  
    Gegeninduktivität 84  
Industrieautomation 29  
Informationsquelle 219  
Infrarot 73  
Injektion 708  
Injektionsnadel 707  
Injizierbare Transponder 706  
ink dot 607  
Inletfolie 627  
integrierter Schaltkreis 604  
Integrität 316  
Interdigitalwandler 71, 175  
Intermodulationsprodukt 301  
Internationale Fernmeldeunion 196  
Inventur 734  
ISM-Frequenzbereiche 187  
ISO 742  
ISO/IEC 10373-6 552  
ISO/IEC 10374 403  
ISO/IEC 10536 346, 656  
ISO/IEC 11784 702  
    Identifikationscode 341  
ISO/IEC 14443 46, 53, 305, 350, 401, 656,  
    667  
ISO/IEC 15693 401, 492, 656  
ISO/IEC 15961 407  
ISO/IEC 15962 407  
ISO/IEC 15963 407  
ISO/IEC 17363 452  
ISO/IEC 17364 452  
ISO/IEC 17365 452  
ISO/IEC 17366 452  
ISO/IEC 17367 452  
ISO/IEC 18000 410  
ISO/IEC 18000-6 429, 656  
ISO/IEC 18000-63 429, 449, 455  
ISO/IEC 18001 412  
ISO/IEC 18046 414, 585, 588  
ISO/IEC 18047 413  
ISO/IEC 18092 401, 672  
ISO/IEC 19823 414  
ISO/IEC 21481 401, 672  
ISO/IEC 24710 412  
ISO/IEC 29160 454  
ISO/IEC 29167 412, 445  
ISO/IEC 7810 627  
ISO/IEC 8824-1 409  
ISO/IEC 9798-2 329  
ISO/IEC 9834-1 409  
ISO 10536 62  
ISO 3166 702  
ISO 6346 403  
ISO 69871 402  
ISO 69872 402  
ISO 69873 18, 403  
ISO-Container 403  
isotroper Strahler 140, 144  
isotrop leitfähiger Klebstoff 620  
Issuer 668  
Item Management 407  
Item Reference 424  
ITU 196  
ITU-R 197  
  
Java-Applets 496  
JIS X 6319-4 401, 490  
  
Kalibrierspule 559  
Kanalcodierung 229  
Kanalraster 199  
Kapazitätsdiode 38  
kapazitives Koppelement 63  
kapazitive Kopplung 24, 62, 65  
kapazitive Lastmodulation 117  
Kennzeichnung von Produkten 274

- KeyUpdate Kommando 445
- Kfz-Diebstahl 712
- Klarschriftleser 4
- Klartext 316
- Klassenkonzept 576
- Klebeetiketten 23
- Klebstoff
  - anisotrop 620
  - isotrop leitfähig 620
- Koaxialleitung 542
- Kollisionsintervall 259
- Kommando
  - Access 444
  - ACK 444
  - NAK 444
  - Query 443
  - QueryAdjust 443
  - QueryRep 444
- Kommunikationsprotokoll 495
- Kommunikationsreichweite 26, 53
- Kommunikationssystem 219
- Konfigurationsregister 469
- Konformität 413
- Konformitätsnorm 413
- Konstatieren 710
- kontaktbehaftete Chipkarte 481
- Kontaktierung 617
- Kontaktierverfahren 615
- kontaktlose Chipkarte 20, 24, 627
- kontaktlose Uhr 20
- KONTIKI 741
- Koppeldämpfung 521
- Koppelement 11
  - induktiv 63
  - kapazitiv 63
- Kopplung
  - elektrisch 24, 65
  - induktiv 24, 77, 138
  - kapazitiv 24, 62, 65
  - magnetisch 24
- Kopplungsfaktor 86, 110
- Kreditkarte 655
- Kreditkartenfunktion 496
- Kreditkartenorganisation 669
- Kreisdämpfung 93
- Kristallgitter 174
- Kryptografie 481
  - Koprozessor 481, 485
- kryptografische Hashfunktion 318
- kryptografisches Protokoll 328
- kryptografischer Schlüssel 329
- Krypto-Unit 465
- kugelförmiger Strahler 140
- Kunstlinse 732
- Kurzstreckenfunk 188
- Kurzstreckenfunkgerät 27
- Kurzwellenfrequenz 189
- Label 23
- Ladekondensator 67
- Laminieren 628
- Landing Plane 558
- Langasit 516
- Langwelle 189
- Langyagi-Antenne 303
- Lastmodulation 50, 64, 66, 76, 115, 340, 527
  - aktiv 305
  - aktive 54
  - kapazitive 117
  - ohmsche 117
  - reelle 117
- Lastmodulationsreichweite 299
- Lastmodulator 51, 121, 458, 495
- Lastwiderstand 49, 113, 157, 227
- Leadframe 617
- Leistungsanpassung 68
- Leistungsmessung 591
- Leistungspegel 199
- Leiterschleife 103, 138
- Leiterschleifenantennen 104
- Leitfähigkeit
  - spezifisch 644
- Lesegerät 11, 103, 219, 517
  - für Klarschrift 4
- Lesereichweite 25, 66, 81, 99, 103, 305
  - vergrößern 278, 298
- Lichtgeschwindigkeit 137
- Lieferkette 417, 424
- lineare Detektion 160
- line code 220

