

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines (F. Lieneweg)	1	3.1.1.2. Fehler und Fehlerberichtigung	32
1.1. Anforderungen an Temperaturmeßgeräte	1	3.1.1.2.1. Fehlergrenzen und Meßunsicherheit	32
1.2. Fehler und Fehlergrenzen, Auswertung der Meßergebnisse	3	3.1.1.2.2. Der Fadenfehler und seine Berichtigung	32
Schrifttum	7	3.1.1.2.3. Weitere Einflußgrößen, ihre Berichtigung und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung	37
2. Grundlagen der Temperaturmessung (F. Lieneweg)	8	3.1.1.2.4. Anzeigeberichtigung bei der Prüfung von zu eichenden Thermometern	38
2.1. Geschichtliches	8	3.1.2. Federthermometer	39
2.1.1. Die Thermometer	8	3.1.2.1. Flüssigkeits-Federthermometer	39
2.1.2. Die Temperaturskalen	9	3.1.2.1.1. Wirkungsweise und Bauformen	39
2.2. Die Thermodynamische und die Internationale Praktische Temperaturskala	12	3.1.2.1.2. Fehler und Fehlerberichtigung	43
2.2.1. Temperatureinheiten, Formelzeichen sowie Umrechnungsgleichungen	12	3.1.2.2. Dampfdruck-Federthermometer	44
2.2.2. Das Gasthermometer und die Verwirklichung der thermodynamischen Kelvin-Temperaturskala (TKTS)	12	3.1.2.2.1. Wirkungsweise und Bauformen	47
2.2.3. Die Internationale Praktische Temperaturskala (IPTS)	13	3.1.2.2.2. Fehler und Fehlerberichtigung	47
2.2.4. Unterschiede zwischen den Internationalen Temperaturwerten (ITS-27, IPTS-48' und IPTS-68) und Meßunsicherheiten	17	3.1.2.3. Gas-Federthermometer	47
2.2.5. Erweiterung der Internationalen Temperaturskala bis herab zu 0,2K	18	3.1.3. Stabausdehnungs- und Bimetall-Thermometer	48
2.2.6. Verfahren und Anordnungen zur Temperaturmessung unter 90 K bis 10^{-2} K	19	3.1.3.1. Stabausdehnungsthermometer	48
Schrifttum	21	3.1.3.2. Bimetall-Thermometer	49
3. Berührungsthermometer	24	3.1.3.2.1. Dimensionierung der Bimetalle	49
3.1. Ausdehnungsthermometer (F. Lieneweg)	24	3.1.3.2.2. Fertigung der Bimetalle und Ausführungsform	51
3.1.1. Flüssigkeits-Glasthermometer	24	3.2. Elektrische Thermometer (F. Lieneweg)	51
3.1.1.1. Wirkungsweise und Bauformen	24	3.2.1. Thermoelemente	52
3.1.1.1.1. Anforderungen an die Glaseigenschaften	24	3.2.1.1. Wirkungsweise	52
3.1.1.1.2. Anforderungen an die thermometrischen Flüssigkeiten	25	3.2.1.1.1. Theorie der thermoelektrischen Eigenschaften von Thermopaaren -- Peltier- und Thompson-Effekte	52
3.1.1.1.3. Einschluß- und Stabthermometer -- konstruktiver Aufbau	25	3.2.1.1.2. Thermoelektrische Spannungsreihe	54
3.1.1.1.4. Ausführungsformen	27	3.2.1.1.3. Anforderungen an die Auswahl der Legierungsbestandteile von Thermodrähten	55
		3.2.1.1.4. Wesentliche Grundgesetze für die Temperaturmessung mit Thermoelementen	55
		3.2.1.2. Allgemeine Anforderungen an die Werkstoffe für Thermopaare	56
		3.2.1.2.1. Einfluß von Inhomogenitäten	57
		3.2.1.2.2. Ausführung der Meßstellen	57
		3.2.1.3. Kennlinien (Grundwertreihen) und zulässige Abweichungen	57
		3.2.1.3.1. Grundwertreihen	57
