

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 15 |
| 1.1 | Geschichte | 15 |
| 1.2 | Prinzip | 18 |
| 1.3 | Radararten | 21 |
| 1.3.1 | Primärradar/Sekundärradar | 21 |
| 1.3.2 | Monostatisch/bistatisch/multistatisch | 22 |
| 1.4 | Radarfrequenzen | 23 |
| 2 | Antennen und Wellenausbreitung | 29 |
| 2.1 | Antennen | 29 |
| 2.1.1 | Richtcharakteristik und Gewinn | 30 |
| 2.1.2 | Aperturantennen | 34 |
| 2.1.3 | Richtbare Antennen | 37 |
| 2.1.4 | Digital Beamforming | 48 |
| 2.1.5 | Die cosec ² -Antenne | 48 |
| 2.1.6 | Radome | 50 |
| 2.2 | Wellenausbreitung | 52 |
| 2.2.1 | Radarhorizont | 52 |
| 2.2.2 | Over-The-Horizon Radar (OTHR) | 54 |
| 2.2.3 | Dämpfung in der Atmosphäre | 55 |
| 2.3 | Ausbreitungsfaktor | 56 |
| 2.4 | Doppler-Effekt | 58 |
| 3 | Radargleichung | 65 |
| 3.1 | Was ist die Radargleichung? | 65 |
| 3.2 | Herleitung | 66 |
| 3.3 | Konsequenzen | 74 |
| 3.4 | Empfänger | 74 |
| 3.5 | Rückstreuläche | 78 |
| 3.5.1 | Rückstreuläche einfacher geometrischer Körper | 79 |
| 3.5.2 | Rückstreuläche komplexer Objekte | 84 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.5.3 | Rückstreufläche von Flächen- und Volumenzielen . . . | 89 |
| 3.5.4 | Reduzierung der Rückstreufläche (Stealth) | 98 |
| 4 | Radarkoordinaten | 107 |
| 4.1 | Entfernung und Geschwindigkeit | 108 |
| 4.1.1 | Entfernung | 108 |
| 4.1.2 | Geschwindigkeit | 109 |
| 4.2 | Richtung | 111 |
| 4.3 | Zielhöhe | 113 |
| 5 | Pulsradar | 115 |
| 5.1 | Das Prinzip | 115 |
| 5.2 | Die Parameter | 119 |
| 5.3 | Dynamik | 127 |
| 5.4 | Sensitivity Time Control | 128 |
| 5.5 | Methoden zur Auflösung der Mehrdeutigkeit | 130 |
| 5.6 | Puls-Doppler-Radar | 132 |
| 5.6.1 | Das Prinzip | 135 |
| 5.6.2 | Das MTI-Verfahren (Moving Target Indication) | 136 |
| 5.6.3 | Puls-Doppler-Verfahren mit Entfernungstoren | 147 |
| 5.6.4 | Spektrale Analyse der Doppler-Frequenz | 152 |
| 5.6.5 | Entfernungs-Doppler-Karte (Range-Doppler-Map) | 158 |
| 5.7 | Pulskompression | 158 |
| 5.7.1 | Pulskompression mit Frequenzmodulation | 161 |
| 5.7.2 | Pulskompression mit Phasencodierung | 162 |
| 5.7.3 | Vor- und Nachteile der Pulskompression | 165 |
| 6 | Dauerstrichradar | 167 |
| 6.1 | CW-Radar | 167 |
| 6.2 | Doppler-CW-Radar | 170 |
| 6.3 | FM-CW-Radar | 172 |
| 6.3.1 | Stationäre Ziele | 173 |
| 6.3.2 | Bewegte Ziele | 176 |
| 6.3.3 | Entfernungsauflösung | 181 |
| 6.3.4 | Funktionsschaltbild | 183 |
| 6.3.5 | Parameter | 183 |
| 6.3.6 | FM-CW-Radar mit zwei Frequenzen | 184 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 6.4 | Multiple-Frequency CW-Radar (MFCW) | 185 |
| 7 | Vergleichende Betrachtung von Puls- und Dauerstrichradar | 189 |
| 7.1 | Anzahl der Ziele | 189 |
| 7.2 | Entfernungsauflösung und -genauigkeit | 190 |
| 7.3 | Reichweite | 190 |
| 8 | Radarsignalverarbeitung | 193 |
| 8.1 | Einleitung | 193 |
| 8.2 | Detektoren | 194 |
| 8.3 | Entdeckungswahrscheinlichkeit | 194 |
| 8.3.1 | Beschreibung | 195 |
| 8.3.2 | Einfluss der Fluktuation | 202 |
| 8.3.3 | Impulsintegration | 203 |
| 8.4 | Constant False-Alarm-Ratio (CFAR) | 208 |
| 8.4.1 | CFAR-Verlust | 211 |
| 8.4.2 | Andere CFAR-Verfahren | 211 |
| 8.4.3 | Cell-Averaging with Greatest-of Selection CFAR | 213 |
