

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

Vorwort zur 8. Auflage	XVII
Verwendete Abkürzungen	XIX
1 Einführung	1
1.1 Automatische Identifikationssysteme	2
1.1.1 Barcode-Systeme	2
1.1.2 Optical Character Recognition	4
1.1.3 Biometrische Verfahren	5
1.1.3.1 Sprachidentifizierung	5
1.1.3.2 Fingerabdruckverfahren (Daktyloskopie)	6
1.1.4 Chipkarten	6
1.1.4.1 Speicherkarten	8
1.1.4.2 Mikroprozessorkarten	8
1.1.5 RFID-Systeme	9
1.2 Vergleich verschiedener ID-Systeme	9
1.3 Bestandteile eines RFID-Systems	11
2 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen	13
2.1 Grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale	13
2.2 Bauformen von Transpondern	16
2.2.1 Disks und Münzen	16
2.2.2 Glasgehäuse	16
2.2.3 Plastikgehäuse	17
2.2.4 Werkzeug- und Gasflaschenidentifikation	18
2.2.5 Schlüssel und Schlüsselanhänger	19
2.2.6 Uhren	20
2.2.7 Bauform ID-1, kontaktlose Chipkarten	20
2.2.8 Smart Label	22
2.2.9 Coil-on-Chip	23
2.2.10 Weitere Bauformen	24
2.3 Frequenz, Reichweite und Kopplung	24
2.4 Aktive und passive Transponder	25
2.5 Informationsverarbeitung im Transponder	27
2.6 Auswahlkriterien für RFID-Systeme	29
2.6.1 Arbeitsfrequenz	29
2.6.2 Reichweite	30
2.6.3 Sicherheitsanforderungen	31
2.6.4 Speicherkapazität	32
3 Grundlegende Funktionsweise	33
3.1 1-bit-Transponder	34

3.1.1	Radiofrequenz	34
3.1.2	Mikrowelle	37
3.1.3	Frequenzteiler	39
3.1.4	Elektro-Magnetisch	40
3.1.5	Akustomagnetisch	43
3.2	Voll- und Halbduplexverfahren	45
3.2.1	Induktive Kopplung	47
3.2.1.1	Energieversorgung passiver Transponder	47
3.2.1.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	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
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	77
4.1	Magnetisches Feld	78
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	78
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf H(x) bei Leiterschleifen	79
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	81
4.1.2	Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	83
4.1.3	Induktivität L	83
4.1.3.1	Induktivität einer Leiterschleife	84
4.1.4	Gegeninduktivität M	84
4.1.5	Kopplungsfaktor k	86
4.1.6	Induktionsgesetz	88
4.1.7	Resonanz	90
4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	95
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	95

4.1.8.2	Spannungsregelung	95
4.1.9	Ansprechfeldstärke H_{min}	97
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen	100
4.1.9.2	Ansprechbereich von Lesegeräten	102
4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	103
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz Z_T'	105
4.1.10.2	Einflussgrößen von Z_T'	108
4.1.10.3	Lastmodulation	115
4.1.11	Messung von Systemparametern	122
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	122
4.1.11.2	Messung von Transponderresonanzfrequenz und Gütefaktor	123
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	132
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	132
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	133
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	134
4.1.12.4	Einbau von Transpondern in Metall	135
4.2	Elektromagnetische Wellen	137
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	137
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen	138
4.2.2	Strahlungsdichte S	139
4.2.3	Feldwellenwiderstand und Feldstärke E	140
4.2.4	Polarisation elektromagnetischer Wellen	141
4.2.4.1	Reflexion elektromagnetischer Wellen	142
4.2.5	Antennen	144
4.2.5.1	Gewinn und Richtwirkung	144
4.2.5.2	EIRP und ERP	146
4.2.5.3	Eingangsimpedanz	146
4.2.5.4	Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt	147
4.2.5.5	Effektive Länge	150
4.2.5.6	Dipolantenne	151
4.2.5.7	Yagi-Uda-Antenne	153
4.2.5.8	Patch- oder Mikrostripantennen	153
4.2.5.9	Schlitzantennen	156
4.2.6	Praktischer Betrieb von Mikrowellentranspondern	156
4.2.6.1	Ersatzschaltbilder des Transponders	157
4.2.6.2	Spannungsversorgung passiver Transponder	158
4.2.6.3	Spannungsversorgung aktiver Transponder	166
4.2.6.4	Reflexion und Auslöschung	167
4.2.6.5	Ansprechempfindlichkeit des Transponders	168
4.2.6.6	Modulierter Rückstreuquerschnitt	168
4.2.6.7	Lesereichweite	171
4.3	Oberflächenwellen	174
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	174

