

F. Bernhard (Hrsg.)

Technische Temperaturmessung

Physikalische und meßtechnische Grundlagen, Sensoren
und Meßverfahren, Meßfehler und Kalibrierung

Handbuch für Forschung und Entwicklung, Anwendungspraxis und Studium
mit 990 Abbildungen, 297 Tabellen und 202 Berechnungsbeispielen



Springer

Gesamt-Inhaltsverzeichnis

In diesem Gesamt-Inhaltsverzeichnis sind zur schnellen Orientierung nur die Kapitel und ihre Hauptabschnitte aufgeführt. Zu den Hauptabschnitten sind kurze Informationen zu Inhalt und Besonderheiten eingefügt.

Die vollständigen Inhaltsverzeichnisse der Kapitel mit orientierenden Inhaltsangaben zu den Haupt- und Unterabschnitten findet man am Beginn des jeweiligen Kapitels.

1	Einführung	1
1.1	Bedeutung der Temperaturmessung	1
1.2	Entwicklungstendenzen der Temperaturmeßtechnik	2
1.3	Übersicht über technische Temperaturmeßverfahren	4
	<i>Grafische Darstellung</i>	
2	Grundlagen der Temperaturmeßtechnik	7
2.1	Charakteristik der Meßgröße Temperatur	9
	<i>Definition der thermodynamischen Temperatur und des Kelvin, physikalische Grundlagen</i>	
2.2	Temperaturmittelwerte	14
	<i>Definition, Berechnungsgleichungen und Meßmethoden für örtliche Temperaturmittelwerte, arithmetische und thermischen Mittelwerte</i>	
2.3	Prinzipielle Einteilung der Temperatur-Meßverfahren	20
	<i>Direkte - indirekte Messung, primäre - sekundäre Meßverfahren, unmittelbare - mittelbare Temperaturmessung</i>	
2.4	Temperaturskalen	26
	<i>Klassische Temperaturskalen, frühere internationale Temperaturskalen, ITS-90</i>	
3	Grundlagen der Temperaturmessung mit Berührungsthermometern	43
3.1	Allgemeine meßtechnische Eigenschaften	45
	<i>Prinzip des Berührungsthermometers, Glieder einer Temperaturmeßkette und ihre meßtechnischen Kennwerte, Ursachen für Temperaturmeßfehler, Abschätzung von Gesamtmeßfehlern bzw. -unsicherheiten von Temperaturmeßketten</i>	
3.2	Thermische Meßfehler	53
	<i>Systematik, einfache Modelle, Berechnungsgleichungen, Einflußfaktoren</i>	
3.3	Meßfehler durch geometrische Integration	61
	<i>Zusätzlicher Meßfehler bei Temperaturmittelwerte mit nichtlinearen Sensoren</i>	
4	Temperaturmessung mit Berührungsthermometern an Festkörpern	75
4.1	Temperaturmessung in Festkörpern und Schüttgütern	78
	<i>Einfluß von Rückwirkung sowie Temperaturfeldern und Wärmeströmen im Meßobjekt, thermische Meßfehler, Modellrechnungen, praktische Hinweise</i>	
4.2	Temperaturmessung an Oberflächen von Festkörpern	98
	<i>Begriff der Oberflächentemperatur, Messung mit Strahlungs- oder Berührungsthermometern, Beispiele, Meßziele und Sensoranordnungen, Grundsätze für die thermische Kopplung, Einflußgrößen und Meßfehler</i>	
4.3	Temperatursensor an der Oberfläche - Tastfühler	105
	<i>Thermische Meßfehler, Modellrechnungen, thermische Isolation, Kontaktwiderstand, senkrecht aufgesetzter Sensor, halbumendlicher und endlicher Festkörper, zusätzlicher Wärmeübergang, Temperaturfeld im Sensorbereich, Temperatursensoren parallel zur Oberfläche, Einflußfaktoren auf den thermischen Meßfehler</i>	
4.4	Ausführungen von Oberflächen-Temperaturfühlern	126
	<i>Fest angebrachte Oberflächen-Temperaturfühler, Tast-Temperaturfühler, typische thermische Meßfehler, dynamisches Verhalten</i>	