- Lithiumniobat 71, 174
- Lithiumtantalat 71, 174
- Logical-Link-Control-Protokoll 402
- Logistikprozess 418
- Long-range-System 25, 58
- low-barrier-Schottky 60
- low-cost-Transponder 195
- low-end-System 27
- LPRA 742
- LTE 205
- Luftspalt 61
  
- MAC 319
- MAD 474
  - Administration-Code 475
  - Application-Code 474
  - Function-Cluster 474
- Magnetfeld 137
- magnetische Erregung 559
- magnetisches Feld 24, 78, 137
- magnetische Feldlinie 102
- magnetische Feldstärke 78
- magnetischer Fluss 83
- magnetische Kopplung 24
- magnetisches Wechselfeld 79
- Magnetisierungskennlinie 132
- Magnetostriktion 43
- Manchester-Code 220, 263
- Manipulation 329
- maschinenlesbare Zeile 331
- Massenfertigung 726
- MasterCard 669
- Masterschlüssel 330
- Master-Slave-Prinzip 517
- Materialfluss 727
- Matrix Run 647
- Mauterfassung 202
- Maximale Feldstärke 590
- maximum operating electromagnetic field 590
- Megabump 621
- mehrstufige Modulation 227
- Messung
  - Beschleunigung 514
  - Druck 514
  - Entfernung 513
  - Geschwindigkeit 513
  - physikalische Größen 514
  - Temperatur 514
- Metall
  - amorphes 40, 43
  - hartmagnetisches 43
- Metalldeckel 135
- Metallfolie 66
- Metalloberfläche 18, 88, 134, 135, 717, 724
  - Rückstreuquerschnitt 143
- MFRC-522 530
- micro-SD Karte 53
- Middleware 496
- MIFARE 483, 530, 672
- MIFARE-Transponder 473
- Mifare Ultralight 490
- Mikrochip 11, 39, 90
  - Betriebsspannung 95
  - Spannungsversorgung 90
  - Stromaufnahme 113
- Mikroprozessor 479
  - Betriebssystem 479
  - Chipkarte 8, 484
- Mikrospule 732
- Mikrostrip-Antenne 153
- Mikrowelle 25, 37
- Mikrowellenfrequenz 58
- Mikrowellensystem 521
- Miller-Code 220
  - modified 220
- Millersubcarrier 433
- MIME 494
- Minimale Lese- oder Schreibfeldstärke 590
- Mitgliedstaaten 198
- MixColumn 323
- Mobile Oil 670
- Mobiltelefon 481
- Modem 219
  - modified miller code 220
  - modulated backscatter 60, 169
- Modulation 172, 219, 222, 580
  - 2-FSK 71
  - ASK 520
  - DSB 54, 430
  - FM0 432

- FSK 520
- PR-ASK 430
- PSK 520
- SSB-ASK 430
- Zweiseitenband 54
- Modulationseigenschaften 559, 562, 567
- Modulationseingang 526
- Modulationskondensator 118
- Modulationsparameter 568
- Modulationsprodukt 223
- Modulationsseitenband 297
- Modulationswiderstand 116, 460
- Modulator 219
- modulierter Rückstrahlquerschnitt 142, 169
- Montageuntergrund 595
- Motorelektronik 714
- multi-access 250
- Multiplexer 687
- Multi-shot-Gerät 707
- Mutual Authentication 329
- my-d 490
  