4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	176
4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	177
4.3.4	Der Sensoreffekt	179
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	181
4.3.4.2	Resonante Sensoren	182
4.3.4.3	Impedanzsensoren	184
4.3.5	Geschaltete Sensoren	184
5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	187
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	187
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	189
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz (ISM)	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

6	Codierung und Modulation	219
6.1	Codierung im Basisband	220
6.2	Digitale Modulationsverfahren	222
6.2.1	Amplitudentastung (ASK)	223
6.2.2	2-FSK	225
6.2.3	2-PSK	226
6.2.4	Modulationsverfahren mit Hilfsträger	227
7	Datenintegrität	229
7.1	Fehlererkennende und -korrigierende Codes	229
7.1.1	Das Prinzip der Codekonstruktion	231
7.1.2	Eigenschaften von Codes	233
7.1.3	Einfache Codes – die Paritätsprüfung	235
7.1.4	Zyklische Codes	236
7.1.4.1	CRC-Verfahren	237
7.1.4.2	Hardware-Implementierung von CRC	240
7.1.4.3	CRC-Verfahren bei RFID-Systemen	241
7.1.5	Lineare Codes	242
7.1.5.1	Hammingcode	243
7.1.5.2	Hammingcode-Implementierung in ISO/IEC 14443	245
7.2	Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision	250
7.2.1	Raummultiplex – SDMA	253
7.2.2	Frequenzmultiplex – FDMA	254
7.2.3	Zeitmultiplex – TDMA	255
7.2.4	Beispiele für Antikollisionsverfahren	257
7.2.4.1	ALOHA-Verfahren	257
7.2.4.2	Slotted-ALOHA-Verfahren	259
7.2.4.3	Binary-Search-Algorithmus	263
8	Sicherheit von RFID-Systemen	273
8.1	Angriffe auf RFID-Systeme	274
8.1.1	Angriffe auf den Transponder	275
8.1.1.1	Dauerhaftes Zerstören des Transponders	275
8.1.1.2	Abschirmen oder Verstimmen des Transponders	276
8.1.1.3	Emulieren und Klonen eines Transponders	276
8.1.2	Angriffe über das HF-Interface	278
8.1.2.1	Abhören der Kommunikation	278
8.1.2.2	Störsender	297
8.1.2.3	Lesen mit vergrößerter Lesereichweite	298
8.1.2.4	Transponder mit vergrößerter Reichweite	305
8.1.2.5	Denial-of-Service-Angriff durch Blocker Tags	310
8.1.2.6	Relay-Attack	312
8.2	Abwehr durch kryptografische Maßnahmen	315
8.2.1	Kryptografische Funktionen und Merkmale kryptografischer Verfahren	317

8.2.1.1	Hashfunktionen und MAC	318
8.2.1.2	Blockchiffren	320
8.2.1.3	Stromchiffren	326
8.2.2	Kryptografische Protokolle	328
8.2.2.1	Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	329
8.2.2.2	Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	330
8.2.2.3	Basic Access Control Protocol (BAC)	331
8.3	Technische Richtlinien für sicheren RFID-Einsatz	334
9	Normung	337
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
10	Architektur elektronischer Datenträger	457
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
11	Lesegeräte	517
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
12	Messtechnik für RFID-Systeme	551
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
13	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	601
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
14	Anwendungsbeispiele	655
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 Wegfahrsperre	712
14.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperre	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
15	Anhang	737
15.1	Die Autoren	737
15.2	Industrieverbände	741
15.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	742
15.4	Literatur	743
16	Register	761

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 Sprachen¹ erschienen ist.

