

Temperaturmesstechnik (1)

Das Messen der physikalischen Größe Temperatur gehört zu den Standardaufgaben eines Technikers. Das Wesen der Temperatur sowie deren unterschiedliche Messprinzipien sind Schwerpunkt der Betrachtungen im Beitrag.

■ Charakteristik der Temperatur

Die Temperatur ist eine thermodynamische Zustandsgröße, die den Wärmezustand (Energiezustand) eines Stoffes kennzeichnet. Sie ist ein Maß für die Intensität der Wärmeenergie. Als Formelzeichen verwendet man das griechische Theta ϑ oder den Buchstabe T. Die Temperatur kann in drei Einheiten angegeben werden:

- Kelvin K; $[T] = K$
- Grad Celsius $^{\circ}\text{C}$; $[\vartheta] = ^{\circ}\text{C}$
- Grad Fahrenheit $^{\circ}\text{F}$; $[\vartheta] = ^{\circ}\text{F}$

Für Temperaturänderungen $\Delta\vartheta$ wird die Einheit Kelvin genutzt.

Als Skala wird die ITS-90 (IST „International Temperature Scale of 1990“) verwendet.

Die Einheiten lassen sich folgendermaßen umrechnen, wobei $1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$ entspricht:

$$\vartheta (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15\text{ K}$$

$$\vartheta (^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot \vartheta (^{\circ}\text{C}) + 32\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Als Fixpunkte lassen sich für Wasser der Tripelpunkt bei $0,01^{\circ}\text{C}$ und der Siedepunkt bei 100°C feststellen. In der Thermodynamik ist der Dreiphasenpunkt (Tripelpunkt) der Punkt, an dem die drei

Phasen eines Systems bei gleichbleibendem Druck und unveränderter Temperatur im Gleichgewicht sind. Das bedeutet für Wasser, dass Wasserdampf, flüssiges Wasser und Eis gleichzeitig vorkommen und sich die Mengenverhältnisse der drei Phasen am Tripelpunkt nicht ändern. Es verdampft zwar immer – auch in diesem Zustand – etwas Eis zu Wasserdampf (Sublimation) und Wasser zu Wasserdampf (Verdunstung), gleichzeitig schmilzt auch Eis zu Wasser.

Die Temperatur ist neben dem Druck die am häufigsten gemessene physikalische Größe der Technik. In industriellen Prozessen liegen die zu messenden Temperaturen im Bereich von -200°C bis $+3000^{\circ}\text{C}$. Beim Plasma sind auch Temperaturen bis zu -273°C oder $+100\,000\,000^{\circ}\text{C}$ messbar.

■ Messprinzipien

Die Messung der Temperatur kann über verschiedene Prinzipien erfolgen:

- Ausdehnung von Gas, Flüssigkeiten, festen Stoffen;
- elektrischer Widerstand von Metallen/ Stromfluss in Halbleitern;
- Strahlungsdichte glühender Stoffe;
- Resonanzfrequenz eines Schwingquarzes.

Die Messung der Temperatur erfolgt mit Einrichtungen oder Geräten, deren Eingangsgröße die Temperatur ist und deren Ausgangssignal eindeutig von der Temperatur abhängt.

Für unterschiedliche Messaufgaben sind unter Berücksichtigung des erforderlichen Temperatureinsatzbereiches oder Verwendungsbereiches, der erforderlichen Genauigkeit und den konkreten Einbau-

und Prozessbedingungen eine Vielzahl technischer Temperaturmessverfahren und -einrichtungen (Thermometer) entwickelt worden. Sie lassen sich in berührungslose und berührende Verfahren unterteilen.

■ Berührungslose Temperaturmessung

Bei der berührungslosen Messung wird die Wärmestrahlung, die von dem Messobjekt emittierende Strahlungsenergie genutzt. Da jeder Körper oberhalb des absoluten Temperaturnullpunktes eine elektromagnetische Strahlung aussendet und diese in Zusammenhang mit der Oberflächentemperatur des Körpers steht, kann hierüber mit geeigneten Messgeräten eine berührungslose Temperaturmessung erfolgen. Zu diesen Messgeräten zählen (Bild 1):

- Spektralpyrometer
- Bandstrahlungs-pyrometer $-50^{\circ}\text{C} \dots 4000^{\circ}\text{C}$
- Gesamtstrahlungs-pyrometer.

Beispiele für die Anwendung der berührungslosen Temperaturmessung sind u. a. die Energiekontrolle, Ermittlung von Stromverteilungen, Messungen an Transformatoren, bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sowie bei der Papier- oder Glasherstellung.