- Nahfeld 49, 138, 194, 309, 634, 638
- NAK Kommando 444
- nationale Regulierungsvorschrift 209
- NDEF 401, 492
  - Record-Header 492
  - TNF-Definition 492
- NDEF-Datensatz 492
- NDEF-Message 492
- NDEF-Record 492
- Near Field Communication 671
- Netzwerkanalysator 123
- NF-Bereich 40
- NFC 73, 671
  - active-mode 671
  - passive-mode 671
- NFC-A 401
- NFC-B 401
- NFC Data Exchange Format 401, 492
- NFC-Device 671
- NFC-F 401
- NFC-Forum 401, 492
- NFC-Initiator 74
- NFCIP-1 401
- NFCIP-2 401
- NFC-Target 74
- NFC-V 401, 492
- NFC-WI Interface 306
- NFC Wired Interface 501
- NFC-WLC 502
- nichtlinearer Widerstand 37
- Normen, Bezugsquelle 742
- NRZ-Code 64, 220, 263
- NTAG 490
- NTC 512
- Nullkopplung 578
- Nummer, Serien 712
  
- Oberflächenwelle 71, 174
- Oberflächenwellen-Bauelement 71
- Oberflächenwellen-Transponder 25, 523
- Oberwelle
  - Abhören 293
- Object Naming Service 417
- OCR-System 5
- OEM-Lesegerät 547
- Öffentlicher Personen(nah)verkehr 656
- Offlineschloss 693
- Offsetdruck 631
- OFW 71
- Ohrmarke 705
- Ohrmarken 705
- On-chip-Oszillator 527
- on-chip trimm capacitor 67
- one-time-pad 326
- On-Off keying 223
- ONS 417
- Operated Range Test 586
- Operated Volume Test 586
- Operating Volume 558, 562
- ÖPNV 741
- Orientierungstest 590
- OSDP 689, 690
  - Control Panel 692
  - Peripheral Device 692
- OSS-Standard Offline 694
- Oszillator 171, 520
  - on-chip 527
- OTA-Dienst 674
- Overlayfolie 627

- Padding 324
- Parabolspiegel 304
- Parallelregler 97
- Parallelresonanz 642
- Parallelresonanzkreis 91
- Parallelschwingkreis 90
- Paritätsbit 235
- Paritätsprüfung 235
- Partition 424
- Passierungsschicht 606
- passive Lastmodulation 54
- passiver Transponder 15, 25, 47, 95, 458
- Passwort 469
- Patch-Antenne 153
- PayPass 669
- PCD 558
- PCD Antenne 558
- PCD Standard Frame 368
- Peer to Peer Kommunikation 401
- Performanz 413
- Performanznorm 414
- Permanentmagnet 41
- Permeabilität 132, 646
- Permeabilitätskonstante 559
- Personen(nah)verkehr 656
- PGP 320
- Phase 219
- Phasenlage 515
- Phasenmodulation 117, 222
- Phasenrauschen 171
- Phasenumtastung 226
- Phase Shift Keying 226
- Photolithographie 606
- PIA 335
- PICC 348
- PIE 431
- Piezoeffekt 174
- piezoelektrischer Effekt 71
- piezoelektrischer Kristall 174
- Planarantenne 153
- Plastikgehäuse 17
- Plastikpackage (PP) 17
- Point-of-Sale 667
- Polarisation 141
  - horizontal 141
  - linear 141
  - vertikal 141
  - zirkular 141, 155
- Polarisationsrichtung 168
- Polarisationsverlust 141
- Polling-Verfahren 256
- Polstelle 642
- Polyethylen-Folie 34
- Polymer-Absorberfolie 646
- Polymer-Dickfilmpaste 613
- Population Analysis 597
- Populationstest 597
- POS 486, 667
- POS-Terminal 667
- power-down-mode 485
- power management unit 482
- Power-ON-Logik 465
- Poyntigscher Strahlungsvektor S 140
- PR-ASK-Modulation 430
- Privacy Impact Assessment 335
- Privatsphäre 274
  - Schutz der 454
- Produktionsprozess 726
- Produktkennzeichnung 274
- Programmierung, Lesegerät 531
- Protokollrahmen 529
- Proximity-coupling 656
- Proximity-Effekt 645
- Pseudozufallsfolge 327
- PSK 45, 64, 222
- PSK-Modulation 520
- Public-Key Verfahren 320
- Pulse Intervall Encoding 431
- puls pause coding 220
- Pulsradar 524
- Pulsweite 531
  
