

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	11
I. Allgemeine Grundlagen (MOSER)	11
A. Geschichtliches	11
1. Entstehung verschiedener Temperaturskalen	11
2. Internationale Temperaturskalen von 1927, 1948 und 1968	14
3. Festlegung der Temperatureinheit durch einen einzigen materiellen Fixpunkt	16
B. Temperatur in der Thermodynamik	17
1. Erster und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	17
2. CARNOTScher Kreisprozeß	18
3. Zustandsgleichung des idealen Gases	19
4. Thermodynamik des Thermopaares	21
5. Magnetokalorischer Effekt	23
6. Strahlung in der Thermodynamik	24
C. Temperatur in der Statistik	26
1. Thermodynamisches Gleichgewicht	26
a) Entropie und Wahrscheinlichkeit	27
b) Nachweis statistischer Schwankungen	28
c) Temperaturmessung auf statistischer Grundlage	29
d) Natürliche Grenze der Nachweisbarkeit kleiner Temperaturänderungen	30
2. Unvollständiges thermodynamisches Gleichgewicht	31
D. Internationale Praktische Temperaturskala von 1968	31
1. Allgemeines, Grundlagen	31
2. Ausführungsvorschriften	32
II. Gasthermometer (MOSER)	36
A. Grundlagen und Meßmethoden	36
1. Theoretische Grundlagen	36
2. Grundsätzliche Meßanordnung	38
3. Methode konstanten Volumens	38
4. Methoden konstanter Gefäßtemperatur und konstanten Drucks	39
B. Gefäßmaterialien und Gasfüllungen	40
C. Meßvorgang, Fehlerquellen und Korrekturen	41
1. Druck- und Volumenmessung	41
2. Abweichung vom idealen Gaszustand	43
3. Sonstige Fehlerquellen	44
D. Spezielle Meßanordnungen	46
III. Flüssigkeits- und Metallausdehnungsthermometer (MOSER)	50
A. Flüssigkeitsthermometer	50
1. Hauptformen und Werkstoffe	50
2. Spezielle Bauarten von Flüssigkeitsthermometern	53
3. Flüssigkeitsthermometer im praktischen Gebrauch, Fehlerquellen	56
B. Metallausdehnungsthermometer	60
C. Zeitverhalten von Thermometern (Anzeigeträgheit)	61
IV. Dampfdruckthermometer (THOMAS)	63
A. Allgemeine Bemerkungen und Anwendungsbereich	63
B. Abhängigkeit des Dampfdrucks von der Temperatur	64
1. Gleichung von CLAUSIUS-CLAPFYRON; Gleichungen für den Dampfdruck	64
2. Thermodynamische Dampfdruckgleichung	66
3. Dampfdruckbeziehungen für tiefsiedende Flüssigkeiten	67

C. Dampfdruckthermometer für Präzisionsmessungen bei tiefen Temperaturen	72
1. Aufbau des Temperaturfühlers	72
2. Dampfdruckthermometermeßstand	73
a) Druckmessung	75
3. Verwirklichung der Heliumtemperaturskalen	76
D. Dampfdruckfederthermometer	79
V. Widerstandsthermometer (MOSER)	82
A. Platinwiderstandsthermometer	82
1. Bedeutung und geschichtliche Entwicklung	82
2. Beziehung zwischen Widerstand und Temperatur; Reinheit des Platins	82
3. Thermometerkonstruktionen	89
4. Alterung und Stabilität des Meßwiderstandes	92
5. Erwärmungsfehler, Eintauchtiefe	93
B. Widerstandsthermometer mit Meßwiderständen aus anderen Werkstoffen	94
1. Reine Metalle	94
2. Legierungen	95
3. Halbleiter einschließlich Kohlenstoff	96
C. Widerstandsmessung	98
1. Kompensationsverfahren	98
2. Brückenschaltungen	100
3. Quotienteninstrumente	103
VI. Thermopaare (SCHLEY)	107
A. Allgemeines über thermoelektrische Temperaturmessungen	107
B. Thermopaare der Praxis	109
1. Thermopaare für mittlere und höhere Temperaturen	109
2. Thermopaare für sehr hohe Temperaturen	112
3. Thermopaare für sehr tiefe Temperaturen	113
C. Herstellung, Fehlerquellen und Kalibrierung	114
1. Einbau in Schutzrohre und elektrische Isolation	114
2. Störungen der Thermospaltung	116
3. Kalibrierung und Reproduzierbarkeit	117
D. Messung der Thermospaltung	118
VII. Optische Temperaturmeßverfahren für Festkörper	123
A. Theoretische Grundlagen (TINGWALDT)	123
1. Strahlungsgrößen	123
a) Energetische Größen	123
b) Photometrische Grundgrößen	125
2. Strahlung des schwarzen Körpers	127
a) KIRCHHOFFsche Gesetze	127
b) WIENSches Verschiebungsgesetz	128
c) PLANCKsches Strahlungsgesetz	129
d) Temperatur und Strahlung des schwarzen Körpers	134
3. Strahlung beliebiger Festkörper	135
4. Emissionsgrad und wahre Temperatur	139
a) FRESNELsche Formeln	139
b) Optische Konstanten	141
c) KRAMERS-KRONIG-Relation	143
d) HAGEN-RUBENS-Beziehung	146
5. Wirksame Wellenlänge	147
a) Anwendung auf schwarze Körper	147
b) Wirksame Grenzwellenlänge	149
c) Schwarze Temperaturen realer Strahler	150
d) Rechenverfahren	150
B. Geräte und Hilfsmittel der optischen Pyrometrie (SCHLEY)	152
1. Schwarze Strahler	152
2. Nichtschwarze Strahler	157
a) Wolframlampen	157