		3.2.1.3.2. Zulässige Abweichungen	68
		3.2.1.3.3. Berücksichtigung bei Abweichungen der Vergleichsstellentemperatur von der Bezugstemperatur	68

3.2.1.4. Zusammensetzung und Eigenschaften von Thermopaaren	70	3.2.2.1.1. Metallene Widerstandsthermometer, ihre Grundwerte und zulässigen Abweichungen	107
3.2.1.4.1. Drahtdicken der Thermodrähte	70	3.2.2.1.2. Halbleiter-Thermometer und ihre Temperaturabhängigkeit	111
3.2.1.4.2. Allgemeines über Zusammensetzung, Stabilisierung, Beständigkeit und Verwendungsgrenzen	70	3.2.2.1.3. Werkstoffe für Halbleiter	111
3.2.1.4.3. Unedle metallische Thermopaare	72	3.2.2.2. Aufbau der Widerstandsthermometer	113
3.2.1.4.4. Edle metallische Thermopaare	73	3.2.2.2.1. Der Meßwiderstand	113
3.2.1.4.5. Hochschmelzende metallische Thermopaare	75	3.2.2.2.2. Meßwiderstände für wissenschaftliche Zwecke und als Normalien	114
3.2.1.4.6. Nichtmetallische hochschmelzende (Halbleiter-) Thermopaare	75	3.2.2.2.3. Hartglas-Meßwiderstände	115
3.2.1.4.7. Thermopaare für Tieftemperaturmessungen	76	3.2.2.2.4. Keramik-Meßwiderstände	115
3.2.1.4.8. Thermopaare für Strahlungspyrometer	77	3.2.2.2.5. Aufbau und Anforderungen an Meßeinsätze	116
3.2.1.5. Bauarten von Thermoelementen	77	3.2.2.2.6. Sonderausführungen von Widerstandsthermometern für spezielle Meßaufgaben	117
3.2.1.5.1. Armierte und nichtarmierte Thermoelemente	77	3.2.2.2.7. Formen und Aufbau von Heißleiterthermometern	119
3.2.1.5.2. Isoliermaterial für Theroschenkel	77	3.2.2.2.8. Meßtechnische Eigenschaften der Heißleiter	119
3.2.1.5.3. Mantelthermoelemente, Aufbau, Abmessungen, Anwendungen	80	3.2.2.2.9. Ausgleich der Streuungen und Linearisierung der Kennlinie	119
3.2.1.5.4. Gerade Thermoelemente	80	3.2.2.2.10. Größe der Heißleiterwiderstände, ihre Anwendungen und Meßunsicherheiten	120
3.2.1.5.5. Winkelförmige Thermoelemente	82	3.2.2.2.11. Aufbau und Anwendung von Kaltleitern	121
3.2.1.5.6. Weitere Ausführungsarten für verschiedene industrielle Anwendungen	83	3.2.2.3. Einfluß und Abgleich der Zuleitungswiderstände	122
3.2.1.6. Einfluß und Ausgleich der Vergleichstemperatur	84	3.2.2.3.1. Abgleich und Meßfehler bei Zweileiterschaltungen	124
3.2.1.6.1. Berechnung des Einflusses der Vergleichstemperatur	84	3.2.2.3.2. Abgleich und Meßfehler bei Drei- und Vierleiterschaltungen	125
3.2.1.6.2. Ausgleichsleitungen (Werkstoffe, Aufbau und Meßfehler)	86	3.2.2.4. Erwärmungsfehler	126
3.2.1.6.3. Ausgleich des Einflusses der Vergleichstemperatur	89	3.2.2.5. Fehler und Fehlergrenzen	127
3.2.1.7. Berechnung und Abgleich des Einflusses der Leitungswiderstände	94	3.3. Besondere Meßverfahren (<i>H. Vanvor</i>)	128
3.2.1.7.1. Ausschlagverfahren	94	3.3.1. Temperatur-Meßfarben; Temperaturmeßstifte; flüssige Kristalle; Temperatur-Papiere	128
3.2.1.7.2. Kompensationsverfahren und Meßverstärker	101	3.3.1.1. Temperatur-Meßfarben	128
3.2.1.7.3. Ausschlagverfahren mit Teilkompensation	101	3.3.1.2. Temperatur-Meßstifte	128
