

Inhaltsverzeichnis

Vorwort *IX*

Symbolverzeichnis *XI*

Abkürzungsverzeichnis *XV*

1	Einführung	1
1.1	Infrarotstrahlung	1
1.2	Technische Anwendungen	4
1.3	Vorteile der berührungslosen Temperaturmessung	6
1.4	Historische Entwicklung	7
	Literatur	12
2	Radiometrische Grundlagen	13
2.1	Strahlungsphysik	13
2.1.1	Ausbreitung von Strahlung	13
2.1.2	Ausbreitung in verlustfreien Medien	16
2.2	Strahlungsgrößen	22
2.2.1	Strahlungsfeldbezogene Größen	22
2.2.2	Senderseitige Größen	23
2.2.3	Empfängerseitige Größen	24
2.2.4	Spektrale Größen	24
2.2.5	Absorption, Reflexion und Transmission	26
2.3	Strahlungsgesetze	27
2.3.1	Planck'sches Strahlungsgesetz	27
2.3.2	Wien'sches Verschiebungsgesetz	31
2.3.3	Stefan-Boltzmann-Gesetz	34
2.3.4	Kirchhoff'sches Strahlungsgesetz	36
2.3.5	Fotometrisches Grundgesetz	37
2.4	Emission	46
2.4.1	Emissionsgrad	46
2.4.2	Schwarze Strahler	48
2.4.3	Emission realer Körper	56
2.4.4	Bestimmung des Emissionsgrades	61
2.5	Reflexion	64

2.5.1	Reflexionsgrad	64
2.5.2	Reflexion an Grenzflächen	65
2.5.3	Reflexion an dünnen dielektrischen Schichten	66
2.6	Transmission	70
2.6.1	Transmissionsgrad	70
2.6.2	Transmission von Körpern	71
2.6.3	Transmission der Atmosphäre	75
2.6.4	Abhängigkeit von der CO ₂ -Konzentration	81
	Literatur	82
3	Sensor- und Gerätekenwerte	85
3.1	Thermische Auflösung	85
3.1.1	Empfindlichkeit	85
3.1.2	Rauschen	89
3.1.3	Rauschäquivalente Leistung <i>NEP</i>	106
3.1.4	Detektivität	108
3.1.5	Rauschäquivalente Temperaturdifferenz <i>NETD</i>	110
3.1.6	Inhomogenitätsäquivalente Temperaturdifferenz <i>IEDT</i>	113
3.2	Räumliche Auflösung	115
3.2.1	Optisch-geometrische Beziehungen einer scharfen Abbildung	115
3.2.2	Begrenzung der Ortsauflösung	117
3.2.3	Spaltbildfunktion und Messfleckgröße	119
3.2.4	Modulationsübertragungsfunktion <i>MTF</i>	121
3.3	Zeitliche Auflösung	132
3.3.1	Zeitkonstante	133
3.3.2	Einstellzeit	135
3.3.3	Erfassungszeit	137
3.4	Zusammenfassung	137
	Literatur	137
4	Infrarotsensoren	139
4.1	Thermische Infrarotsensoren	140
4.1.1	Wirkprinzipien	140
4.1.2	Thermoelektrische Strahlungssensoren	145
4.1.3	Pyroelektrische Sensoren	147
4.1.4	Mikrobolometer	149
4.2	Photonensensoren	153
4.2.1	Wirkprinzipien	154
4.2.2	Fotowiderstände	162
4.2.3	Fotodioden	166
4.2.4	Bildgebene Photonensensoren	168
4.3	Vergleich von thermischen und photonischen Sensoren	170
4.3.1	Thermische Auflösung	172
4.3.2	Zeitliche Auflösung	173
4.3.3	Kosten	173

- 4.3.4 Energieverbrauch 174
- 4.4 Kühlung von Sensoren 174
 - 4.4.1 Thermoelektrische Kühler 175
 - 4.4.2 Direktkontaktkühlung 176
 - 4.4.3 Joule-Thomson-Kühler 177
 - 4.4.4 Kleinkältemaschinen 178
 - 4.4.5 Vergleich der Kühlverfahren 180
- Literatur 182

- 5 Pyrometer 187**
 - 5.1 Aufbau und Funktionsweise 187
 - 5.1.1 Grundaufbau 187
 - 5.1.2 Funktionsweise 188
 - 5.1.3 Berücksichtigung parasitärer Strahlungsanteile 191
 - 5.1.4 Pyrometergleichung 192
 - 5.2 Grundtypen 193
 - 5.2.1 Gleichlichtpyrometer 194
 - 5.2.2 Wechsellichtpyrometer 194
 - 5.3 Messverfahren 196
 - 5.3.1 Gesamtstrahlungspyrometer 198
 - 5.3.2 Spektralpyrometer 202
 - 5.3.3 Bandstrahlungspyrometer 206
 - 5.3.4 Verhältnispyrometer 212
 - 5.3.5 Mehrkanalpyrometer 218
 - 5.4 Messunsicherheit 220
 - 5.4.1 Kalibrierung 220
 - 5.4.2 Absolute und relative Messunsicherheit 221
 - 5.4.3 Umfeldfaktor *SSE* 223
 - 5.5 Kenngrößen und Klassifizierung 226
 - 5.5.1 Kenngrößen 226
 - 5.5.2 Klassifizierung von Pyrometern 227
 - 5.5.3 Spezielle Baugruppen für Pyrometer 231
 - 5.6 Auswahl eines für eine Messaufgabe geeigneten Pyrometers 234
 - 5.6.1 Allgemeine pyrometrische Messungen 235
 - 5.6.2 Pyrometrische Temperaturmessungen an speziellen Materialien 238
 - 5.6.3 Applikationen mit Quotientenpyrometern 240
 - Literatur 241

- 6 Thermografie 243**
 - 6.1 Aufbau und Funktionsweise 244
 - 6.1.1 Aufbau 244
 - 6.1.2 Funktionsweise 245
 - 6.2 Bauarten 247
 - 6.2.1 Scannende Thermobildgeräte 247
 - 6.2.2 Zeilenkameras 248

6.2.3	Starrende Thermobildkameras	249
6.3	Messverfahren	256
6.3.1	Bandstrahlungsthermobildgeräte	257
6.3.2	Spektralkameras	258
6.3.3	Räumliche Auflösung	259
6.4	Justage	264
6.4.1	Ursachen der Ungleichförmigkeit	265
6.4.2	Arbeitspunkteinstellung	269
6.4.3	Korrektur defekter Pixel	272
6.4.4	Korrektur der Ungleichförmigkeit (<i>NUC</i>)	279
6.4.5	Radiometrische Justage	297
6.4.6	Zusammenfassung	299
6.5	Messunsicherheit	301
6.5.1	Ungleichförmigkeit	301
6.5.2	Umfeldeinfluss (Size-of-Source-Effekt)	302
6.5.3	Kalibrierung	304
6.6	Kenngößen und Klassifizierung	305
6.6.1	Kenngößen von Thermobildgeräten	305
6.6.2	Klassifikation von Thermobildgeräten	308
6.7	Auswahl einer für eine Messaufgabe geeigneten Thermobildkamera	311
6.7.1	Allgemeine Messungen mit Bandstrahlungsthermobildgeräten	313
6.7.2	Bandstrahlungsthermobildgeräte für konkrete Anwendungen	314
6.7.3	Spektralkameras	314
6.8	Anwendungen	315
6.8.1	Passive Thermografie	315
6.8.2	Aktive Thermografie	317
6.8.3	Auswertemethoden in der Thermografie	318
	Literatur	319

Stichwortverzeichnis	323
-----------------------------	------------