

Die Temperatur ist eine der sieben Basisgrößen des internationalen Einheitensystems. Sie ist im allgemeinen die am meisten vertraute Messgröße und zudem die wichtigste bei nahezu allen Produktionsprozessen. Etwa ein Drittel aller Messstellen in verfahrenstechnischen Anlagen sind Temperaturmessungen.

### 1. Definition Temperatur

Für die eindeutigen Festlegung einer Temperatur erfordert es zwei Fixpunkte und eine lineare Einteilung. Allgemein bekannt ist die Einteilung in der Einheit

Grad Celsius mit dem Einheitenzeichen °C.

Die Einheit hat ihren Ursprung in der Festlegung der Fixpunkte von Wasser. Man wählte den Gefrier - und Siedepunkt von Wasser und teilte das Intervall in 100 Teile.

Die zweite gebräuchliche Einheit ist

Kelvin mit dem Einheitenzeichen K.

Hierbei wurde der untere Fixpunkt der niedrigsten Temperatur, die physikalisch möglich ist, dem Wert 0 zugeordnet - dem absoluten Nullpunkt. Die Einteilung von Wasser wurde dabei übernommen.

Somit ist der absolute Nullpunkt bei  $-273,15^{\circ}\text{C}$  festgelegt.

$$0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{K}$$

In der Praxis werden Temperaturangaben in der Einheit °C angegeben. Für Temperaturdifferenzen wird in der Regel die Einheit Kelvin K gewählt.

### 2. Messprinzipien

Die Temperatur wirkt auf vielfache Weise physikalisch auf Materialien ein. Zum Beispiel führt sie

- bei festen und flüssigen Materialien zu Volumen- und Längenänderungen
- bei gasförmigen Stoffen in geschlossenen Behältern zu Druckänderungen
- bei Halbleitern und Metallen zur Änderung des elektrischen Widerstandes

Demzufolge gibt es viele Möglichkeiten, Temperatur zu messen. Für den industriellen Einsatz haben sich in der Praxis die berührenden Messverfahren durchgesetzt. Dazu zählen

- mechanische Berührungsthermometer
- elektrische Berührungsthermometer

#### 2.1 Mechanische Berührungsthermometer

Zu den mechanischen Berührungsthermometern gehören neben den allgemein bekannten Glasthermometern, bei denen sich aus der Höhe eines Flüssigkeitsfadens die Temperatur ablesen lässt, die mit Flüssigkeit oder Gas gefüllten geschlossenen Systeme, bei denen der Innendruck ein Temperaturmaß ist. Ebenso gehören Metallstab-Ausdehnungsthermometer (Bimetall) in diese Gruppe.

Mechanische Temperaturmessgeräte sind im Aufbau einfach, robust und zuverlässig. Sie benötigen für ihre Funktion keine Fremdenergie. Als Zeigerthermometer werden im wesentlichen Bimetallsysteme oder Gasdruck-Federmesssysteme eingesetzt.

LABOM Zeigerthermometer entsprechen den Vorgaben der EN 13190. Gehäuse und Zeigerwerke sind aus korrosionsbeständigen Werkstoffen hergestellt, ebenso alle Anschlusssteile, Fernleitungen und Fühler. Die Geräte können je nach Bauart mit mechanischen und induktiven Grenzsingalgebern geliefert werden und lassen sich so zur Temperaturüberwachung in Anlagen einsetzen. Die Skalenteilung finden Sie auf unserem Datenblatt T1-027. Bitte bei Bedarf anfordern.

##### 2.1.1 Flüssigkeitsglas-Thermometer

In der Prozessmesstechnik haben Flüssigkeitsglas-Thermometer eher eine geringere Bedeutung. Sie eignen sich hervorragend zum Kalibrieren als Vergleichsnorm für andere Temperaturmessungen. Auch in der Labor-Technik werden sie als örtliche Temperatur-Anzeige wegen der hohen Genauigkeit und Zuverlässigkeit geschätzt.

##### 2.1.2 Flüssigkeitsausdehnungs-Thermometer

Flüssigkeitsausdehnungs-Thermometer arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie Glasthermometer. Sie bestehen im wesentlichen aus dem Tauchrohr mit einem Druckkessel und der Anzeigeeinheit. Beide Teile sind über eine Kapillare miteinander verbunden. Der Kessel gilt als der aktive Teil des Tauchrohres und ist mit einer Flüssigkeit als Ausdehnungsstoff gefüllt. Die Ausdehnung einer Flüssigkeit führt in dem geschlossenem System zu einer Druckerhöhung. Die Druckänderung wird in einem Federmesssystem zur Anzeige gebracht. Als Flüssigkeit dienen hierbei i.d.R. technische Alkohole.