3.2.1.8. Sonderschaltungen	102	3.3.1.3. Flüssige Kristalle	130
3.2.1.8.1. Temperatur-Differenz- und -Tendenzmessungen	102	3.3.1.4. Temperatur-Papiere	131
3.2.1.8.2. Meßstellenumschaltung	103	3.3.2. Temperatur-Kennkörper	132
3.2.1.8.3. Thermoelementbruchsicherungen	103	3.3.2.1. Segerkegel	132
3.2.1.9. Fehler und Fehlergrenzen	103	3.3.2.2. Schmelzkörper	132
3.2.1.9.1. Übersicht über mögliche Meßfehler	104	3.3.3. Kapazitive, induktive und magnetische Verfahren	133
3.2.1.9.2. Weitere Störeinflüsse in technischen Anlagen	104	3.3.3.1. Kapazitive Verfahren	133
3.2.2. Widerstandsthermometer	106	3.3.3.2. Induktive Verfahren	134
3.2.2.1. Wirkungsweise und Werkstoffe	106	Schrifttum	134

4. Analoge und digitale Meßverfahren für Temperaturmessungen	141	5. Prüfverfahren und -Einrichtungen für Berührungsthermometer (F. Lieneweg)	179
4.1. Analoge Meßverfahren und Meßgeräte (W. Höhne)	141	5.1. Allgemeine Anforderungen	179
4.1.1. Messung der Thermospannung	141	5.2. Prüfen durch Vergleich mit Normalthermometern	179
4.1.1.1. Ausschlagverfahren	141	5.2.1. Prüfen in Flüssigkeitsbädern	180
4.1.1.1.1. Das dynamische Verhalten von Drehspulmeßwerken	141	5.2.2. Prüfen in Rohröfen	180
4.1.1.1.2. Bemessung der Meßschaltung zur Thermospannungsmessung	143	5.2.3. Prüfen in Luft	181
4.1.1.2. Kompensationsverfahren	145	5.2.4. Prüfen von Thermodrähten durch Aufheizen und Vergleich mit einem Thermoelement-Normal	181
4.1.1.2.1. Kompensations-Meßgeräte nach dem Potentiometerverfahren	146	5.2.5. Auswertung der Einzelmessungen	181
4.1.1.2.2. Bemessung der Kompensations-Brückenschaltung für Thermospannungsmessungen	146	5.3. Prüfen bei Fixpunkten	182
4.1.1.2.3. Kompensations-Meßgeräte nach dem Strommesserverfahren, Meßverstärker und Meßumformer	148	5.3.1. Prüfen beim Eis- oder Tripelpunkt	182
4.1.2. Messung des Widerstands von Widerstandsthermometern	152	5.3.2. Prüfen beim Siedepunkt	183
4.1.2.1. Kompensationsverfahren	152	5.3.3. Prüfen beim Erstarrungspunkt von Metallen	183
4.1.2.1.1. Spannungs-Kompensationsverfahren	152	5.3.4. Prüfen nach der Drahtabschmelzmethode	184
4.1.2.1.2. Brücken-Nullverfahren	153	5.4. Überprüfen elektrischer Temperatur-Meßeinrichtungen	184
4.1.2.1.3. Selbstabgleichende Brückenschaltungen nach dem Brücken-Nullverfahren und ihre Bemessung	154	Schrifttum	185
4.1.2.1.4. Meßumformer für Widerstandsthermometer	161	6. Mantel- und Schutzrohre für Thermometer	186
4.1.2.2. Ausschlagverfahren	163	6.1. Allgemeine Hinweise (F. Lieneweg)	186
4.1.2.2.1. Die Brückenschaltung mit Drehspulgalvanometer und ihre Bemessung	163	6.2. Chemische Beanspruchung von Thermometern (F. Lieneweg)	189
4.1.2.2.2. Quotientenverfahren	166	6.2.1. Metallene Werkstoffe	189
4.1.2.2.3. Sonderschaltungen	167	6.2.1.1. Kupferhaltige Werkstoffe	189
4.1.2.3.1. Temperaturdifferenzschaltung	167	6.2.1.2. Stähle für Salz- und Metallschmelzen	189