Anhand der vielen Bilder und Zeichnungen will dieses Buch eine im wahrsten Sinn des Wortes anschauliche Darstellung der RFID-Technologie geben. Einen besonderen Schwerpunkt stellen dabei die physikalischen Grundlagen dar, welche aus diesem Grunde auch das mit Abstand umfangreichste Kapitel bilden. Besonderer Wert wurde aber auch auf das Verständnis der grundlegenden Konzepte der Datenträger und Lesegeräte 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

¹ 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.

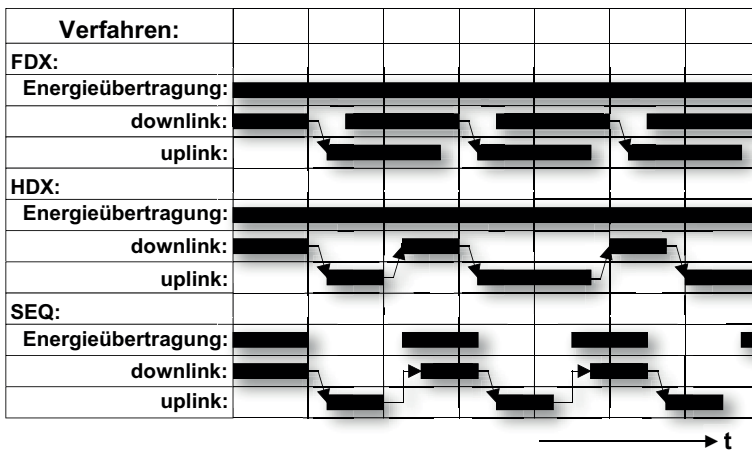


Abb. 3.12 Darstellung der zeitlichen Abläufe bei Voll-, Halbduplex- und sequentiellen Systemen. Die Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder wird in der Abbildung als downlink, die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät als uplink bezeichnet.

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.

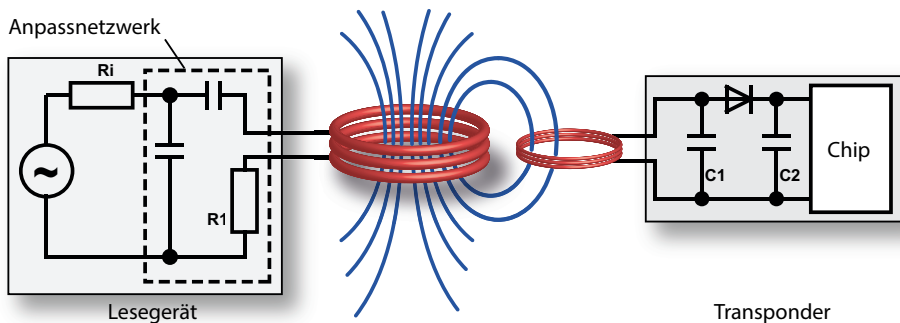


Abb. 3.13 Spannungversorgung eines induktiv gekoppelten Transponders aus der Energie des magnetischen Wechselfeldes, das vom Lesegerät erzeugt wird.

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.