■ Berührende Temperaturmessung

Bei der berührenden Messung misst man mit mechanischen oder elektrischen Berührungsthermometer die Temperatur. Im Bild 2 sind Beispiele für mechanische Berührungsthermometer dargestellt. Man unterscheidet folgende mechanische Berührungsthermometer:

- Flüssigkeitsglasthermometer (Ausdehnungsthermometer) $-150^{\circ}\text{C} \dots 800^{\circ}\text{C}$
- Flüssigkeitsfeder- und Dampfdruckfederthermometer $-60^{\circ}\text{C} \dots 500^{\circ}\text{C}$
- Metallausdehnungsthermometer (Bimetall oder Invarstab) $-50^{\circ}\text{C} \dots 400^{\circ}\text{C}$.

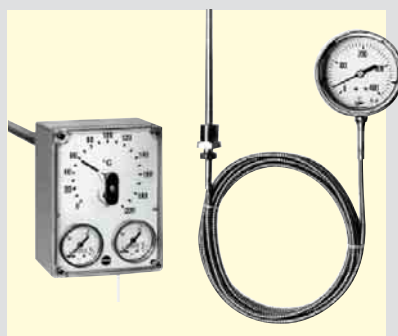
■ Elektrische Berührungsthermometer

Elektrische Berührungsthermometer lassen sich in vier Gruppen einteilen (Bild 3):

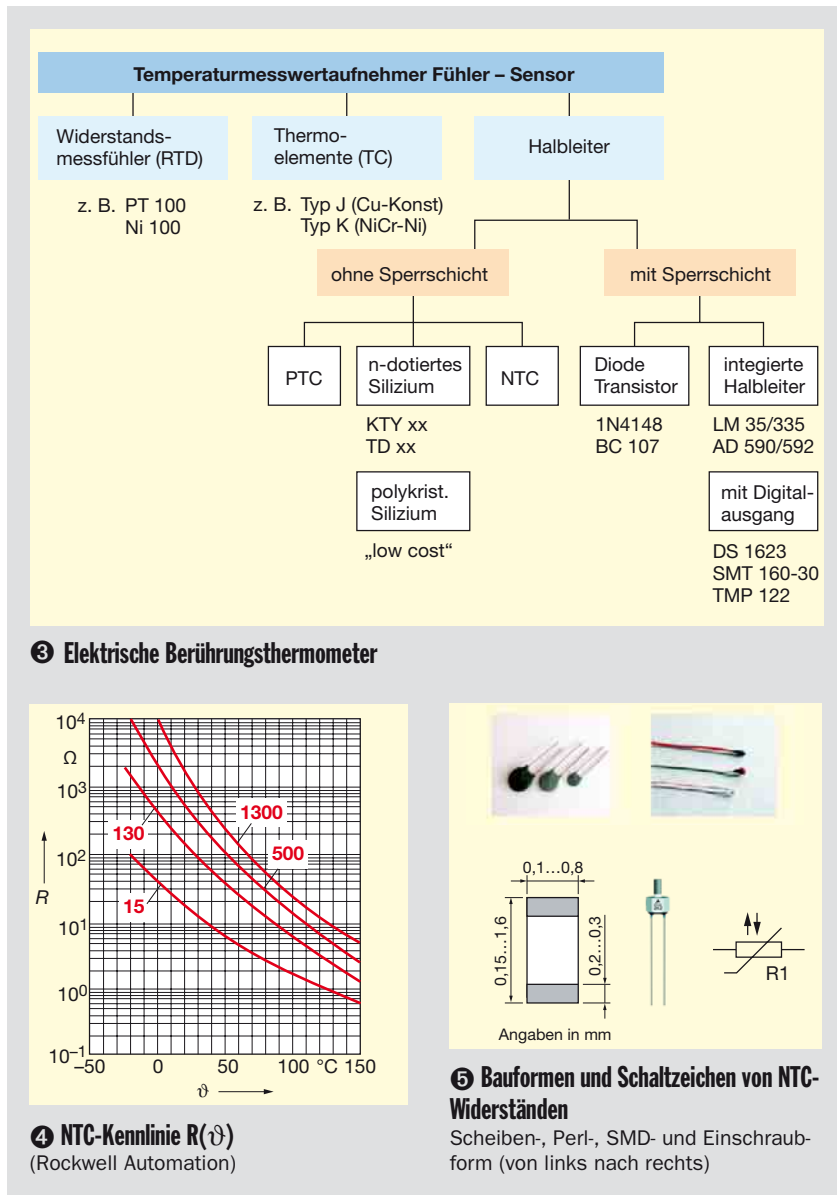
- Thermistoren (NTC- oder PTC-Thermistor) $-50^{\circ}\text{C} \dots 120^{\circ}\text{C}$