### 2.1.3 Gasdruckthermometer

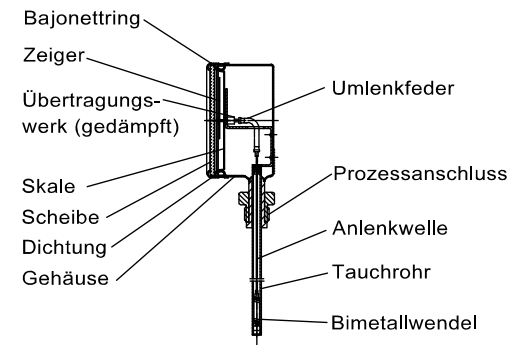
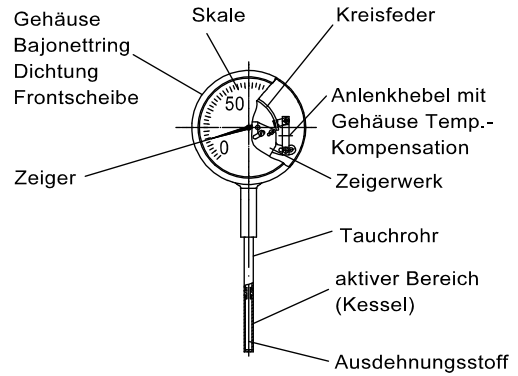
Größte Bedeutung in der Prozessmesstechnik haben Gasdruck-Federthermometer. Genau wie bei Flüssigkeits-Thermometern wird hierbei die thermische Ausdehnung eines abgeschlossenen Volumens über ein Rohrfedermesssystem zur Anzeige gebracht.

Die Gasfüllung besteht im Allgemeinen aus trockenem Stickstoff mit einem Systemdruck von 40 bis 130 bar. Hiermit lassen sich Temperaturen von -80°C bis 600 °C messen.

### 2.1.4 Bimetallthermometer

Das Bimetallthermometer besteht im wesentlichen aus dem Tauchrohr mit eingeschweißter Bimetallwendel und einer damit fest verbundenen Anzeigeeinheit mit Skale und Zeiger. Die Drehbewegung von 270° der Bimetallwendel wird direkt über eine Welle auf den Zeiger übertragen.

Die Bimetallwendel besteht aus zwei fest miteinander verbundenen Metallstreifen unterschiedlicher Temperatureausdehnung. Diese Streifen werden spiralförmig gewickelt. Durch geeignete Wahl von Wickellänge, Durchmesser und Materialpaarung erfolgt eine Abstimmung derart, dass im Nennbereich eine Drehbewegung von 270° erreicht wird. Durch verschiedene Materialkombinationen des Bimetalls können Anzeigebereiche zwischen -100 °C und +600 °C gewählt werden. Bauformen und Abmessungen sind in der EN 13190 festgelegt.



### 2.2 Elektrische Berührungsthermometer

Elektrische Berührungsthermometer haben zunehmend an Bedeutung gewonnen. Gegenüber mechanischen Thermometern können die Ausgangssignale fernübertragen, angezeigt, registriert und weiterverarbeitet werden. Zudem lassen sich Bauform und Größe beliebig den Messaufgaben anpassen. Hierbei sind u.a. Thermoelemente und Widerstands-Thermometer zu nennen.

#### 2.2.1 Thermoelemente

Thermoelemente nutzen den sogenannten Seebeck-Effekt aus. Sie bestehen aus zwei unterschiedliche Metalldrähten, welche auf einer Seite verbunden sind. Eine Temperaturänderung an der Verbindungsstelle führt zur Entstehung einer elektromotorischen Kraft (EMK) an den beiden anderen, offenen Enden und somit zu einer messbaren Spannungsänderung.

Thermoelemente eignen sich für Temperaturmessungen von -200 bis nahezu +2000°C und sind damit auch zur Messung sehr hoher Temperaturen geeignet.