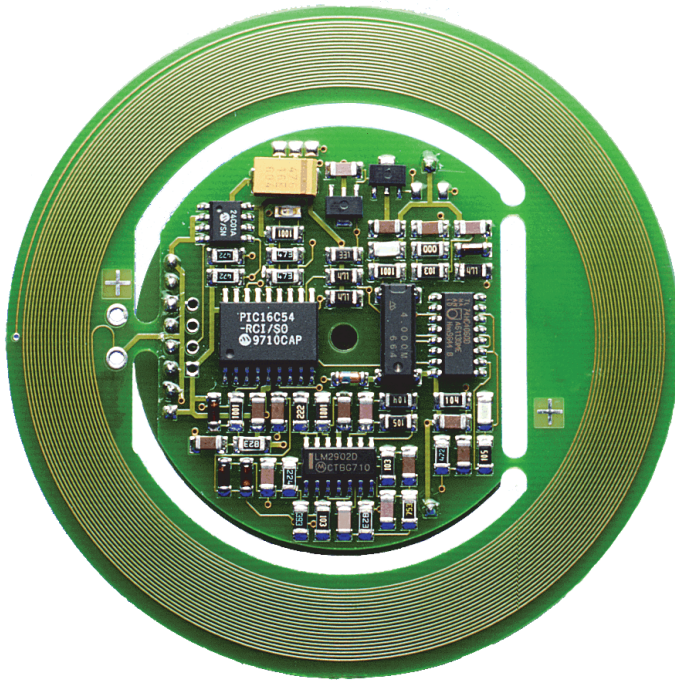


Abb. 3.15 Lesegerät für induktiv gekoppelte Transponder im Frequenzbereich < 135 kHz mit integrierter Antenne. (Foto: easy-key System, micron, Halbergmoos)

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 zunutze:

Wird nämlich der zusätzliche Lastwiderstand im Transponder mit sehr hoher Taktfrequenz f_H ein- und ausgeschaltet, so entstehen zwei Spektrallinien im Abstand $\pm f_H$ um die Sendefrequenz des 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.

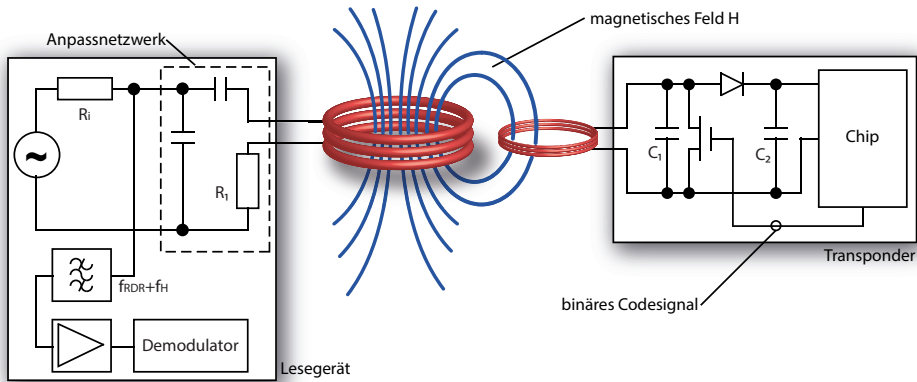


Abb. 3.16 Erzeugung der Lastmodulation im Transponder durch Umschalten des Drain-Source-Widerstandes eines FET auf dem Chip. Das abgebildete Lesegerät ist für die Detektion eines Hilfsträgers ausgelegt.

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.

