

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<i>IX</i>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<i>XI</i>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<i>XV</i>

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

**VI** | *Inhaltsverzeichnis*

- 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<sub>2</sub>-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 *NEP* 106
- 3.1.4 Detektivität 108
- 3.1.5 Rauschäquivalente Temperaturdifferenz *NETD* 110
- 3.1.6 Inhomogenitätsäquivalente Temperaturdifferenz *IEDT* 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 *MTF* 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
<b>5</b>	<b>Pyrometer</b>	<b>187</b>
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	Verhältnispymeter	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	Kenngößen und Klassifizierung	226
5.5.1	Kenngößen	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
<b>6</b>	<b>Thermografie</b>	<b>243</b>
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

**VIII** | *Inhaltsverzeichnis*

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

<b>Stichwortverzeichnis</b>	323
-----------------------------	-----