#### 2.2.2 Widerstands-Thermometer

Widerstandssensoren nutzen den Effekt aus, dass sich der elektrische Widerstand eines Materials in Abhängigkeit der Temperatur ändert. Diese Widerstandsänderung kann wiederum gemessen und in ein Temperaturmaß umgerechnet werden. Es gibt zwei verschiedene Typen von Widerstandssensoren: Metallische Sensoren, vornehmlich Platin (Pt100, Pt1000) und Halbleiter-Sensoren (NTC, PTC). Überall dort, wo hohe Präzision und geringe Driften gefordert sind, werden Pt100/ Pt1000 Widerstands-Thermometer eingesetzt. Der Pt100/Pt1000 Sensor ist ein Widerstand aus Platin, der bei 0°C einen Widerstandswert von 100 Ohm bzw. 1000 Ohm hat und dessen Widerstand sich mit steigender Temperatur vergrößert.

Üblicherweise werden Fühler mit der Genauigkeitsklasse A oder B gemäß DIN EN 60751 für Temperaturmessgeräte verwendet.

Die zulässigen Abweichungen betragen nach DIN EN für alle Nennwiderstände in

- Klasse A:  $\pm (0,15 + 0,002 \times [t])$  °C
- Klasse B:  $\pm (0,3 + 0,005 \times [t])$  °C

Klasse A sieht Platin-Thermometer für Messungen zwischen -200°C und +650°C; Klasse B zwischen -200°C und +850°C vor.



### 2.2.3 Temperaturmessumformer

Messumformer für Temperatur haben bereits ein elektrisches Signal der jeweiligen Prozessgröße als Eingangsinformation. Diese Widerstands- oder Spannungssignale werden vom Messumformer in eingepreßte Normsignale umgewandelt. Längere Leitungswege sind somit ohne Signalveränderung möglich, ferner werden leitungsgebundene Störungen oder Potentialverschleppung vermieden.

Der Aufbau der Messumformer ist so kompakt, dass sie im Anschlusskopf der Thermometer eingebaut werden können, entweder anstelle des Keramiksockels auf dem Messeinsatz oder im Deckel des Kopfgehäuses.

"Intelligente" digitale Messumformer erlauben den Anschluss an allen gängigen Pt-Sensoren und sind über eine lokale Schnittstelle oder über HART bzw. Profibus einfach online zu parametrieren.



## 3. Definitionen

Für Zeigerthermometer, und somit für Feder- und Bimetallthermometer, sind die Anforderungen und Prüfungen in der EN 13190 festgelegt.

Für Widerstands-Thermometer, d.h. für die Messeinsätze, werden alle relevanten Anforderungen in der Norm DIN 43762 beschrieben. Eine Übersicht über Grundwerte und zulässige Grenzabweichungen bei Widerstands-Thermometern der Klassen A und B sowie weitere Toleranzangaben sind in der Norm DIN IEC 751 angegeben.

### Messbereiche/ Anzeigebereiche

Die o.g. Norm EN 13190 unterscheidet bei Zeigerthermometern Messbereiche und Anzeigebereiche. Der Messbereich muss immer 2/3 des Anzeigebereiches betragen. Der Anfang und das Ende des Messbereiches sind durch Dreiecke auf dem Skalenrand zu kennzeichnen.

### Genauigkeitsklassen

Zeigerthermometer sind in zwei Genauigkeitsklassen eingeteilt: Klasse 1 und Klasse 2. Die Angaben der Fehlerklassen sind in der EN 13190, bezogen auf Anzeige- und Messbereich, festgelegt. Die Angaben erfolgen in °C.

Für elektrische Widerstandsthermometer sind gemäß der Norm DIN IEC 751 die zwei Toleranzklassen A und B festgelegt.

Die Genauigkeit, oder besser Messgenauigkeit einer Temperaturmessung, hängt neben der Grundgenauigkeit des verwendeten Messgerätes und der Kalibrierung ganz entscheidend von der Durchführung und Auswahl der Messmethode ab. Je besser der Wärmeübergang vom Prozess zum Temperaturfühler, desto geringer die Messunsicherheit und desto schneller wird eine stabile Endtemperatur erreicht.

Temperaturmessgeräte werden, vorzugsweise in thermostatisierten Flüssigkeitsbädern oder Trockenkalibratoren justiert und kalibriert.

### Messbeständigkeit

Die Messbeständigkeit kann bei Temperaturmessgeräten im Prozess beeinträchtigt werden.