4.1.2.3.2. Meßstellenumschaltung	167	6.2.1.3. Hitzebeständige und oxydationsfeste legierte Stähle	189
4.2. Digitale Meßverfahren (H. Breunig)	168	6.2.1.4. Werkstoffe für Meßeinsätze	198
4.2.1. Digitale Meßwertdarstellung und Zahlensichtgeräte	168	6.2.1.5. Schutz gegen Erosionen	198
4.2.2. Analog-Digitalumsetzungsverfahren	169	6.2.2. Keramische Werkstoffe	198
4.2.2.1. Stufenumformer	170	6.2.2.1. Allgemeine Anforderungen	198
4.2.2.2. Nachlaufende Umsetzer	170	6.2.2.2. Eigenschaften der verschiedenen keramischen Schutzrohrwerkstoffe	199
4.2.2.3. Integrierende Umsetzer	170	6.3. Die mechanische Beanspruchung von Thermometern (P. Dittrich)	200
4.2.3. Digitale Temperaturmeßeinrichtungen	171	6.3.1. Schutzrohr-Werkstoff	200
4.2.3.1. Kennlinien-Linearisierung von Widerstandsthermometern	171	6.3.2. Energieträger	201
4.2.3.2. Quarzkristallthermometer	174	6.3.3. Festigkeitsberechnung des Tauchteils	203
4.2.4. Meßwertverarbeitung und Prozeßrechenanlagen	175		
Schrifttum	178		

6.3.4. Stabilitätsrechnung	205	7.2. Einfluß der Wärmeübertragung bei Oberflächentemperaturmessungen	237
6.3.5. Belastungskurven und -diagramme	205	7.2.1. Berechnung der Fehler	237
6.3.6. Festigkeitsberechnung des Einschraubzapfens	208	7.2.2. Zu erwartende Meßfehler bei verschiedenen Anbauanordnungen elektrischer Thermometer	238
6.3.6.1. Dichtbare Drücke	208	7.2.3. Oberflächentemperaturmessung durch Wurzelheizung	240
6.3.6.2. Belastbarkeit des Gewindes	209	7.3. Einfluß der Wärmeübertragung auf das Zeitverhalten von Thermometern	240
6.3.6.3. Belastbarkeit des Gewindehalses	209	7.3.1. Berechnung der Übergangsfunktion aus den Gesetzen der Wärmeübertragung	240
6.3.7. Sicherheitszahlen	211	7.3.1.1. Zeitkonstante bei exponentieller Änderung der Übergangsfunktion	242
6.3.8. Strömungserregte Resonanzschwingung	211	7.3.1.2. Berechnung der Übergangsfunktion für beliebige Thermometer und Schutzrohre	243
Schrifttum	213	7.3.1.3. Thermometer mit Mitten- und Oberflächenwirkung	243
7. Statische und dynamische Einflüsse auf die Temperaturanzeige von Thermometern (<i>F. Lieneweg</i>)	214	7.3.1.4. Charakterisierung der Übergangsfunktion in halblogarithmischer Darstellung	244
7.1. Einfluß der Wärmeübertragung auf den Thermometereinbaufehler	214	7.3.2. Folgerungen für den Aufbau schnell ansprechender Thermometer unter Berücksichtigung sekundärer Wärmeströmungen	247
7.1.1. Berechnung des Einbaufehlers durch Wärmeleitung und Strahlung	215	7.3.3. Berechnung der Übergangsfunktion in beliebigen Mitteln	249
7.1.1.1. Einbaufehler in Rohrleitungen, Schutzrohr ohne herausragende Teile	215	7.3.3.1. Berechnung der Übergangsfunktion aus der in einem einzigen Bezugsmittel	249
7.1.1.2. Einfluß des Wärmestroms durch die Bodenfläche auf den kleinstmöglichen Ableitungsfehler	218	7.3.3.2. Berechnung der Übergangsfunktion aus der in zwei Bezugsmitteln	249
7.1.1.3. Herabsetzung der Fehler durch Strahlungsschutz	220	7.3.4. Aufnahme von Übergangsfunktionen	251