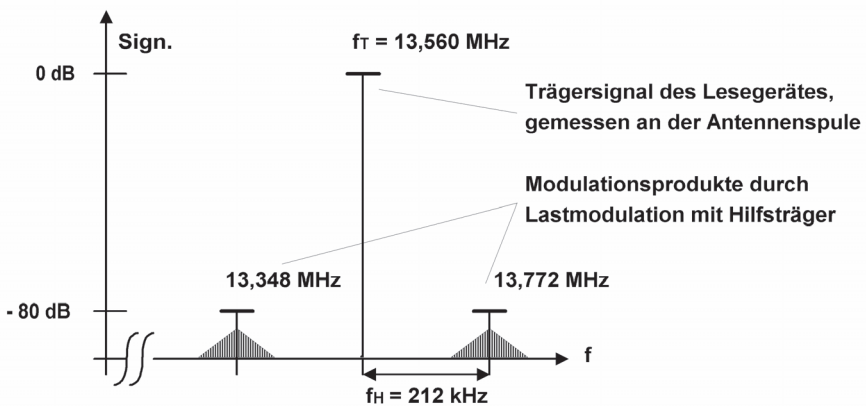


Abb. 3.17 Durch Lastmodulation mit Hilfsträger entstehen zwei Seitenbänder im Abstand der Hilfsträgerfrequenz f_H um die Sendefrequenz des Lesegeräts. Die eigentliche Information steckt in den Seitenbändern der beiden Hilfsträgerseitenbänder, welche durch die Modulation des Hilfsträgers selbst entstehen.

Durch Lastmodulation mit Hilfsträger entstehen an der Antenne des Lesegeräts zwei Modulationsseitenbänder im Abstand der Hilfsträgerfrequenz um die Arbeitsfrequenz f_{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.

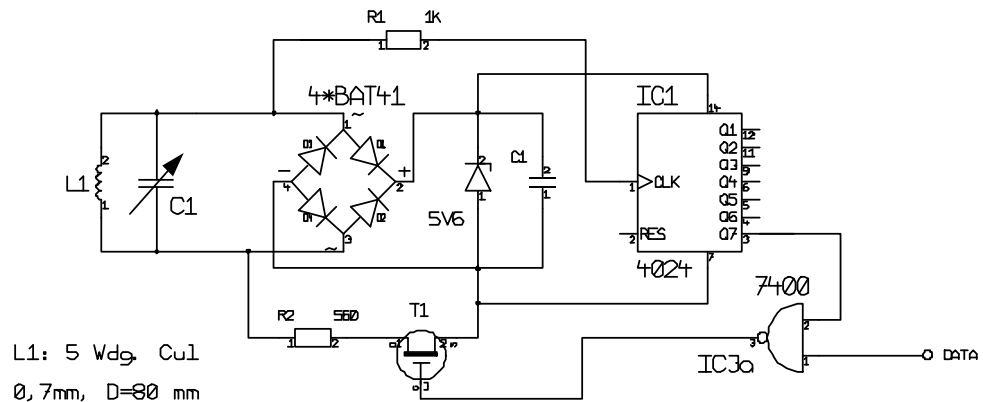


Abb. 3.18 Schaltungsbeispiel für die Erzeugung einer Lastmodulation mit Hilfsträger in einem induktiv gekoppelten Transponder.

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.

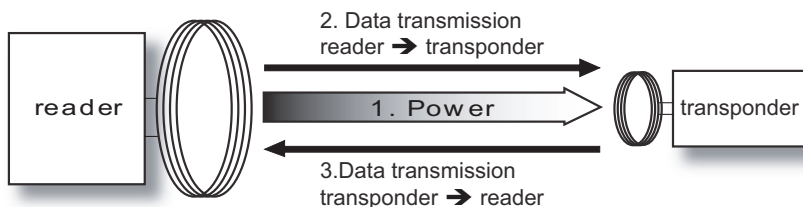


Abb. 3.19 Die die Kommunikationsreichweite begrenzenden Faktoren eines passiven, induktiv gekoppelten RFID-Systems.

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.