X	Gesamt-Inhaltsverzeichnis	
4.5	Korrektur des thermischen Meßfehlers <i>Rechnerische Korrektur, thermische Kompensation, dynamische Meßverfahren</i>	136
4.6	Kalibrierung von Tast-Temperaturfühlern <i>Grundsätze, rückwirkungsfreie Prüfoberflächen und thermisch passive Prüfkörper</i>	143
4.7	Temperatursensor in der Oberfläche <i>Temperatursensor ohne thermische Rückwirkung, Dünnschicht-Temperatursensoren, Messung von Wärmeströmen und Wärmeübergangskoeffizienten, Flüssigkristalle, Temperaturmeßfarben und Leuchtstoffe, thermische Kopplung zur Umgebung</i>	147
4.8	Temperatursensor im Körper - Extrapolationsmethode <i>Berechnung der Oberflächentemperatur aus innerem Temperaturgradienten</i>	157
4.9	Temperaturmessung an bewegten Oberflächen <i>Temperatursensor im Fluid, mitbewegte Berührungsthermometer</i>	160
5	Temperaturmessungen mit Berührungsthermometern in Fluiden	165
5.1	Meßbedingungen in Fluiden <i>Meßsituation und Meßaufgaben, Einflußfaktoren, thermische Meßfehler in strömenden Gasen und Flüssigkeiten</i>	168
5.2	Wärmeübergangskoeffizient α <i>Definition und Einflußfaktoren, Berechnung aus Stoff- und Betriebsdaten, kriterielle Gleichungen, Ähnlichkeits-Kennzahlen, Diagramme für Luft und Wasser, α-Kalorimeter</i>	170
5.3	Wärmeableitungsfehler <i>Wärmeströme und Temperaturen einer Temperaturmeßstelle, vereinfachtes und erweiterte Modelle, Vergleich mit experimentellen Ergebnissen, FEM-Berechnungen, Beispiele, Kennwerte, Kennzahlen und Kennfunktionen, Verminderung bzw. Korrektur des Wärmeableitungsfehlers</i>	179
5.4	Strahlungsmeßfehler <i>Ursachen, Grundlagen, rechnerische Abschätzung, Maßnahmen zur Verkleinerung des Strahlungsmeßfehlers, Absauge-Thermoelemente, Strahlungsschutz, Kompensation mit Zusatzheizung</i>	211
5.5	Fehler durch adiabatischen Aufstau - Recovery-Effekt <i>Thermischer Zusatzfehler in sehr schnell strömenden Gasen oder bei Luftfahrzeugen</i>	218
5.6	Schutzrohre für Temperaturfühler in Fluiden <i>Auswahl und Gestaltung, Keramische und metallische Werkstoffe, Bauformen und Abmessungen</i>	220
5.7	Mechanisch-thermische Belastung von Schutzrohren <i>Belastungsarten, relevante Daten von Meßmedium und Schutzrohrmaterialien, Berechnung nach Druckbehälter-Richtlinien, nach DIN bei statischer Druck- und Biegebelastung, Belastungsdiagramme, Schwingungsbelastung, Resonanzfrequenzen, Berechnung nach ASME, Zusatzberechnungen</i>	232
6	Dynamisches Verhalten von Berührungsthermometern in Fluiden	271
6.1	Einführung <i>Einstellvorgang - Sprungantwort, Übergangsfunktion, dynamische Fehler bei der Messung zeitlich veränderlicher Temperaturen, Ursachen und Einflußfaktoren</i>	275
6.2	RC-Ketten-Modelle für das dynamische Verhalten <i>Modell 1. Ordnung, Modell 2. Ordnung, Modell n-ter Ordnung, Berechnung des dynamischen Verhaltens eines coaxial aufgebauten Temperaturfühlers</i>	278
6.3	Dynamisches Verhalten eines homogenen Zylinders <i>Summenzeitkonstante, Fourier'sche Differentialgleichung, Randbedingungen, Lösungswege, analytische Lösung, Übergangsfunktionen, Übertragungsfunktion, Zeitkonstanten, Zeitkonstantensumme, vereinfachte Approximationsmodelle, passive dynamische α-Kalorimeter</i>	301
6.4	Parallel-Modelle für das dynamische Verhalten <i>Prinzip, thermisch getrennte und gekoppelte Temperatursensoren, Tendenz-Thermoelemente und -Widerstandsthermometer, Dynamik von Ausdehnungsthermometern</i>	323
6.5	Numerische Berechnung des dynamischen Verhaltens <i>FEM-Berechnungen instationärer Temperaturfelder, Übergangsfunktion eines industriellen Temperaturfühlers, Optimierung der Thermometerbauform</i>	333
6.6	Experimentelle Bestimmung dynamischer Kennwerte <i>Verfahren für Temperatur-Sprungfunktionen und sinusoidale sowie pseudostochastischen Testsignalfolgen</i>	338