7.1.1.4. Einbaufehler in Rohrleitungen mit teilweise herausragenden Schutzrohrteilen	221	7.3.4.1. Allgemeine Anforderungen	251
7.1.1.5. Berechnungsgang der Einbaufehler nach dem Überlagerungsgesetz	223	7.3.4.2. Überprüfung in Luft und Wasser bei normierten Strömungsgeschwindigkeiten	251
7.1.2. Berechnung des Einbaufehlers in beliebigen Mitteln aus Thermometer-Kennzahlen	228	7.3.4.3. Umrechnung von Übergangszeiten auf normierte Werte	251
7.1.2.1. Die Thermometerkennzahl V_T als Maß für den Wärmedurchgangsfehler	228	7.3.4.4. Übergangszeiten und Thermometer-Kennzahlen V_T für verschiedene Thermometer	253
7.1.2.2. Berechnung der Kennzahl V_T und des scheinbaren relativen Wärmeübergangskoeffizienten α''_{xs}	229	7.3.4.5. Prüfanordnung zur Aufnahme der Übergangsfunktion	255
7.1.2.3. Die Thermometerkennzahl K_T als Maß für den Wärmeableitungsfehler	230	7.3.5. Die Übergangsfunktion bei zeitabhängigen Temperaturänderungen	257
7.1.2.4. Verlauf der Einbaufehler abhängig von V_T und K_T	231	7.3.5.1. Linearer Temperaturanstieg	258
7.1.2.5. Experimentelle Bestimmung des Einbaufehlers in Luft und Wasser sowie im Betrieb	234	7.3.5.2. Exponentieller Temperaturanstieg	259
7.1.3. Folgerungen für Aufbau und Einbau von Thermometern	234	7.3.5.3. Periodische Temperaturänderungen	259

7.3.6. Approximation der aufgenommenen Übergangsfunktionen mittels Zeitkonstanten	262	8.3.5. Stahlschmelzen und Buntmetallschmelzen	281
7.3.6.1. Darstellung von Übergangsfunktionen höherer Ordnung mit Ersatz-Zeitkonstanten	262	8.4. Temperaturmessung an Oberflächen	284
7.3.6.2. Bestimmung der Zeitkonstanten nach der Frequenzgangmethode	262	8.4.1. Temperaturmessung an ruhenden Oberflächen	284
7.3.6.3. Kennzeichnung mittels Wendetangente durch Verzugs- und Ausgleichszeit	262	8.4.2. Temperaturmessung an bewegten Oberflächen	289
7.3.6.4. Graphische Ermittlung der Zeitkonstanten durch halblogarithmische Darstellung der Übergangsfunktion	262	8.5. Temperaturmessung in festen Körpern	293
7.3.6.5. Ermittlung weiterer Zeitkonstanten nach dem Verfahren der sukzessiven Reduktion	263	8.6. Ausgewählte Meßanordnungen	296
7.3.6.6. Zeitkonstantenermittlung mit einem Kennfunktionsatlas	263	8.6.1. Wicklungstemperatur von Transformatoren und elektrischen Maschinen	296
7.3.6.7. Algorithmische Bestimmung der Zeitkonstanten	264	8.6.2. Temperaturbestimmung durch thermisches Abbild	297
7.4. Einfluß der Wärmeübertragung auf den Erwärmungsfehler von Widerstandsthermometern	265	8.6.3. Temperaturmessungen an elektrischen Kabeln	299
Schrifttum	265	8.6.4. Temperaturmessung in explosionsgefährdeten Räumen	300
8. Technische Anordnungen und Anwendungen von Berührungsthermometern (H. Vanvor)	268	Schrifttum	302
8.1. Temperaturmessung in Gasen und Dämpfen	268	9. Strahlungsthermometer (F. Lieneweg)	304
8.1.1. Lufttemperaturmessungen	268	9.1. Grundgesetze der Strahlung	304
