

1	Einführung	1
1.1	Infrarot	1
1.2	Wärmestrahlung	2
1.3	Die Bereiche des Infraroten	4
1.4	Aktive IR-Kameras	6
1.5	Zum Inhalt des Buchs	8
2	Infrarotbilder	11
2.1	Eigenschaften von Infrarotbildern	12
2.2	Anwendungen	16
2.3	Abschließende Betrachtungen	26
	Literatur	31
3	Infrarotkameras	33
3.1	Beispiele	34
3.2	Güteparameter	37
3.3	Bolometer	42
3.4	Halbleiter: Material für Photonendetektoren	46
3.5	Photonendetektoren	49
3.6	Optik	54
3.7	Zusammenfassung	67
	Literatur	69
4	Thermische Strahlung	71
4.1	Strahlung von Oszillatoren	72
4.2	Raumwinkel	73
4.3	Strahlungsphysikalische Größen	75
4.4	Planck'sches Strahlungsgesetz	78
4.5	Lambert'sches Gesetz	80
4.6	Stefan-Boltzmann'sches Gesetz	81
4.7	Wien'sches Verschiebungsgesetz	83

4.8	Kontrast	84
4.9	Absorption – Emission – Reflexion	88
4.10	Strahlungsquellen.	90
4.10.1	Schwarzkörperstrahler	90
4.10.2	Heiße Strahlungsquellen	93
4.10.3	Kalte Strahlungsquellen	96
	Literatur	97
5	Atmosphäre	99
5.1	Durchgang der Strahlung durch die Atmosphäre	99
5.2	Molekulare Absorption	102
5.2.1	Wechselwirkung zwischen Strahlung und Molekülen	102
5.2.2	Freie Schwingung	103
5.2.3	Erzwungene Schwingung.	109
5.2.4	Breite der Spektrallinien	115
5.2.5	Rotatoren	118
5.2.6	Rotations-Schwingungsspektrum	121
5.2.7	Stärke der Spektrallinien	124
5.2.8	Datenbank HITRAN	127
5.3	Streuung und Partikelabsorption	131
5.3.1	Streuzentren in der Atmosphäre	131
5.3.2	Wirkung der Streuung	133
5.3.3	Streuung nach RAYLEIGH.	135
5.3.4	Streuung und Absorption nach MIE	140
5.3.5	Partikelgrößenverteilungen	144
5.4	Computerprogramme	147
5.5	Fazit	149
	Literatur	151
6	Optische Abbildung	153
6.1	Refraktive optische Elemente	155
6.1.1	Das Brechungsgesetz	155
6.1.2	Die Linse	157
6.1.3	Mehrlinsensysteme	165
6.1.4	Reale Strahldurchrechnung	168
6.1.5	Planflächen.	175
6.1.6	Abbildungsfehler	179
6.2	Reflektive optische Elemente.	194
6.2.1	Reflexionsgesetz	194
6.2.2	Ebene Spiegel.	195
6.2.3	Scanner.	195
6.2.4	Mikrospiegel	203
6.2.5	Derotator	205