6.7	Experimentelle Ermittlung dynamischer Kennwerte von Temperaturfühlern im eingebauten Zustand	348
	<i>Dynamischer Eigenerwärmungs-(LCSR-)Test, Plug-in-Test, Rauschanalyse</i>	
6.8	Kennwertermittlung aus Übergangsfunktion und Sprungantwort	362
	<i>Modellfunktionen des homogenen Zylinders, Verfahren nach Lieneweg und Hofmann, modifiziertes q-Bi-Verfahren, klassische Verfahren, Approximation durch Glieder 1., 2. und höherer Ordnung, Zeitprozentkennwerte, sukzessive Reduktion, erweiterte Approximationsmodelle, Kennwertermittlung aus Sprungantwort</i>	
6.9	Umrechnung dynamischer Kennwerte auf andere Betriebsbedingungen	395
	<i>Umrechnung auf Basis von Modellen 1., 2. und höherer Ordnung</i>	
6.10	Korrektur des dynamischen Verhaltens	401
	<i>Zielstellungen, analoge Korrekturverfahren, Kombination zweier Temperatursensoren, Endwert-Extrapolation, serielle und parallele Zeitkonstanten-Kompensation, Auswirkung systematischer Fehler und zufälliger Störungen, Regressions-Algorithmen</i>	
7	Kalibrierung von Berührungsthermometern	425
7.1	Einführung und Begriffe	429
	<i>Prüfung, Kalibrierung, Eichung</i>	
7.2	Grundlagen der Kalibrierung	432
	<i>Ziele, Kalibrierunsicherheit, Kalibrierung von anzeigenden Thermometern und Temperatursensoren, Ermittlung einer Sensor-Kennlinie, Abweichungsfunktion, Kalibrierung an Fixpunkten, Vergleichskalibrierung, Kalibrierhierarchie und -richtlinien</i>	
7.3	Kalibrierung an Temperaturfixpunkten	442
	<i>Metall-Schmelz- und Erstarrungs-Fixpunkte der ITS-90, Fixpunktzellen, Temperiereinrichtungen, Wassertripelpunkt, Fixpunkte $< 0^\circ$, Fehlereinflüsse, sekundäre Fixpunkte, Metall-Legierungen, Hochtemperatur-Fixpunkte, Kalibrierung eines Standard-Platin-Widerstandsthermometers, Meßunsicherheitsbudget</i>	
7.4	Miniaturfixpunktzellen und selbstkalibrierende Temperaturfühler	484
	<i>Funktionsweise, Modellrechnungen, Thermolemente mit Miniaturfixpunktzelle</i>	
7.5	Vergleichsverfahren	494
	<i>Flüssigkeits-, Fluid- und Luft-Thermostate, meßtechnische Überprüfung, Ausgleichsblöcke, Wärmerohre, Metallblock-Kalibratoren, Meßunsicherheit</i>	
7.6	Ermittlung von Kalibrier-Kennlinien	517
	<i>Kennlinientyp, mathematische Behandlung, Interpolations- und Approximationsgleichungen, lineare Regression, Kalibrierkennlinien für Pt-Widerstandsthermometer und Thermolemente, Kalibrierung von Flüssigkeits-Glasthermometern, Einpunktkalibrierung, Unsicherheit von Kalibrier-Kennlinien</i>	
7.7	Besondere Kalibrierverfahren	540
	<i>Kalibrierung von Sensoren für Temperaturdifferenzen, dynamische Kalibrierung</i>	
8	Mechanische Berührungsthermometer	547
8.1	Übersicht und Einsatzgebiete	549
8.2	Flüssigkeits-Glas-Thermometer	549
	<i>Grundlagen, historische Entwicklung, Wirkprinzip, Hauptbauformen, Begriffe, meßtechnische Eigenschaften, Einsatzgebiete, Kennlinie, Thermometer-Gläser, thermometrische Flüssigkeiten, Meßunsicherheiten, typische Fehler, Bauformen</i>	
8.3	Federthermometer	570
	<i>Wirkprinzip, Grundbauformen, Flüssigkeits-Federthermometer, Gasdruck-Federthermometer, Dampfdruck-Thermometer</i>	
8.4	Metall-Ausdehnungsthermometer	582
	<i>Stab-Ausdehnungsthermometer, Bimetall-Thermometer</i>	
9	Widerstandsthermometer	591
9.1	Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern	595
9.2	Metall-Widerstandsthermometer	596
	<i>Industrielle Platin-Widerstandsthermometer, Normung, Nennwert, Kennlinie $R(T)$, Empfindlichkeit, Temperaturkoeffizient, Näherungsgleichungen, inverse Kennlinie $T(R)$, abweichende Kennlinien $R(T)$, Grenzübergänge, Bauformen Diffverhalten, Nickel-, Kupfer-, Balco-, Rh-Fe-, Ir-Widerstandsthermometer, Bauformen technischer Widerstandsthermometer, Bauformen für fluidische Medien, Meßeinsätze, Schutzrohre und Befestigungsmittel, Mantel- und Kabel-Widerstandsthermometer, Platin-Präzisions-(Standard-)Widerstandsthermometer</i>	