8.1.2. Klimatisierung und Behaglichkeitsmeßverfahren	268	9.1.1. Temperaturstrahlung, wichtige Begriffe und Konstanten	304
8.1.3. Messungen in Behältern, Kanälen und Rohrleitungen	269	9.1.2. Kirchhoffsches Gesetz	305
8.1.4. Ausführungshinweise für Betriebsmessungen	270	9.1.3. Emissionsgrad	305
8.1.5. Beseitigung von Wärmeableitungsfehlern durch Wurzelheizung	271	9.1.4. Strahlungsgesetze	307
8.1.6. Durchflußthermometer	273	9.1.5. Bruchteilmfunktionen zum Planckschen Strahlungsgesetz	309
8.1.7. Messungen in schnell strömenden Gasen	277	9.1.6. Graue Strahler und Selektivstrahler	311
8.2. Temperaturmessung in Flüssigkeiten	278	9.1.7. Spektrale (Schwarze)-, Verteilungs-, Farb- und Verhältnis-Temperaturen (T_s , T_v , T_f und T_r)	312
8.3. Temperaturmessung in Schmelzen	279	9.1.8. Bandstrahlungs- und Gesamtstrahlungstemperaturen (T_b und T_t)	313
8.3.1. Kunststoffschmelzen	279	9.2. Kennzeichnung von Strahlungs-pyrometern	313
8.3.2. Salzbäder	279	9.3. Einfluß des Emissionsgrades auf die Temperaturanzeige von Strahlungs-pyrometern	314
8.3.3. Glasschmelzen	280	9.3.1. Meßfehler durch spektralen Emissionsgrad $\epsilon(\lambda)$	314
8.3.4. Leichtmetallschmelzen	281	9.3.2. Meßfehler durch Gesamtemissionsgrad ϵ_t	317
		9.3.3. Meßfehler durch Bandemissionsgrad ϵ_b	317
		9.3.4. Meßfehler durch Emissionsverhältnis ϵ_1/ϵ_2	318
		9.4. Effektive und charakteristische Wellenlängen von Strahlungs-pyrometern	319

9.4.1. Effektive Wellenlänge λ_e	320	9.7.3.1.3. Transmissionseigenschaften von Werkstoffen für Linsen und Fenster	347
9.4.2. Charakteristische Wellenlänge λ_{ch}	321	9.7.3.1.4. Lichtteiler	347
9.5. Berechnung der Signal-Temperatur- charakteristik	322	9.7.3.1.5. Interferenzfilter	349
9.5.1. Allgemeine Berechnungsgrund- lagen	322	9.7.3.2. Strahlungsempfänger	350
9.5.2. Grenzwellenlängen λ_{Gr} von Pyrometern	323	9.7.3.2.1. Kennzeichnung der wesentlichen Eigenschaften von Strahlungs- empfängern	351
9.5.3. Abhängigkeit des Signals von der Gehäusetemperatur des Pyrometers	323	9.7.3.2.1.1. Strahlungsempfindlichkeit	351
9.5.4. Kompensation des Gehäusete- mperatureinflusses	325	9.7.3.2.1.2. Güte und Detektivität von Strah- lungsempfängern	351
9.6. Weitere Einflüsse auf die Temperaturanzeige von Strahlungspyrometern	328	9.7.3.2.2. Thermische Detektoren	355
9.6.1. Einfluß von Fremdstrahlung	328	9.7.3.2.2.1. Thermoelement-Empfänger	355
9.6.1.1. Einfluß der Umgebung bei Messun- gen in der Nähe der Bezugstemp- eratur des Pyrometers	328	9.7.3.2.2.2. Bolometer-Empfänger	357
9.6.1.2. Einfluß der Wandstrahlung bei Wärmeprozessen	330	9.7.3.2.2.3. Pyroelektrische TGS-Empfänger	358
9.6.2. Einfluß ungleichmäßiger Ober- flächentemperaturen	332	9.7.3.2.2.4. Bimetall- und pneumatische Empfänger	358
9.6.3. Einfluß von Zwischenmedien	332	9.7.3.2.3. Photoelektrische(Quanten-) Detektoren	358
9.7. Ausführungsarten von Strahlungspyrometern	333	9.7.3.2.3.1. Photozellen und Photoverviel- facher	359
