

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort

Autoren-Vorwort

1	Grundlagen der Temperatur-Meßtechnik	1
1.1	Temperaturbegriff	1
1.2	Temperatureinheit	2
1.3	Thermodynamische Temperaturskala	4
1.4	Internationale Temperaturskala von 1990 "ITS'90" im Vergleich mit der IPTS'68 (75)	6
1.5	Physikalische Grundlagen elektrischer Thermometer	10
1.5.1	Widerstandsthermometer	12
1.5.2	Thermopaare	19
1.5.3	Sonstige Thermometer	24
1.5.3.1	Akustische Thermometer	24
1.5.3.2	Rauschthermometer	24
1.6	Fehlerquellen bei der Messung mit Berührungs-Thermometern	26
1.6.1	Ankopplung des Aufnehmers und Beeinflussung des Meßobjektes	26
1.6.2	Zeitverhalten der Aufnehmer (VDI/VDE 3522)	27
1.6.2.1	Umrechnen auf andere Betriebsbedingungen	30
1.7	Fehlerquellen bei der Temperaturmessung mit Widerstands-Temperaturaufnehmern	31
1.7.1	Stromerwärmung	31
1.7.2	Zuleitungseinflüsse	32
1.8	Fehler bei der thermoelektrischen Temperaturmessung	34
1.9	Anhang	34
1.9.1	Ableitung einer thermodynamischen Temperatur-Skala (Gasthermometer)	34

2	Elektrische Verfahren der industriellen Temperatur-Meßtechnik	40
2.1	Übersicht zur Anwendung von elektrischen Thermometern	40
2.1.1	Das Zeitverhalten von Temperatur-Aufnehmern	46
2.1.2	Temperaturmessung in Flüssigkeiten und an der Oberfläche fester Körper	47
2.1.2.1	Welche Eintauchtiefe vermeidet Ableitfehler bei Flüssigkeits-Messungen?	47
2.1.2.2	Minimierung von Meßfehlern bei „Oberflächen-Messung“	49
2.1.2.3	Fehlermöglichkeiten durch Einbauverhältnisse	54
2.2	Analoge und digitale Meßverfahren	58
2.2.1	Faseroptische Digital-Thermometer	60
2.2.1.1	Funktionsweise eines Wellenlängen-kodierten Gerätes	62
2.2.2	Temperaturdifferenz- und Trendmessung	65
2.2.3	Passive und aktive Brückenschaltungen	66
2.2.3.1	Historische Bauarten elektrischer Thermometer	66
2.2.3.2	Vergleichsstellen – Kompensation („VK“)	68
2.2.3.3	Aktive Brückenschaltungen (Kompensationsverfahren)	71
2.2.4	Meßstellenumschalter (Scanner)	74
2.2.5	Einfluß der Zuleitungswiderstände	74
2.2.5.1	Äußere Einflüsse auf Zuleitungen	76
2.2.6	Schutzeinrichtungen für Messungen in explosionsgefährdeten Bereichen	76
2.3	Aufnehmer für Berührungsthermometer	
	Kennlinien – Bauarten – Verwendungsgrenzen – Meßgeräte	79
2.3.1	Thermoelemente	79
2.3.1.1	Besondere Bauarten	89
2.3.1.2	Erfassen schneller Vorgänge	90
2.3.1.3	Prinzipschaltbild für ein Thermoelement-Meßgerät	90
2.3.1.4	Ausführungsformen von Thermoelement-Fühlern	92
2.3.2	Widerstandsthermometer	98
2.3.2.1	Metall-Widerstandsthermometer	98
2.3.2.2	Widerstands-Thermometer mit Halbleiter-Meßwiderständen	111
2.3.2.3	Ausführungsformen von Widerstands-Thermometern	118
2.4	Spezielle Meßverfahren und Geräte	122
2.4.1	Meßwert-Übertragung von und aus rotierenden Meßobjekten	122
2.4.2	Temperaturmessung an schlecht wärmeleitenden Oberflächen	123
2.4.3	Thermokompensation	123
2.4.4	Temperaturmessung in Schmelzen	124
2.4.5	Temperatursonde mißt Formtemperatur	125
2.4.6	Bestimmung sekundärer physikalischer Größen aus Temperatur-Meßwerten	126