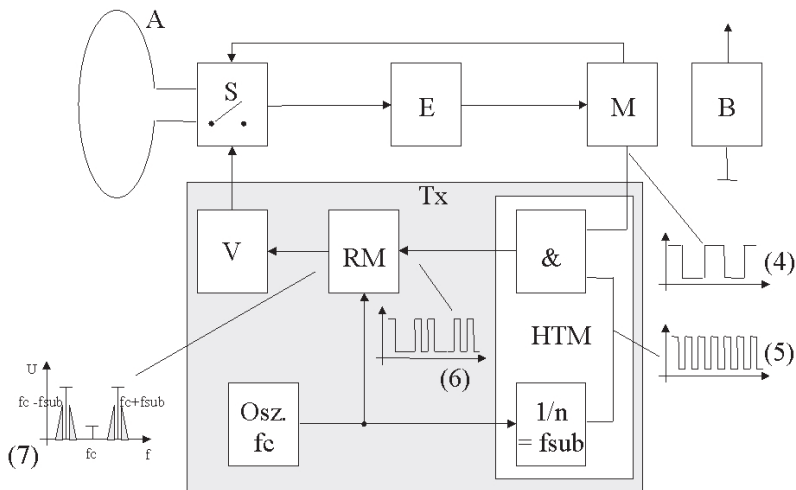


Abb. 3.20 Blockschaltbild eines Transponders mit aktiver Lastmodulation (RM: Ringmodulator, HTM: modulierter Hilfsträger, V: Verstärker, M: Microcontroller, E: Empfangsverstärker, B: Energieversorgung (Batterie)).

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:

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

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.

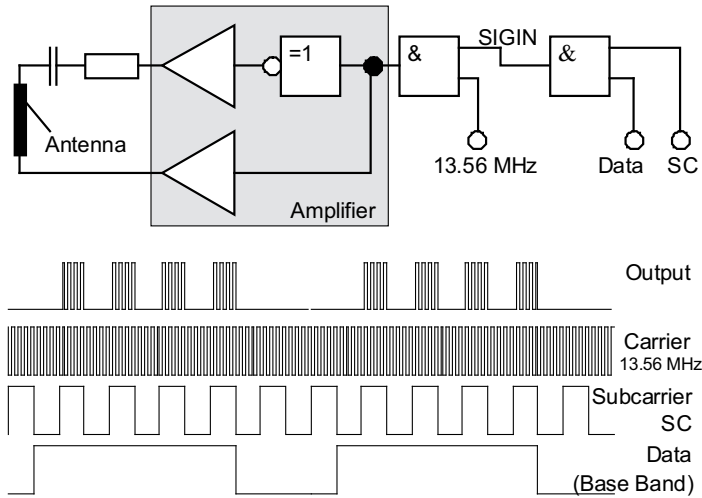


Abb. 3.21 Erzeugung einer aktiven Lastmodulation für ISO/IEC 14443 Typ A.

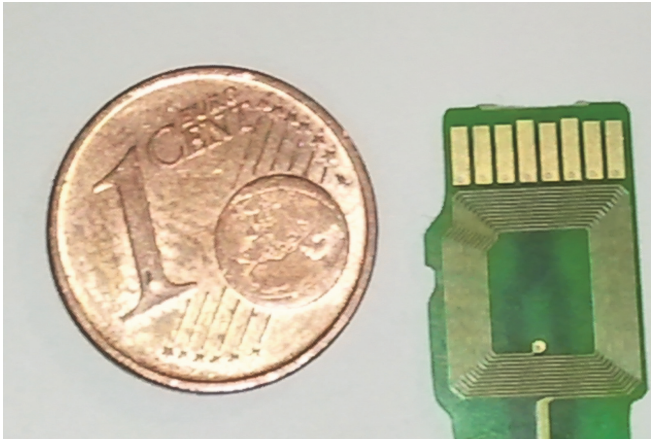


Abb. 3.22 Größenvergleich zwischen einer Transponderantenne in micro-SD Bauform und einer 1 Cent Euro-Münze.

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 mm², 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.