- quadratische Detektion 160
- Qualitätsmerkmale 393
- Quarz 174
- QueryAdjust Kommando 443
- Query Kommando 443
- QueryRep Kommando 444
  
- R&TTE-Directive 209
- R&TTE-Homepage 210
- R&TTE-Richtlinie 207

- Radar, Rückstreuquerschnitt 143  
 radar cross section 143  
 RADAR-Technik 60, 142  
 Rahmenantenne 36  
 RAIN 733  
   AFI 455  
   CIN 455  
   IAC 455  
   RCI 455  
   Reader Communication Interface 455  
   UII 455  
 RAIN Alliance Inc. 455  
 RAIN-RFID-Lesegeräten 735  
 Raummultiplexverfahren 251, 253  
 Rauschen 171, 299  
 Rayleigh-Welle 174  
 RCI 455  
 RCS 143  
 reader-emulation-mode 76  
 Read-only-Transponder 27, 458, 467  
 REC 70-03 199  
 Receiver 219  
 Record Type Definition 494  
 Reference PICC 557, 562  
 Referenzkarte 557, 562  
 reflective delay line 178  
 reflektive Verzögerungsleitung 178  
 Reflektor 71, 153, 177  
 Reflexion 168  
 Reflexionseigenschaft 60, 142  
 Reflexionsmessung 553  
 Register 531  
 Regulierung 198  
 Regulierungsvorschrift 199  
   Bezugsquellen 743  
 Reichweite 25, 30, 58, 66, 81, 103, 178,  
   195, 253, 298  
   Abhörreichweite 297  
 Reichweitengrenze 139  
 Relay-Attack  
   abwehren 331  
 Remote-coupling-System 24  
 REQUEST-Kommando 256, 261  
 Reserved Memory 437  
 Resonanzfrequenz 90, 107, 108, 123,  
   555, 642  
   Messung 128  
 Resonanzschwingung 34  
 Resonator 182  
 RFID-Lesegerät  
   Testverfahren 588  
 RFID-Ohrmarken 706  
 RFID-Sign 451  
 RFID-System 1, 11, 29  
 RFID-Transponder 11  
 RF-Verfahren 34  
 Richtantenne 153, 297  
 Richtkoppler 60, 521  
 Rijndael-Algorithmus 321  
 Ringmodulator 54  
 road toll systems 202  
 Roboter 731, 735  
 Rollentest 632  
 RS485 691  
 RSA 486  
 RTD-Spezifikation 494  
 RTTT 193  
 Rückstrahlquerschnitt 60, 142  
   moduliert 169  
 Rückstreuquerschnitt 143, 147, 168  
  
 S2C-Interface 501  
 Sägen des Wafer 608  
 SAM 331  
 SAW 71  
 scatter aperture 143, 147  
 Schieberegister 240  
 Schleifenantenne 208, 637  
 Schleifendipol 151  
 Schlüssel 317  
   applikationseigener 472  
   applikationsspezifischer 472  
   geheimer 469  
   hierarchischer 470  
   Masterschlüssel 330  
 Schlüsselanhänger 670  
 Schlüsselpaar 320  
 Schlüsselspeicher 470  
 Schottky-Detektor 158, 168  
 Schottky-Diode 60, 158  
   Sperrschichtkapazität 158  
   Sperrschichtwiderstand 158