2.4.6.1	Wärmedämmwerk k	126
2.4.6.2	Korrektur der linearen Wärmeausdehnung	130
2.4.6.3	Durchflußmessung	132
2.4.6.4	Letalwert-Berechnung aus Kerntemperatur	132
2.4.6.5	Klimagrößen ermitteln durch primäre Differenz-Temperatur-Messung	133
2.4.7	Aufnahme von Temperaturprofilen an ortsveränderlichen Meßobjekten	136
2.4.8	Meßwert-Erfassung und Überwachung bei mehreren Meßstellen	140
2.5	Strahlungsthermometer für berührungslose Temperaturmessung	147
2.5.1	Zur Theorie der Infrarot-Meßgeräte	147
2.5.2	Bauarten von Strahlungsthermometern und ihre Verwendungsgrenzen	157
2.5.2.1	„Gleich- und Wechsellicht“-Verfahren	159
2.5.3	Einflußgrößen bei Infrarot-Thermometern	161
2.5.3.1	Emissionsfaktor-Einstellung	162
2.5.3.2	Meßmethoden zur korrekten Emissionsgradeinstellung	165
2.5.3.3	Einfluß von Zwischenmedien	168
2.5.4	Quotientenpyrometer für hohe Temperaturen	171
2.5.5	Strahlungsthermometer mit visuellem Farbvergleich	172
2.5.6	Spezielle Infrarot-Thermometer	173
2.5.6.1	Multispektral-Pyrometer	173
2.5.6.2	Einige Applikationsbeispiele aus der metallverarbeitenden Fertigung	175
2.5.6.3	Alternative industrielle Lösungen	178
2.5.7	Thermographische Systeme	178
2.5.7.1	Optisch-mechanische Abtastsysteme	179
2.5.7.2	Infrarot-optische Geräte	183
2.5.7.3	Farbliche Darstellung	183
2.5.7.4	Verarbeitungsmöglichkeiten	184
2.5.7.5	Anwendungsbeispiele	184
2.5.8	Berührungslose Temperatur-Messung und Regelung in der Kunststoffindustrie (Anwendung des Infra-Rechenschiebers)	185
2.5.8.1	Praktische Anwendung der Strahlungsgesetze	186
2.6	Kalibrierung von Thermometern	188
2.6.1	Berührungsthermometer	188
2.6.1.1	Technische Ausführung von Temperierbädern und Temperieröfen für Berührungsfühler	189
2.6.1.2	Kalibrieröfen	191
2.6.1.3	Mehrzweck-Temperatur-Testkammern	196
2.6.1.4	Prüf- und Präzisions-Widerstandsthermometer	196
2.6.1.5	Temperatur-Kalibriereinrichtungen	199