| 8.4.4 | Clutter map CFAR | 214 |
| 9 | Sekundärradar | 215 |
| 9.1 | Zur Entstehung und Bedeutung des Sekundärradars | 215 |
| 9.2 | Das Prinzip | 216 |
| 9.3 | Normung | 219 |
| 9.4 | Secondary Surveillance Radar | 219 |
| 9.4.1 | Abfragetelegramm | 220 |
| 9.4.2 | Antworttelegramm | 221 |
| 9.5 | Störungen des SSR-Systems | 222 |
| 9.5.1 | Fruit | 223 |
| 9.5.2 | Garbling | 223 |
| 9.6 | Monopulse SSR (MSSR) | 224 |
| 9.7 | Mode S | 225 |
| 10 | Zielerfassung und Zielverfolgung | 229 |
| 10.1 | Einleitung | 229 |
| 10.2 | Zielerfassung | 230 |
| 10.2.1 | 2-D-Verfahren | 230 |
| 10.2.2 | 3-D-Verfahren | 231 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 10.2.3 | Verweilzeit und Trefferzahl | 233 |
| 10.3 | Zielverfolgung | 235 |
| 10.3.1 | Aufgaben, Strategien und Anwendungen | 235 |
| 10.3.2 | Zielverfolgung in Entfernung und Geschwindigkeit | 238 |
| 10.3.3 | Zielverfolgung in Azimut und Elevation | 240 |
| 11 | Informationsdarstellung | 251 |
| 12 | Störungen | 255 |
| 12.1 | Einleitung | 255 |
| 12.2 | Aktive Störer | 256 |
| 12.3 | Passive Störer | 261 |
| 13 | Synthetic Aperture Radar (SAR) | 265 |
| 13.1 | Warum SAR? | 265 |
| 13.2 | Das Prinzip | 270 |
| 13.3 | Einige Details | 276 |
| 13.3.1 | Aufbau eines SAR-Systems | 276 |
| 13.3.2 | Verschiedene Abbildungsmodi | 277 |
| 13.3.3 | Doppler Beam Sharpening | 278 |
| 13.3.4 | Navigation | 279 |
| 13.3.5 | Bewegungskompensation (Motion Compensation) | 279 |
| 13.3.6 | Multilook-Verarbeitung | 280 |
| 13.3.7 | Inverses SAR | 281 |
| 13.4 | Einsatzbereiche | 281 |
| 14 | Anwendungen | 283 |
| 14.1 | Übersicht | 283 |
| 14.1.1 | Schifffahrt | 283 |
| 14.1.2 | Luftfahrt | 285 |
| 14.1.3 | Verkehr | 286 |
| 14.1.4 | Militär | 287 |
| 14.1.5 | Sonstige Bereiche | 290 |
| 14.2 | Beispiele für zivile Anwendungen | 292 |
| 14.2.1 | Flugstreckenüberwachungsradar ARSR-4 | 292 |
| 14.2.2 | Flughafenüberwachungsradar ASR-11 | 294 |
| 14.2.3 | Präzisionsanflugradar (AN/TPN-19) | 295 |
| 14.2.4 | Bodenwellenradar (HF-SWR) | 296 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 14.2.5 | Füllstandssensor | 297 |
| 14.2.6 | Radartechnik im Straßenverkehr | 298 |
| 14.2.7 | Bahnradar | 299 |
| 14.2.8 | Rundsicht radar SRE-M5 | 300 |
| 14.2.9 | Wetterradar | 301 |
| 14.2.10 | Ground-Penetrating Radar | 303 |
| 14.2.11 | Seegangsmessung | 304 |
| 14.2.12 | Radarastronomie | 305 |
| 14.3 | Beispiele für militärische Anwendungen | 306 |
| 14.3.1 | Marineradar TRS-3D | 306 |
| 14.3.2 | Marineradar AN/SPS-49 | 307 |
| 14.3.3 | Mobiles Luft- und Seeraumüberwachungsradar | 308 |
| 14.3.4 | Zielverfolgungsradar AN/FPS-16 | 309 |
| 14.4 | Sekundärradar | 310 |
| 14.5 | SAR-Anwendungen | 311 |
| 14.5.1 | Erdbeobachtung mit TerraSAR-X | 311 |
| 14.5.2 | Venus: Magellan Radar Mapper | 314 |
| 14.5.3 | European Environmental Remote-sensing Satellite | 314 |

Anhang

| | | |
|----------|---|------------|
| A | Glossar | 319 |
| B | Übungsaufgaben | 323 |
| C | Musterlösungen zu den Übungsaufgaben | 337 |
| D | Abkürzungen und Formelzeichen | 351 |
| | D.1 Abkürzungen | 351 |
| | D.2 Verwendete Formelzeichen | 354 |
| E | Schrifttum | 359 |
| F | Bildnachweis | 363 |