- Schreibzeit 511  
 Schweißen 621  
 Schwingkreissspule 39  
 Scutulum 708  
 SDMA 251, 253  
 SecureComm Kommando 445  
 Secure Element 497, 501, 674  
 Secure-Memory-Card 497  
 segmentierte Transponder 408, 471  
 Seitenband 172, 223  
 Seitenbandamplitude 562, 571  
 Selbstinduktion 89  
 SELECT-Kommando 261  
 semi-passiver Transponder 26  
 Sendefrequenz 15, 108  
 Sendeleistung erhöhen 300  
 Senderzweig 520  
 sensitivity degradation 590  
 Sensordaten 512  
 Sensorspule 35  
 Seoul 660  
 SEQ 67  
 sequentielle Chiffre 317  
 sequentieller Transponder 14  
 sequentielle Verfahren 14, 67  
 Seriennummer 27, 261, 265, 311, 467, 507, 712  
 Serienresonanz 642  
 Serienresonanzkreis 103, 540  
 Session Flag 438  
 SGLN 423  
 SGTIN 423, 424  
 SHA-1 332  
 shared Code 703  
 Shear Test 632  
 ShiftRow 323  
 Short Frame 367  
 Short Range Device 27, 188, 199, 200  
   Regulierung 199  
 Shuntregler 96, 97, 121  
 Shuntwiderstand 95  
 Sicherheitsanforderung 31  
   Chipkarte 481  
 Sicherheitslogik 465  
 Sicherheitssystem 315  
 Sicherung  
   *siehe Artikelsicherung*  
 Sicherungsetikett 34  
 Sicherungsmittel 34  
 Siebdruck 22, 631  
 Siebdrucktechnik 613  
 SIGIN 501  
 sigma-modulation 169  
 Signaldarstellung 219  
 Signaldekodierung 219  
 Signalkodierung 219, 526  
 Signallaufzeit 513  
 Signalprocessing 219  
 SIGOUT 501  
 Silberleitpaste 66  
 Silizium 602  
 SIM-Karte 53, 497  
 Simple NDEF Exchange Protocol 402  
 Single Chip Reader IC 529  
 Single-shot-Gerät 707  
 Single Wire Protokoll 499  
 Ski-Lift 685  
 Skin-Effekt 644  
 Slot 261  
 Slotted-ALOHA 430  
 Slotted-ALOHA-Verfahren 259, 311  
 Smart Label 22, 25  
 SNEP 402  
 Softwareanwendung 517  
 Sonotrode 612  
 Spannungsanpassung 69  
 Spannungsteiler, kapazitiv 65  
 Spannungsverdoppler 161  
 Spannungsversorgung 90, 158  
   des Chips 26  
   Shuntregler 97  
 Spanzeugidentifikation 402  
 Species Code 704  
 Speedpass 670  
 Speicher, segmentiert 471  
 Speicherbereich 277  
 Speicherblock 344  
 Speicherkapazität 32  
 Speicherkarte 8  
 Speichersegmentierung, variabel 472  
 Spektrumanalysator 591  
 spezifische Leitfähigkeit 644  
 Spitzenwertgleichrichtung 160



- split-phase encoding 220  
 spread-spectrum 251  
 Sprühventil 636  
 Spulentreiber 527  
 SRAM 730  
 SRD 27, 188, 199  
 SSB-ASK-Modulation 430  
 SSCC 423  
 Standard Frame 368, 372  
 Start-up time 569  
 State-Machine 29, 458, 466, 483  
 Steilkegelschaft 402, 723  
 Störreflexion 178  
 Störsender 278, 297  
 Strahlungsdiagramm 145  
 Strahlungsdichte 140, 142  
 Strahlungsleistung 140  
 Strahlungswiderstand 146, 151, 154, 160  
 streamcipher 317  
 Stromanpassung 69  
 Stromaufnahme 113  
 Stromfestigkeit 650  
 Stromsparmmodus 485  
 Stromverschlüsselung 317  
 Subcarrier  
     *siehe Hilfsträger*  
 Subharmonisch 40, 45  
 Substitutionsmethode 557, 562, 564  
 Supply chain 417, 734  
 survival electromagnetic field 590  
 symmetrische Algorithmen 320  
 Synchronisation  
     mehrere Lesegeräte 339  
     Synchronisationsleitung 340  
 Systembetreiber 273  
  
 T/R 22-04 208  
 T/R 60-01 208  
 Takt 465  
 tamper-proof 632  
 Tari 432  
 Tartan-Matte 722  
 Tastgrad 172, 223  
 Taubenring 710  
 TDMA 251, 255  
  