9.3	Halbleiter-Widerstandsthermometer	641
	<i>Leitfähigkeit von Halbleitern, NTC-Thermistoren, PTC-Thermistoren, Silizium-Planar-Temperatursensoren, Ge- und Carbon-Widerstandsthermometer</i>	
9.4	Eigenerwärmung bei Widerstandsthermometern	666
	<i>Grundlagen, Grundgleichungen, Spannungsempfindlichkeit, Einflußfaktoren, Eigenerwärmungskoeffizient, Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen, Umrechnung auf andere Wärmeübergangsbedingungen, Einfluß des konstruktiven Aufbaus, experimentelle Bestimmung des Eigenerwärmungskoeffizienten, Verminderung bzw. Korrektur des Eigenerwärmungsfehlers, Extrapolation auf $I = 0$, Impulsstromspeisung</i>	
9.5	Kennlinien-Korrektur durch passive Beschaltung	676
	<i>Beschaltung mit Vorwiderstand, Parallel-Widerstand, Reihen- und Parallelwiderstand</i>	
9.6	Meßschaltungen für Widerstandsthermometer	682
	<i>Spannungsteilerschaltung, Kennlinien-Linearisierung von Thermistoren, Strom- und Spannungsmessung, Verhältnismessung, Brückenschaltungen mit Abgleichverfahren, Konstantstrom- und Konstantspannungs-Brücken im Ausschlag-Verfahren, temperaturliniare Schaltungen, Brückenschaltungen mit 2 Sensoren, Wechselstrom-Meßbrücken, Kalibrierung von Wechselstrom-Präzisionsmeßbrücken und Gleichspannungs-Widerstands-Meßgeräten</i>	
9.7	Zusätzliche Fehlerquellen	701
	<i>Thermospannungen im Meßkreis, elektromagnetische Einstreuungen, Isolationswiderstand, Einfluß der Zuleitungs- und Innenleitungs-Widerstände, Zweileiterschaltung, Dreileiterschaltung, Brücke mit Vierleiterschaltung</i>	
9.8	Meßumformer für Widerstandsthermometer	714
	<i>Meßumformer mit analogem Ausgangssignal, Transmitter mit analoger und digitaler Meßwertverarbeitung, Strompegelgrenzen für Meß- und Ausfallinformation, digitale Zusatzsignale nach dem HART-Protokoll, Transmitter mit digitalem Ausgangssignal, Feldbus</i>	
10	Thermoelemente	723
10.1	Grundlagen	727