b) Niederstromkohlebogen	159
c) Andere Sekundärstrahler	161
3. Strahlungsempfänger	163
a) Empfängerparameter	163
b) Photoempfänger	165
c) Thermische Empfänger	167
d) Halbleiterinfrarotempfänger	169
e) Auge	170
4. Optische Filter und Strahlungsschwächungen	171
a) Optische Filter	171
b) Strahlungsschwächungen	175
C. Optische Pyrometer (SCHLEY)	179
1. Strahlungstransport durch optische Instrumente	180
a) Pyrometer	180
b) Spektralgeräte	183
2. Visuelle Pyrometer	187
a) Glühfadenpyrometer	187
b) Kreuzfaden-, Papierfaden- und Bildwandlerpyrometer	190
c) Farbpyrometer	192
d) Spezielle Pyrometerarten	195
e) Kalibrierung visueller Pyrometer	195
3. Objektive Pyrometer	198
a) Gesamtstrahlungspyrometer	200
b) Strahldichtepyrometer	202
c) Verhältnis- und Standardpyrometer	203
4. Fehlerquellen	205
D. Messung wahrer Temperaturen (SCHLEY)	207
1. Bekannte Emissionsgrade	207
2. Polarisationsmethoden	209
3. Eigenemission	211
4. Spezielle Verfahren	213
VIII. Optische Meßverfahren für heiße Gase und Plasmen (SCHLEY)	218
A. Theoretische Grundlagen	218
1. Strahlungsgrößen für Volumenstrahler	218
2. Zusammenhang zwischen Flächen- und Volumenstrahler	219
3. KIRCHHOFFsches Gesetz für Volumenstrahler	224
4. Thermische Ionisation und Dissoziation	224
a) SAHA-EGGERT-Gleichung	224
b) Partialdrücke und Ionisationsgrad	225
c) Thermische Dissoziation	228
5. Linienstrahlung	231
6. Kontinuumsstrahlung	234
B. Meßmethoden	236
1. Strahldichte-Absorptions-Messungen	236
a) Meßanordnung	236
b) Einfluß der Absorption	238
c) Bichromatenmethode	239
d) Strahldichteverdoppelung durch Spiegelung	240
e) Pyrometrische Verfahren	241
2. Kontinuumsmessung	243
3. Methode der Linienumkehr	245
4. Linienmessungen	246
5. Normtemperaturen und Linien schwarzstrahlung	251
6. Linienprofile	252
7. Bandenspektren	256
8. Interferometrische Temperaturmessungen	260
9. Sonstige Meßverfahren für hohe Temperaturen	263

IX. Sonstige Temperaturmeßverfahren	267
A. Akustisches Thermometer (THOMAS)	267
B. Rauschthermometer (SCHLEY)	271
C. Magnetisches Thermometer (THOMAS)	272
D. Kernresonanzthermometer (SCHLEY)	276
E. Spezielle technische Meßverfahren (SCHLEY)	278
1. Quarzthermometer	279
2. Pneumatische und Druckthermometer	280
3. Pulsmethode	281
4. Oberflächentemperaturen	282
5. Temperaturfelder	283
X. Temperaturfixpunkte (THOMAS)	290
A. Allgemeines	290
1. Schmelz- und Erstarrungsvorgang	291
2. Siede- und Sublimationsvorgang	293
3. Sonstige Temperaturfixpunkte	294
B. Temperatur der Fixpunkte	296
C. Verwirklichung der Temperaturfixpunkte	298
1. Fixpunkte tiefsiedender Flüssigkeiten	300
a) Siedepunkt des Gleichgewichtswasserstoffs	300
b) Tripelpunkt des Gleichgewichtswasserstoffs	304
c) Siedepunkt des Sauerstoffs	306
d) Tripelpunkt des Sauerstoffs	307
e) Siede- und Tripelpunkt des Neons	308
f) Tripelpunkt des Argons	309
g) Sublimationspunkt des Kohlendioxids	310
2. Tripelpunkt des Wassers und Eispunkt	311
a) Tripelpunkt des Wassers	311
b) Erstarrungspunkt des Wassers (Eispunkt)	314
3. Siedepunkte des Wassers, des Quecksilbers und des Schwefels	315
a) Wassersiedepunkt	315
b) Quecksilber- und Schwefelsiedepunkt	317
4. Metallerstarrungspunkte	319
a) Zinn	321
b) Zink	322
c) Silber	323
d) Gold	323
e) Sonstige Erstarrungs- und Schmelzpunkte	324
XI. Erzeugung tiefer und hoher Temperaturen, Thermostate	329
A. Temperaturen unterhalb von 20 °C (THOMAS)	329
1. Kryostate	329
a) Kryostate mit tiefsiedenden Flüssigkeiten	329
b) Heliumverdampferkryostate	331
2. Flüssigkeitsbäder im Temperaturbereich von etwa –180 °C bis 20 °C	333
a) Bäder mit gekühlten Flüssigkeiten; Kältethermostate	333
b) Handelsübliche Kältethermostate	336
3. Kältemischungen	337
4. Verfahren zur Erzeugung von Temperaturen unterhalb von 1 K	337
B. Flüssigkeitsbäder oberhalb von 20 °C (THOMAS)	338
1. Badflüssigkeiten	338
2. Temperaturregeleinrichtungen	340
3. Handelsübliche Flüssigkeitsthermostate	341
C. Elektrisch beheizte Öfen (SCHLEY)	342
D. Erzeugung von Plasmatemperaturen (SCHLEY)	345
Sachverzeichnis	352