 Technische Richtlinie RFID 334  
 Telemetriesender 27, 207, 512  
 Temperaturmessung 514  
 Temperatursensor 182, 512, 513  
 Thermokompressionsbonden 620  
 Thermo-sonic Bonden 616  
 Three Pass Mutual Authentication 329  
 Threshold Level 585, 634  
 threshold level 589, 594  
 Ticketing 29  
 TID Memory 437  
 Tiegelziehverfahren 604  
 Tierartencode 704  
 Tieridentifikation 29, 337, 338, 700  
     Herstellercode 702  
     Herstellernachweis 704  
     Ländercode 702  
 Tieridentifikationsnummer 702  
 Topaz 488  
 touch & go 61  
 Touch & Travel 676  
 Touchpoint 676  
 TR 03126 335  
 Trafic Telematics 193  
 Träger 219, 222  
 Trägerperiode 569  
 Trägerschwingung 223  
 Transaktionszeit 481  
 transformatorische Kopplung 48, 49, 138  
 transformierte Impedanz 49  
 transformierte Transponderimpedanz 105,  
     108, 115  
 Transmitter 219  
 Transponder 11, 219, 552  
     1-bit 34  
     aktiver 15, 25, 305  
     Disk~ 16  
     Glas~ 16  
     passiver 15, 25, 47, 95, 458  
     semi-passiver 26  
     zerstören 275  
 Transponderantenne 168  
 Transponderimpedanz, transformierte 105  
 Transponderklon 277  
 Transponderohrmarke 701  
 Transponderresonanzfrequenz 123

- Transponderschwingkreis 115, 119, 124, 460  
Transponderspule 624  
trimm capacitor, on-chip 67  
TR RFID 334  
TS 102 613 499  
TS Bonden 616
- U2270B 527  
Überlagerung 167  
Übertragungsfehler 219  
Übertragungskanal 219  
Übertragungsmedium 219  
Übertragungsprotokoll  
  ISO 14223 344  
UCC 419  
UHF-Bereich 25  
UHF-Frequenzbereich 58, 191, 192  
UID 367  
UII 446, 455  
UII Memory 437  
Ultraschallbonden 616  
Unikatsnummern 507  
Unipolar-Code 220  
unique number 28, 712  
Universal-Blocker 311  
Untraceable Kommando 446  
UPC 2, 274  
Updater 694  
US Bonden 616  
User memory 437  
UV-Flexodruck 631
- VDA 5520 452  
VDE 742  
VDI 742  
VDI 4470 34, 404  
VDV 665  
VDV eTicket Service 665  
VDV ETS 665  
VDV-KA 665  
VDV-Kernapplikation 665  
Verbraucherschutzorganisation 274  
Verkehrsangebot 257
- Verkehrstelematik 202  
Verkürzungsfaktor 152  
Verlegetechnik 612  
Vernam-Chiffre 326  
Verschlüsseln 317  
verschlüsselte Datenübertragung 317  
Verschlüsselung 31, 486  
Verschlüsselungsfunktion 327  
Verstimmung 276  
Vertraulichkeit 316  
Verwendungskontext 273  
VHF-Bereich 191  
Vicinity coupling 656  
  System 25  
Vielfachzugriff 250  
Visa Wave 670  
Voll duplexverfahren 13, 45  
VSWR Brücke 591
- Wafer 605  
  Bumpen 618  
  Sägen 608  
  sawn on foil 609  
Wafer Prober 607  
Wareneingang 418  
Wegfahrsperrung 17, 526  
Wellenlänge 138  
Welttelegraphenverein 196  
Werkzeugidentifikation 402  
Werkzeugmagazin 723  
Wickelmaschine 624  
Wickeltechnik  
  mit Kern 610  
  mit Luftspule 610  
Wicklungswiderstand 89  
Widerstand, nichtlinear 37  
Wiegand-Interface 689  
Windungsabstand 651  
Windungskapazität 651  
Wirbelfeld 137  
Wirbelstrom 88  
Wirbelstromverlust 135  
wirksame Fläche 147, 150  
wirksame Höhe 150  
wirksame Länge 150

- Wirkwiderstand 640
- Wismans System 704
- WLC 502
  - FOD 503
  - iFOD 505
- WLC-Listener 503
- WLC-Poller 503
- Wobbelsignal 36
- WUPA 367
  
- Yagi-Uda-Antenne 153
  
- Zahlungsverkehr 481
- Zahlungsverkehrssystem 666
- Zeiterfassungsterminal 694
  
- Zeitmultiplexverfahren 251, 255
- Zeitschlitz 261
- Zeitzeichensender 189
- Zerstörung
  - durch Feldeinwirkung 276
  - eines Transponders 275
- zirkulare Polarisation 141, 155
- Zufallszahl 329, 710
- Zugriffsrechte 470
- Zündschloss 712
- Zustandsautomat 14, 458
- Zustandsdiagramm 466
- Zutrittsberechtigung 687
- Zutrittskontrolle 29
- Zutrittskontrollsystem 687
- Zweifrequenzumtastung 225
- Zweiseitenband-Modulation 54