	<i>Peltier-, Thomson-, Seebeck-Effekt, elementare thermodynamische Beziehungen, absolute und relative Seebeck-Koeffizienten, Thermospannung, traditionelle Regeln für thermoelektrische Stromkreise, Analyse thermoelektrischer Kreise, Thermospannung und Temperaturgradient, Inhomogenität und Drift von Thermoelementen</i>	
10.2	Thermoelement-Meßtechnik	763
	<i>Grundschaltungen mit getrennter und kombinierter Anschluß- und Vergleichsstelle, Messung von Temperaturmittelwerten, Thermoketten, Vergleichsstellen-Thermostate und -Korrekturverfahren, Bauformen von Thermoelementen, Steckverbinder, Thermo- und Ausgleichsleitungen</i>	
10.3	International genormte Thermoelemente	800
	<i>Materialien, Kennlinien-Gleichungen, Grundwerte, Empfindlichkeit und Grenzabweichungen der Thermoelemente Cu-CuNi (T), Fe-CuNi (J), NiCr-CuNi (E), NiCr-NiAl (K), NiCrSi-NiSi (N), PtRh-Pt (R, S), PtRh-PtRh (B)</i>	
10.4	Nicht genormte Unedelmetall-Thermoelemente	865
	<i>Materialien, Kennlinien-Gleichungen, Grundwerte, Empfindlichkeit und Grenzabweichungen der Thermoelemente Fe-CuNi (L), Cu-CuNi (U)</i>	
10.5	Nicht genormte Edelmetall-Thermoelemente	870
	<i>Materialien, Kennlinien, Grundwerte, Empfindlichkeit der Thermoelemente Pt-Pd, Au-Pt</i>	
10.6	Hochtemperatur-Thermoelemente	875
	<i>Materialien, Kennlinien, Grundwerte und Empfindlichkeit der WRe-Thermoelemente</i>	
11	Spezielle elektrische Temperaturmeßverfahren	883
11.1	Rauschthermometer	885
	<i>Grundgleichungen, Fehlerquellen, direkte Rauschspannungsmessung, Rauschleistungsmessung, Messung mit Eingangs-Schwingkreis, mit Amplituden-Diskriminierung, Vergleichsverfahren, Meßdauer, Meßunsicherheit, Anwendung im Hochtemperaturbereich, kombinierte Thermoelement-Rauschthermometer, Einsatz im Tieftemperaturbereich</i>	
11.2	Frequenzanaloge Temperatursensoren	902
	<i>Einführung, Quarz-Thermometer, Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz, gerätetechnische Lösungen, akustische Oberflächenwellen-Sensoren, Einsatzbeispiele</i>	
11.3	Elektronische Temperatursensoren	920
	<i>U-I-Kennlinien von Dioden und Transistoren, temperaturlineare Spannungsdifferenz, PTAT-Sensoren, temperaturlineare Spannungs- und Stromquellen</i>	