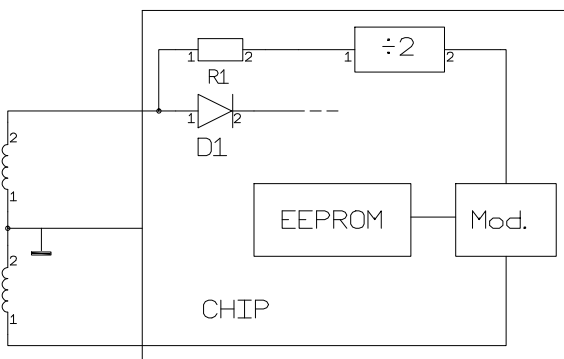


Abb. 3.23 Prinzipschaltung eines Transponders mit subharmonischer Rückfrequenz. Das empfangene Takt-Signal wird durch zwei geteilt, mit den Daten moduliert und in eine Anzapfung der Transponder-Spule eingespeist.

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.

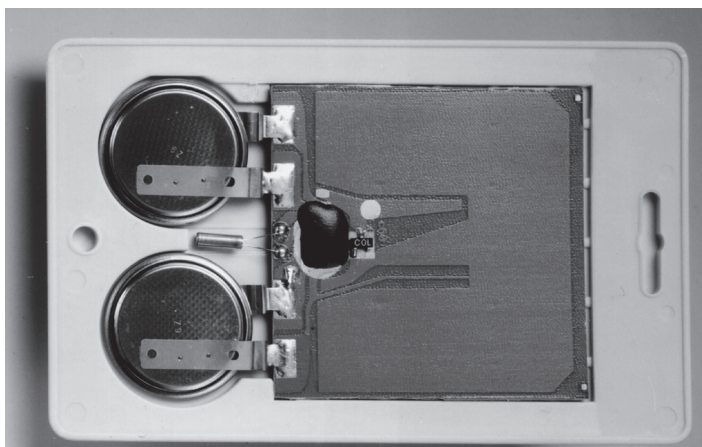


Abb. 3.24 Aktiver Transponder für den Frequenzbereich 2,45 GHz. Der Datenträger wird durch zwei *Lithiumbatterien* mit Energie versorgt. Die Mikrowellen-Antenne des Transponders ist als u-förmige Fläche auf der Leiterkarte zu erkennen. (Photo: Pepperl & Fuchs, Mannheim)

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 μA . 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.

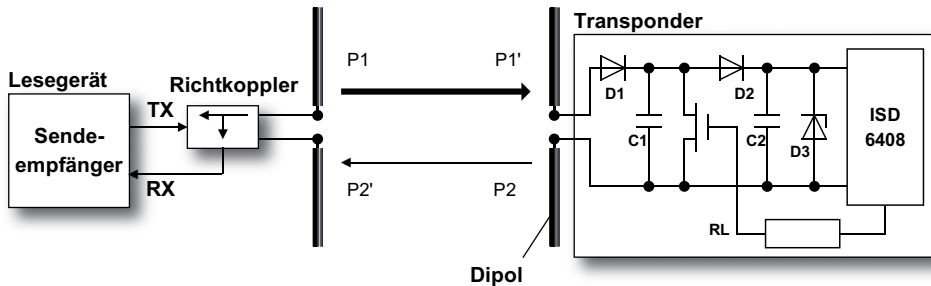


Abb. 3.25 Funktionsweise eines Backscatter-Transponders. Durch Umschalten des FET auf dem Chip wird die Impedanz des Chips „moduliert“ [isd].

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 (→ 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 stärkere

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.

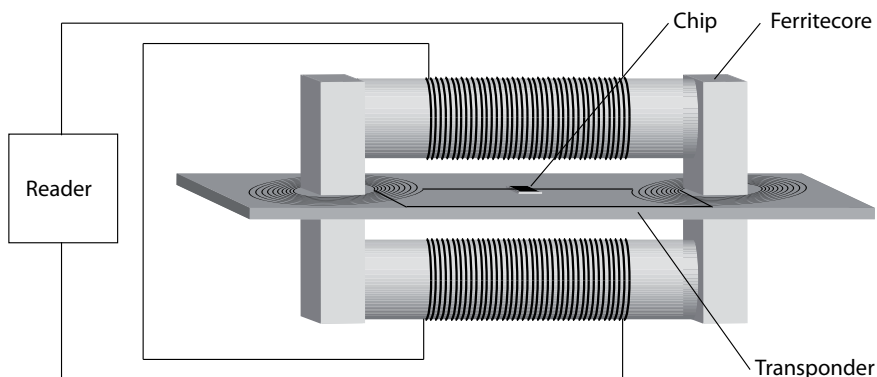


Abb. 3.26 Close coupling Transponder in einem Einsteckleser mit magnetischen Koppelspulen.

