

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>15</b>
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
<b>2 Antennen und Wellenausbreitung</b>	<b>29</b>
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 $\text{cosec}^2$ -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
<b>3 Radargleichung</b>	<b>65</b>
3.1 Was ist die Radargleichung? . . . . .	65
3.2 Herleitung . . . . .	66
3.3 Konsequenzen . . . . .	74
3.4 Empfänger . . . . .	74
3.5 Rückstreufläche . . . . .	78
3.5.1 Rückstreufläche einfacher geometrischer Körper . . . . .	79
3.5.2 Rückstreufläche komplexer Objekte . . . . .	84

3.5.3	Rückstreufläche von Flächen- und Volumenzielen . . . . .	89
3.5.4	Reduzierung der Rückstreufläche (Stealth) . . . . .	98
<b>4</b>	<b>Radarkoordinaten</b>	<b>107</b>
4.1	Entfernung und Geschwindigkeit . . . . .	108
4.1.1	Entfernung . . . . .	108
4.1.2	Geschwindigkeit . . . . .	109
4.2	Richtung . . . . .	111
4.3	Zielhöhe . . . . .	113
<b>5</b>	<b>Pulsradar</b>	<b>115</b>
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
<b>6</b>	<b>Dauerstrichradar</b>	<b>167</b>
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
<b>7</b>	<b>Vergleichende Betrachtung von Puls- und Dauerstrichradar</b> . . . . .	<b>189</b>
7.1	Anzahl der Ziele . . . . .	189
7.2	Entfernungsauflösung und -genauigkeit . . . . .	190
7.3	Reichweite . . . . .	190
<b>8</b>	<b>Radarsignalverarbeitung</b> . . . . .	<b>193</b>
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
<b>9</b>	<b>Sekundärradar</b> . . . . .	<b>215</b>
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
<b>10</b>	<b>Zielerfassung und Zielverfolgung</b> . . . . .	<b>229</b>
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
<b>11</b>	<b>Informationsdarstellung</b>	<b>251</b>
<b>12</b>	<b>Störungen</b>	<b>255</b>
12.1	Einleitung . . . . .	255
12.2	Aktive Störer . . . . .	256
12.3	Passive Störer . . . . .	261
<b>13</b>	<b>Synthetic Aperture Radar (SAR)</b>	<b>265</b>
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
<b>14</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>283</b>
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	Rundsichtradar 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

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