12	Spezielle nichtelektrische Temperaturmeßverfahren	935
12.1	Temperaturindikatoren <i>Festkörper-Temperaturindikatoren, Seger-Kegel, keramische Riegel und Ringe, Metall-Schmelzkörper, Temperaturmeßfarben, Flüssigkristall-Temperaturindikatoren</i>	937
12.2	Akustische Temperaturmessung <i>Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in Gasen, Flüssigkeiten und in Festkörpern, nichtresonante Meßverfahren, resonante Verfahren, Fehlerquellen, Einsatzgebiete und Anwendungsbeispiele, Schallschall-Tomografie</i>	944
12.3	Faseroptische Temperaturmessung <i>Grundlagen, nutzbare optische Effekte, Einteilungsprinzipien, Marktübersicht, Anwendungsgebiete, Lumineszenz-Tempertursensoren, Strahlungsthermometer mit Faseroptik, ortsauflösende verteilte Temperatursensoren, interferometrische Temperatursensoren, thermochrome Temperatursensoren, Fasergitter-Temperatursensoren</i>	959
13	Strahlungstemperaturmessung	975
13.1	Einführung	979
13.2	Grundlagen der Strahlungstemperaturmessung <i>Größen, Begriffe, fotometrische Grundgesetze, strahlungsphysikalische Eigenschaften, Schwarzer Körper, Kirchhoffsches Strahlungsgesetz, Emissionsgrad, Strahlungsgesetze von Planck und Wien, Näherung nach Rayleigh-Jeans, Wiensches Verschiebungsgesetz, Stefan-Boltzmann-Gesetz, Schwarze, graue und selektive Strahler, Hohlraumstrahler</i>	980
13.3	Verfahren der Strahlungstemperaturmessung <i>Messung am Schwarzen Strahler, Strahlendichtethermometer, Fehlerquellen</i>	995
13.4	Bauarten von Strahlungsthermometern <i>Gesamt-, Spektral-, Band-, Verhältnis-, Mehrkanal-Strahlungsthermometer</i>	1002
13.5	Kennwerte von Strahlungsthermometern <i>Definitionen</i>	1013
13.6	Korrektur des Einflusses von Emissionsgrad und Umgebungstemperatur <i>Grundlagen, Korrekturgleichungen für Gesamt-, Spektral-, Band- und Verhältnis-Strahlungsthermometer</i>	1017
13.7	Ermittlung oder Bestimmung des Emissionsgrades <i>Grundlagen, Literaturwerte, kalorimetrische Methode, Reflexionsmethode, Strahlungsvergleich mit Schwarzen Strahler, Emissionsgrades strahlungsundurchlässiger, schlecht wärmeleitender sowie transparenter Materialien, von Flammen und heißen Gasen</i>	1032
13.8	Gerätetechnik <i>Anwenderorientierte Einteilung, optischer Kanal, Ausführungsbeispiele, Wechsellicht-Strahlungsthermometer, Linescanner</i>	1047
13.9	Empfänger von Strahlungsthermometern <i>Einteilung, Wirkprinzip, Haupteigenschaften, Entwicklungstendenzen, Kennwerte, Quantendetektoren, Fotodioden und Fotowiderstände, Kühlsysteme, thermische Empfänger, Wirkungsweise und Übersicht, Strahlungsthermoelemente, Bolometer, pyroelektrische Detektoren</i>	1054
13.10	Elektronische Signalverarbeitung <i>Gleichlicht- und Wechsellicht-Strahlungsthermometer</i>	1088
13.11	Aspekte der Gehäusekonstruktion und des Zubehörs <i>Maßnahmen zur Temperaturstabilität, Meßfeldmarkierung</i>	1090
13.12	Prüfung und Kalibrierung von Strahlungsthermometern <i>Übersicht, Wartung und Prüfung, Prüfung von Kennwerten und Spezifikationen, Kalibrierungsunsicherheiten, Kalibrierstrahler, Umfeldfaktor, Fixpunktstrahler, Transfer-Strahlungsthermometer, Wolfram-Bandlampen, Kalibrierschemata, Vergleichskalibrierung, Referenzstrahler, Meßunsicherheitsbudget, Kontrolle der Kalibrierung</i>	1091
13.13	Anwendungsgrundsätze und Einsatzbeispiele <i>Auswahl-Kriterien, Einfluß von Zwischenmedien, Verminderung des Emissionsgradeinflusses, Anwendungsbeispiele</i>	1139
14	Thermografie	1149
14.1	Aufgaben, Zielstellungen und Einsatzgebiete der Thermografie	1151
14.2	Grundlagen <i>Strahlungsphysikalische Eigenschaften von Meßobjekten und Übertragungsstrecke, Einflußfaktoren und Fehlerquellen der Thermografie, spezifische spektrale Ausstrahlung, Emissionsgrad, thermische Auflösung, Strahlungscontrast, Einfluß von Fremdstrahlung</i>	1151