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.

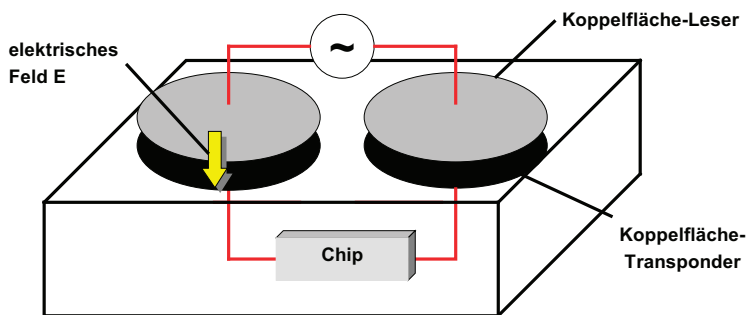


Abb. 3.27 Die kapazitive Kopplung bei Close-coupling-Systemen erfolgt zwischen zwei parallelen, in geringem Abstand zueinander angeordneten Metallflächen.

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° 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.

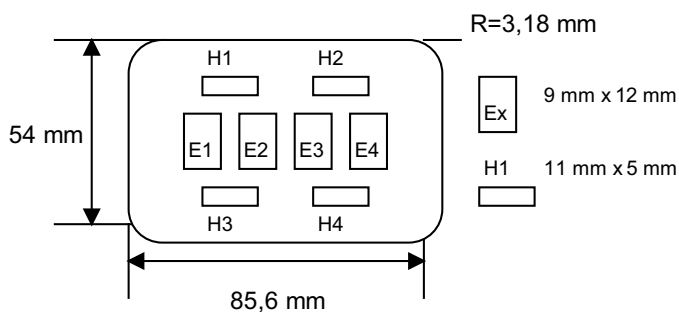


Abb. 3.28 Lage der kapazitiven (E1 – E4) und induktiven Koppelemente (H1 – H4) einer Close-coupling-Chipkarte.

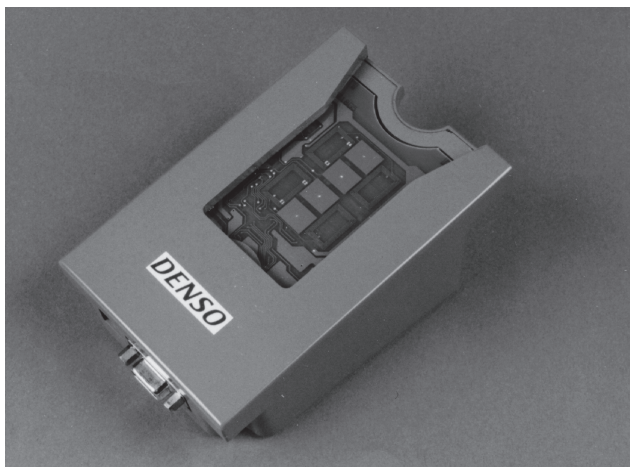


Abb. 3.29 Halb geöffnetes Lesegerät für Close-coupling-Chipkarten nach ISO/IEC 10536. In der Mitte des Einsteckschlitzes sind vier kapazitive Koppelflächen zu erkennen, umgeben von vier induktiven Koppelementen (Spulen). (Foto: Denso Corporation, Japan – Aichi-ken)

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

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
- Brückenkapazität 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
Dreiecksknopel 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
Energierreichweite 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
Signalдарstellung 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
 Thermosonic 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