2.6.2	Kalibrier-Strahler für Infrarot-Thermometer	204
2.7	Anhang	206
2.7.1	Begriffe in der Temperatur-Meßtechnik	206
2.7.2	Eichordnung (EO) vom 12. August 1988	215
2.7.3	Emissionsfaktortabelle	
	Gesamtstrahlung verschiedener Oberflächen	219
3	Zum Einsatz von Mikroprozessoren in der Temperatur-Meßtechnik	227
3.1	Mikroprozessortechnik	227
3.2	Linearisierung und Analog-Digital-Umsetzung	229
3.2.1	Digitale Meßwertdarstellung	232
3.2.2	Umsetzverfahren	233
3.3	Anforderungen an IEC-BUS-Meßgeräte	236
3.3.1	Vorzüge der Norm IEE-488.2/IEC 625.2	237
3.3.2	BUS-Varianten (alphabetisch geordnet)	241
3.3.2.1	DIN 66 348 – Meßbus (Interkama '89)	241
3.3.2.2	Feldbus	242
3.3.2.3	VME-Bus-Interface	244
3.4	Mikroprozessor-unterstützte Meßgeräte, Regler und Zeitplangeber	245
3.4.1	Meßtechnik	245
3.4.2	Mikroprozessorgesteuerte Regler und Zeitplaner	255
3.4.2.1	Beispiel für einen μ P-gesteuerten „Klima“-Regler	255
3.4.2.2	Zeitplan-Programm-Geber	258
4	Temperatur-Meßumformer – Grundlagen und praktische Anwendungen	265
4.1	Meßschaltungen für Widerstandsthermometer	267
4.2	Meßschaltungen für Thermoelemente	270
4.2.1	Vergleichsstelle für Thermoelement-Meßkreis	271
4.2.2	Vergleichsstellen – Thermostat	272
4.2.3	Elektrische Vergleichsstelle	273
4.3	Meßumformer	274
4.3.1	Meßumformer-Prinzip	274
4.3.2	Meßumformer für Temperatur	276
4.4	Meßumformer in Zweileitertechnik	279
4.4.1	Zweileiter-Prinzip	279

4.4.2	Zweileitermeßumformer für Temperatur	280
4.4.3	Meßumformer-Speisegerät	281
4.5	Meßketten bei der Temperaturmessung	282
4.6	Anwendungstechnische Alternativen von Temperatur- Meßumformern	284
4.6.1	Einsatz von Temperatur-Meßumformern in nicht- explosionsgefährdeten Anlagen	285
4.6.2	Einsatz von Temperatur-Meßumformern in explosions- gefährdeten Anlagen	286
4.7	Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel für explosions- gefährdete Bereiche nach DIN EN 50 014/VDE 0170/0171/ Teil 1/5.78	287
4.7.1	Baumusterprüfbescheinigungen	289
5	Wärmetechnische Regelkreise – Grundlagen und praktische Anwendungen	291
5.1	Grundlagen der Regelungstechnik	291
5.1.1	Einschleifiger Regelkreis	291
5.1.1.1	Definition von Regelverhalten	294
5.1.1.2	Optimierung	296
5.2	Besondere Regelkreisschaltungen	298
5.2.1	Störgrößenaufschaltung	298
5.2.2	Verhältnisregelung	299
5.2.3	Kaskadenregelung	300
5.2.4	Override-Control	301
5.3	Aufbau elektronischer Regler	303
5.3.1	Stetige Regler	307
5.3.2	Zweipunktregler	307
5.3.3	Dreipunkt-Schrittregler	308
5.4	Auswahlkriterien für Regler	309
5.5	Beispiel für wärmetechnische Regelungen	310
5.5.1	Temperaturregelung an einem Extruder	310
5.5.2	Temperaturregelung mit Gas-Luft-Verhältnisregelung	311
5.5.3	Kaskadenregelung als Begrenzungsregelung	312
5.5.4	Beispiel für temperaturgeführte Regelungen mit Infrarot- Sensoren	313
5.7	Begriffsdefinitionen nach DIN 19 226	317

6	Anhang	325
6.1	Berechnungshilfen: Wechselströme und Netzwerke	325
6.1.1	Praktische Beispiele	328
6.1.2	Beispiele zur Anwendung der Laplace-Transformation	333
6.1.3	Formeln zur Laplace-Transformation	338
6.2	Kleines Lexikon thermischer Größen und Einheiten	341
6.3	Einheiten des SI-Systems, englische und amerikanische Einheiten	364
6.4	Kleines Glossarium englischer Fachbegriffe	371
	Literaturverzeichnis	374
	Sachregister	381
	Autorenverzeichnis	382