9.7.1. Subjektive Vergleichs-(Spektral-) Pyrometer (Optische Pyrometer)	333	9.7.3.2.3.2. Infrarotdetektoren	360
9.7.1.1. Aufbau	333	9.7.3.2.3.2.1. Undotierte Intrinsic-Detektoren- Photowiderstände	360
9.7.1.1.1. Das Glühfadenpyrometer	334	9.7.3.2.3.2.2. Störstellen-Extrinsic-Detektoren; Photodioden, -Transistoren, -Ele- mente	360
9.7.1.1.2. Das Graukeilpyrometer	335	9.7.3.2.3.2.3. Photoelektromagnetische-(PEM)- und optisch induzierte (OEN)- Detektoren	360
9.7.1.1.3. Die Glühlampen, Optik, Farbfilter und Schwächungsmittel	335	9.7.3.3. Aufbau und Meßeigenschaften von technischen Strahllichtpyrome- tern	363
9.7.1.1.4. Die pyrometrische Schwächung	337	9.7.3.3.1. Thermoelementpyrometer zur Messung hoher Temperaturen	363
9.7.1.1.5. Mikro- und Teleobjektivpyrometer	337	9.7.3.3.2. Photoelement-Pyrometer	376
9.7.1.2. Meßunsicherheiten, Fehler und Fehlergrenzen	338	9.7.3.3.3. Strahllichte-Pyrometer zur Mes- sung niedriger Temperaturen	377
9.7.1.2.1. Meßunsicherheit im Goldpunkt	338	9.7.3.3.4. Selbsttätige Spektral-(Optische-) Pyrometer mit Vergleichslampe	380
9.7.1.2.2. Eigenschaften und Fehlergrenzen von Wolfram-Bandlampen	338	9.7.4. Strahllichteverhältnispyrometer	380
9.7.1.2.3. Fehler durch Strommesser, Unter- schiedsschwelle des Auges, Kalibrie- rung und Abweichung von λ_e	340	9.7.4.1. Meßfehler bei unterschiedlichen Wellenlängen und Emissions- graden	380
9.7.1.2.4. Zulässige Fehler visueller Spektral- pyrometer nach OIML	341	9.7.4.2. Meßverfahren und Meßanord- nungen	381
9.7.2. Subjektive Verteilungspyrometer (Farbpyrometer)	342	9.7.5. Mittelwertbildner und Spitzen- wertspeicher	384
9.7.3. Strahllichtepyrometer mit Strahlungsempfängern	343	9.7.6. Fehler und Fehlergrenzen von Strahllichtepyrometern	385
9.7.3.1. Die Optik	344	9.7.7. Ausschalten des Einflusses des Emissionsgrads	387
9.7.3.1.1. Distanzverhältnis $d = a/D$ von Blenden-, Linsen- und Hohlspiegel- pyrometern	344	9.7.7.1. Berichtigen mit veränderbarem Widerstand	387
9.7.3.1.2. Lichtleitfaser	347		

9.7.7.2. Ausschalten mit Polarisationsfiltern	388	9.9.7. Messung niedriger Temperaturen unter 600 °C	413
9.7.7.3. Ausschalten durch Überlagerungsverfahren	389	9.9.7.1. Allgemeine Übersicht	413
9.7.7.4. Ausschalten bei Messungen mit Verhältnispyrometern	390	9.9.7.2. Hochpolymere Kunststoffe	414
9.8. Prüfverfahren und -einrichtungen für technische Strahlungs-pyrometer	392	9.9.7.3. Überwachung von Trockenvorgängen und Messungen im Freien	417
9.8.1. Schwarzer Körper, Eichung von Normal-Standard-Pyrometern	392	9.9.7.4. Messungen an Aluminium-Strangpressen	418
9.8.2. Eichung von Pyrometern an Schwarzen Körpern	393	9.9.7.5. Messungen an sehr dünnen Fäden und Drähten	418
9.8.3. Prüfung von Spektralpyrometern an Wolframbandlampen	395	9.9.7.6. Messungen von Rotortemperaturen	419
9.9. Technische Anwendungen	396	9.9.7.7. Messungen an Kalandermalzen	420