6.2.6	Abbildende Spiegel	209
6.2.7	Reflexionsmindernde Schichten.	217
6.3	Feld- und Bündelbegrenzungen	225
6.3.1	Luken	225
6.3.2	Pupillen	226
6.4	Beugung	230
6.4.1	Punktbildfunktion	230
6.4.2	Diffraktive Optikkomponenten	240
6.5	Objektive und Teleskope	243
6.5.1	Teleskopvorsatz in IR-Kameras	243
6.5.2	KEPLER-Fernrohr	244
6.5.3	Galilei-Fernrohr	245
6.5.4	Fernrohre mit variabler Brennweite.	246
6.6	Empfangene Strahlungsleistung.	251
6.6.1	Radiometrisches Grundgesetz	251
6.6.2	Bestrahlungsstärke eines optischen Bildes	254
6.6.3	Flächenhafte und punktförmige Objekte	258
6.6.4	Kollimator	260
6.7	Optik-Rechenprogramme.	261
	Literatur	263
7	Detektor	265
7.1	Strahlungsempfindlichkeit	265
7.1.1	Definition	265
7.1.2	Messverfahren	267
7.2	Rauschen	271
7.2.1	Rauschprozess	271
7.2.2	Rauschäquivalente Temperaturdifferenz (NETD)	276
7.2.3	Nachweisvermögen (D^*)	278
7.2.4	Dynamikbereich.	279
7.3	Thermische Detektoren	280
7.3.1	Thermisches Verhalten.	280
7.3.2	Elektrisches Verhalten	285
7.3.3	Technologiebewertung.	297
7.4	Photonendetektoren	297
7.4.1	Photoeffekt.	298
7.4.2	Photoleiter	300
7.4.3	Photodioden	310
7.4.4	Schottky-Barrieren-Dioden	321
7.4.5	Quantentrogdetektoren.	325
7.4.6	Übergitterdetektoren	330
7.4.7	Technologievergleich	331

7.5	Kühlung	332
7.5.1	Thermisch erzeugte Ladungsträger	332
7.5.2	Dewar	333
7.5.3	Kühlmaschine mit geschlossenem Kreislauf	334
7.5.4	Joule-Thomson-Kühler	339
7.5.5	Technologievergleich	342
7.6	Abtastung und Detektorarchitektur	343
7.6.1	Abtastung	343
7.6.2	Modulationsübertragungsfunktion	347
7.6.3	Detektorarchitekturen	349
7.7	Signalauslesung	353
7.7.1	Hybridisierung	353
7.7.2	Signalintegration und Multiplexing	356
7.7.3	Detektornahe Elektronik	363
	Literatur	364
8	Signalverarbeitung und Bilddarstellung	367
8.1	Inhomogenitätskorrektur	368
8.1.1	Örtliches Rauschen	368
8.1.2	Einzelnes Pixel	372
8.1.3	Korrektur nach SCHULZ	375
8.1.4	Thermische Referenz	381
8.1.5	Szenenreferenz	382
8.2	Bildverbesserungen	391
8.2.1	Bildstapelung	391
8.2.2	Kontrastanhebung	393
8.2.3	Kontrast- und Helligkeitsregelung	394
8.2.4	Elektronische Vergrößerung	398
8.3	Ausgangssignal	399
8.4	Bilddarstellung	402
8.4.1	Bilddarstellungsgeräte	402
8.4.2	Leistungsdaten	404
8.4.3	Augenintegration	404
	Literatur	405
9	Gerätekonzpte	407
9.1	Common Modules	407
9.2	Scannende Wärmebildgeräte mit Matrixdetektor	410
9.3	Starrende Geräte	413
9.3.1	Wärmebildgerät mit ungekühltem Detektor	413
9.3.2	Wärmebildgerät mit gekühltem Detektor	414

9.4	Multispektrale- und hyperspektrale Kameras	415
9.5	Aktive, bildgebende Verfahren im IR.	417
9.6	Beispiele für Gated-Viewing Anwendungen	419
	Literatur.	421
10	Bewertung der Geräteleistung	423
10.1	Bewertungskriterien	426
10.2	Ermittlung der MRTD	428
10.2.1	Messung nach STANAG 4349.	428
10.2.2	Unterabtastung	430
10.3	Reichweite	432
10.4	Berechnung der MRTD	436
10.4.1	MRTD-Formel	436
10.4.2	Modulationsübertragungsfunktion.	442
10.4.3	Berechnungsbeispiel	452
10.4.4	Computerprogramme	455
	Literatur	456
11	Zusammenfassung und Ausblick	459
11.1	Standortbestimmung	459
11.2	Trends	461
	Literatur	463
	Größen und Formelzeichen	465
	Stichwortverzeichnis	473