14.3	Thermografische Verfahren und Geräte <i>Temperaturmeßfarben, Flüssigkristalle, Infrarot-Fotografie, Evaporograf, Infrarot-Bildwandler, Infrarot-Vidicons, Strahlungsthermometer mit elektromechanischen Abtastvorrichtung, Linescanner, Einelementdetektoren, Detektorzeilen, Detektorarrays, Erzeugung von Rasterbildern, Abtastfehler, Thermografiegeräte mit Einelement-Sensoren, mit Sensorzeilen und Detektorarrays</i>	1160
14.4	Auswahlkriterien für ein Thermografiesystem <i>Einsatzzielstellung, Meßaufgaben, Forderungen an Thermografiesysteme, Begriffe und meßtechnische Daten</i>	1179
14.5	Prüfung und Kalibrierung von Thermografiegeräten <i>Messung der rauschäquivalenten Temperaturdifferenz (NETD), der Winkelauflösung (SRF), der minimal auflösbaren (MRTD) und der minimal wahrnehmbaren Temperaturdifferenz (MDTD), Kalibrierung</i>	1185
14.6	Meßwertverarbeitung und Bildauswertung <i>Prinzipielle Möglichkeiten, zeitliche und örtliche Mittelung, Inhomogenitäts-Korrektur, Emissionsgradkorrektor</i>	1192
14.7	Anwendungsbeispiele <i>Messung und Darstellung von Temperaturfeldern, technische Diagnostik, Objekterkennung, Anwendungsbeispiele passiver und aktiver Verfahren</i>	1195
15	Spektroskopische Temperaturmessung	1201
15.1	Grundlagen <i>Grundvoraussetzungen für spektroskopische Temperaturmeßverfahren, thermodynamisches und lokales thermodynamisches Gleichgewicht, Unterschiede zur Strahlungstemperaturmessung, thermische Anregung und Ionisierung von heißen Gasen und Plasmen, Selbstabsorption und Temperaturmessung in optisch dichten Plasmen</i>	1202
15.2	Spektroskopische Temperaturmeßverfahren <i>Temperaturmessung aus Linien- und Kontinuumsstrahlung, aus Strahldichte einer Spektrallinie, durch Messung von relativen Strahldichten, von Strahldichten einer Kontinuumsstrahlung, aus Linienprofilen, Laserspektroskopische Temperaturmessung aus Absorption und Brechzahl eines Plasmas, laserinduzierte Fluoreszenz, spontane Ramanstreuung, Rayleigh-Streuung, kohärente anti-Stokes-Raman-Streuung (CARS)</i>	1209
	Anhang	1229
A.2	Grundlagen der Temperaturmeßtechnik <i>Tabellen und Gleichungen zur Internationalen Temperaturskala ITS-90</i>	1232
A.3	Grundlagen der Temperaturmessung mit Berührungsthermometern <i>Zusatzberechnungen zum Meßfehler durch geometrische Integration</i>	1235
A.6	Dynamisches Verhalten von Berührungsthermometern in Fluiden <i>Zusatzbeispiele, Tabellen</i>	1237
A.7	Kalibrierung von Berührungsthermometern <i>Tabelle von Temperaturfixpunkten</i>	1242
A.9	Widerstandsthermometer <i>Grundwerte, Empfindlichkeit, Kennlinien-Koeffizienten, zulässige Grenzabweichungen verschiedener Meßwiderstände</i>	1245
A.10	Thermoelemente <i>Thermo-EMK von Metallen, Kennlinien-Koeffizienten, Grundwerte und relative Seebeckkoeffizienten von genormten Thermoelement-Materialien gegen Platin, Kennlinien-Koeffizienten und Grundwerte von Thermoelementen</i>	1264
A.12	Spezielle nichtelektrische Temperaturmeßverfahren <i>Kegelfalltemperaturen von Seger-Kegeln</i>	1324
A.13	Strahlungstemperaturmessung <i>Tabellen zum Schwarzen Strahler</i>	1325
A.14	Thermografie <i>Tabellen zum Schwarzen Strahler</i>	1326
	Literaturverzeichnis	1329
	Autorenliste zum Literaturverzeichnis	1413
	Verzeichnis zitierter Normen, Vorschriften und Regeln	1435
	Sachwortverzeichnis	1445