1 Strahlungsthermometer (Beispiele) [1]



2 Mechanische Berührungsthermometer
Metallausdehnungs- (links) und Gasausdehnungsthermometer (rechts)



- Silizium-Temperatur Sensoren $-50\text{ °C} \dots 125\text{ °C}$
 - ohne Sperrschicht (z. B. KTY 10 ...)
 - integrierte Form (AD 590, LM 35)
- Widerstandsthermometer (z. B. Pt 100, Ni 100) $-200\text{ °C} \dots 850\text{ °C}$
- Thermoelement (z. B. Typ J, Eisen-Konstantan Fe - CuNi) $0\text{ °C} \dots 1800\text{ °C}$

Thermistoren

Der Begriff Thermistor setzt sich aus den englischen Worten „thermal sensitive resistor“ zusammen. Bestimmte Halbleiter-Keramiken lassen sich, je nach Materialzusammensetzung, in der Temperaturmesstechnik nutzen, weil sich der Widerstandswert der Keramik in Abhängigkeit von der Temperatur ändert. Thermistoren gehören zur Gruppe der nichtlinearen Widerständen. Entspre-

chend dem Vorzeichen ihres Temperaturkoeffizienten werden sie als Heißeiter (NTC-Widerstände) oder Kaltheiter (PTC-Widerstände) bezeichnet.

NTC. Negative temperature coefficient: fallender Widerstandswert bei steigender Temperatur.

PTC. Positive temperature coefficient: steigender Widerstandswert bei steigender Temperatur.

Die Temperatur-Widerstands-Kennlinien zeigen, besonders bei PTC-Thermistoren fast sprunghaftes Verhalten, sodass diese Bauelemente meist nur für Überwachungsaufgaben eingesetzt werden. Eine Temperaturmessung im engeren Sinne wird mit diesen Bauelementen nur selten durchgeführt. Sie lassen sich jedoch z. B. gut im thermischen Maschinenschutz einsetzen, da die Sensorelemente sehr klein sind und so schnell der Temperaturänderung folgen. Sie weisen kleine Zeitkonstanten auf und

werden daher auch als Sekundärthermometer bezeichnet. Verglichen mit den Widerstandsthermistorfühlern liegt der Temperaturkoeffizient mindestens um eine Größenordnung höher, jedoch muss der Anwender bei ihnen eine wesentlich größere Nichtlinearitäten in Kauf nehmen. Thermistoren arbeiten üblicherweise in den folgenden Temperaturbereichen:
NTC: $-50\text{ °C} \dots +350\text{ °C}$
PTC: $-50\text{ °C} \dots +180\text{ °C}$.

NTC-Widerstände

Zur Herstellung von Heißeitern werden verschiedene Metalloxide oder Eisenoxide gemischt, mit Bindemitteln versetzt und dann in der gewünschten Form bei Temperaturen zwischen $1000\text{ °C} \dots 1400\text{ °C}$ gesintert. Sie werden in verschiedenen Bauformen hergestellt.

Aus der Temperatur-Widerstand-Kennlinie (Bild 4) kann der Kennwiderstand des Thermistors abgelesen werden. Der Kennwiderstand ist jeweils der Widerstandswert des Bauelements bei der Temperatur $\vartheta = 20\text{ °C}$. Die Bezeichnung NTC1300 bedeutet demnach: bei 20 °C weist das Bauelement einen Widerstandswert von $1300\text{ }\Omega$ auf. Wegen des großen Widerstandsbereiches besitzen die Kennlinien häufig eine halblogarithmische Teilung.

Bei der Anwendung von Thermistoren werden zwei Anwendungsbereiche unterschieden:

- fremderwärmte Heißeiter,
- eigenerwärmte Heißeiter.

Bei fremderwärmten Heißeitern muss der Messstrom so klein gewählt werden, dass die Thermistoren nicht durch den elektrischen Strom im Bauelement erwärmt werden.

Eigenschaften. NTC-Widerstände sind robust gegen äußere Einflüsse und weisen eine hohe Lebensdauer auf. Sie haben eine kleine Bauform (Bild 5) und eine hohe Empfindlichkeit ($3 \dots 5\text{ \%}/\text{K}$). Bei gutem Preis-/Leistungsverhalten sind sie gut reproduzierbar (mechanisch, thermisch, elektrisch stabil). Der Temperaturbereich reicht bei Perlenheißeitern bis 500 °C und der große Nennwiderstandsbereich geht von $1\text{ }\Omega$ bis $500\text{ k}\Omega$.

Anwendung. NTC-Widerstände finden als Kompensationsheißeiter zum Ausgleich für Bauelemente mit PTC-Verhalten ihren Einsatz. Auch als Messheißeiter sowie in Klimaanlage und Kühlgeräten sind sie in der Praxis zu finden. J. Uphaus

Literatur

- [1] Uphaus, J.: Regelungstechnik – Projekte für den Lernfeldunterricht; Aufgaben, Anwendungen, Simulationen Arbeitsheft. 2. Auflage. Troisdorf: Bildungsverlag EINS 2008.