9.9.1. Messung von Temperaturen über 600 °C	396	9.9.7.8. Hauttemperaturmessung	420
9.9.1.1. Allgemeine Hinweise, Einsatz von visuellen Spektralpyrometern	396	9.9.7.8. Infrarotmikroskopie für Temperaturmessungen	420
9.9.1.2. Anbauarmaturen für Strahlungs-pyrometer	397	Schrifttum	421
9.9.2. Temperaturmessung in Eisenhüttenwerken	399	10. Temperaturmessung in Flammen	427
9.9.9.1. Hochofenanlage	399	<i>(H. Tietze)</i>	
9.9.2.2. Stranggußanlagen	400	10.1. Messung mit Strahlungs-pyrometern	427
9.9.2.3. Herdfrischverfahren	401	10.1.1. Gesamtstrahlungs-pyrometrie	427
9.9.2.3.1. Siemens-Martin-Ofen	401	10.1.2. Spektralpyrometrie	429
9.9.2.3.2. Konverter (Temperaturmessung der Schmelzen und Flammenstrahlung)	402	10.1.3. Farbpyrometrie (Verhältnis-pyrometrie)	430
9.9.2.4. Tiefofen, Blockbrammenstraße, Normalisierofen	404	10.2. Messung mit Thermo-elementen	431
9.9.2.5. Gießerei (Messungen in der Abstichrinne)	405	10.2.1. Temperaturmessung mit Thermo-elementsonden	432
9.9.2.6. Strahlungsanalyse und Gütegrad von Schmelzen	405	10.2.2. Absaugthermometrie	434
9.9.3. Weitere metallurgische Anwendungen	407	Schrifttum	434
9.9.4. Temperaturmessung in der keramischen Industrie	408	11. Thermographie	436
9.9.5. Temperaturmessung in der Zement-industrie	408	<i>(W. Glockmann)</i>	
9.9.6. Temperaturmessung in der Glas-industrie	409	11.1. Thermographiegeräte	436
9.9.6.1. Ausbildung von Strahlungs-pyrometern für Glas	409	11.1.1. Photographie und Bildwandler	436
9.9.6.2. Messung in Schmelzwannen	411	11.1.1.1. Photographie	436
9.9.6.3. Messung im Feeder	411	11.1.1.2. Elektronenoptische Bildwandler	436
9.9.6.4. Messung von Glastropfen	411	11.1.2. Fernsehtechnische Verfahren	437
9.9.6.5. Messungen an Tafel-, Guß- und Flachglas	411	11.1.2.1. Vidikon-Fernsehaufnahmeröhren	437
9.9.6.6. Messung in Infrarot-Trockenöfen	413	11.1.2.2. Pyroelektrische Wärmebildröhre	437
		11.1.2.3. Optisch-mechanische Abtast-systeme	437
		11.2. Temperaturmessungen mit IR-Kamera	439
		11.3. IR-Kameramodelle	441
		11.4. Anwendungsbeispiele	441
		Schrifttum	444

12. Die Messung höchster Temperaturen <i>(H.-P. Popp)</i>	446	12.3. Pyrometrische Meßmethoden	450
12.1. Abgrenzung des Temperaturbereichs, Anwendungen und Meßmethoden	446	12.4. Temperaturbestimmung durch Messung an Spektrallinien	451
12.1.1. Vorkommen und Anwendungen	446	12.4.1. Moleküllinien	451
12.1.2. Meßmethoden	446	12.4.2. Atom- und Ionenlinien	451
12.2. Temperatur und Gleichgewichtsbetrachtungen	447	12.5. Temperaturbestimmung durch Messungen am Kontinuum	454
12.2.1. Thermodynamische Definitionen	447	12.6. Temperaturbestimmung aus Teilchendichtemessungen	455
12.2.2. Teilchensorten und ihre spektroskopischen Freiheitsgrade	447	Schrifttum	457
12.2.3. Voraussetzungen für die Existenz des thermodynamischen Gleichgewichts	448	Schrifttum, Zusammenfassende Abhandlungen	458
12.2.4. Gleichgewicht und Nichtgleichgewicht in realen Plasmen	449		