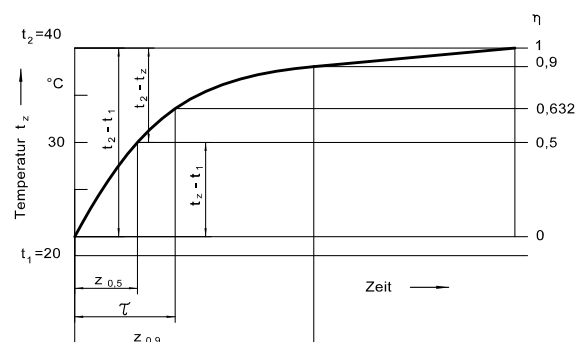
Insbesondere bei Bimetallthermometern können mechanische Schwingungen oder Erschütterungen zu Fehlmessungen führen. Gasdruckthermometer sind aufgrund der stabileren Messsysteme bei diesen Umgebungsbedingungen besser geeignet.

### Übergangs- oder Zeitverhalten

Bei Temperaturänderungen spielt das Zeitverhalten eine wichtige Rolle. Eine genaue Temperaturmessung erfordert immer eine bestimmte Zeit, in der ein Wärmeaustausch zwischen Prozesstemperatur und Berührungs-Thermometer stattgefunden hat. Diese Angleichzeit ist abhängig von:

- Art und Aufbau des Temperaturfühlers
- Art des zu messenden Stoffes
- Strömungsgeschwindigkeit des Messmediums

Bei einer sprunghaften Änderung des Temperaturwertes durch Eintauchen folgt das Thermometer nur allmählich mit einer Übergangsfunktion.



## Temperatureinfluss

Durch das Eintauchen eines Berührungsthermometers in ein heißes Medium wird dem zu messenden Produkt Wärme entzogen. Dies führt zu einem Messfehler, der umso größer wird, je größer der Wärmeübergang vom Produkt auf das Messgerät ist.

Bei großen, dickwandigen Flanschschutzrohren oder bei einer zu geringen Eintauchtiefe des Messfühlers in das zu messende Produkt wird die Wärmeenergie an der Messtelle durch das Material abgeleitet.

Der Wärmeaustausch des Thermometers mit der umgebenden Rohrwand und den herausragenden Teilen mit der Außenluft beeinflussen ebenfalls das Messergebnis durch Wärmeableitung und Wärmeabstrahlung. Thermometer sollten derart ausgewählt und angeordnet werden, dass der daraus entstehende Messfehler möglichst klein bleibt.

## Temperaturmessungen an Oberflächen

Die Messung von Oberflächentemperaturen wird im allgemeinen als recht schwierig angesehen. Es sind wesentlichen Anforderungen zu erfüllen:

- ein guter und gleichmäßiger Wärmeübergang vom Produkt auf z.B. die umgebene Rohrleitung
- der Wärmeübergang der Oberfläche der Rohrleitung auf den Messfühler muss möglichst gut sein
- die Wärmeableitung durch das Thermometer muss möglichst gering sein

Die erste Anforderung muss vom Produkt, dem Prozess oder der Verfahrenstechnik erfüllt sein.

Zur Erfüllung der zweiten Forderung ist ein formschlüssiges metallisches Anpresssystem notwendig und zur Erfüllung der dritten Forderung muss eine Isolationsmanschette die Wärmeableitung verhindern.

Der Temperatur-Aufnehmer in Clamp-on-Technik erfüllt in hervorragender Weise alle Geräte-Anforderungen einer optimalen Oberflächen-Temperaturüberwachung, vor allem in der Steriltechnik.

Für Rohraußendurchmesser von 4 bis 57 mm steht das Widerstandsthermometer in Clamp-on-Technik in der Ausführung mit Rohrmanschette zur Verfügung. Für Rohraußendurchmesser von 57 bis 200 mm und größer ist auch eine Montage mit Spannband möglich.

Zur Temperaturerfassung an Behältern oder Rohrleitungen dient das Widerstandsthermometer für Oberflächentemperaturmessung.

Die Temperaturerfassung erfolgt über ein modifiziertes, schnell ansprechendes Pt 100-Messelement. Die hohe Gerätegenauigkeit wird durch eine aufwendige thermische Entkopplung erreicht. Auch wird durch die federnde Konstruktion des Messeinsatzes eine gute Wärmeübertragung erreicht.

Mit einer Auf- bzw. Einschweißmuffe ist eine einfache Montage möglich.



Widerstandsthermometer Clamp-on-Technik



Widerstandsthermometer Clamp-on-Technik für Spannbandmontage



Widerstandsthermometer für Oberflächentemperaturmessung