

# Pt100 zwischen Norm und Neu

Bereits etablierte Technologien finden Eingang in neue Version der Norm DIN EN 60751

In den vergangenen 13 Jahren ist viel passiert, auch in der Messtechnik. Die Zeit war reif für eine Neuauflage der wichtigsten Norm für die industrielle Temperaturmesstechnik, der DIN EN 60751. Einige Technologien haben sich in der Praxis durchgesetzt, die in der Norm von 1996 noch keine Erwähnung gefunden hatten. Wichtigster Punkt ist dabei die Verwendung von Dünnschichtwiderständen. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Änderungen kommentiert und Hilfestellungen für die Auslegung der neuen Norm gegeben.



**Dipl.-Ing. Dietmar Saecker,**  
Referent Technische Sicherheit  
für die Elektrische Temperatur  
bei Wika.

Bei einigen Kunden war die Verunsicherung bislang so stark, dass bei ihnen die nicht ausdrücklich in der alten Norm benannten Thermometer mit Dünnschicht-Messwiderständen überhaupt nicht eingesetzt werden durften. Folglich wurden vielfach Lösungen eingesetzt, die im Bezug auf die tatsächliche Applikation überdimensioniert waren. Diese Verunsicherung könnte nun beendet werden: Die neue Norm DIN EN 60751 definiert neue realistische Einsatzgrenzen für alle Sensortypen sowie deren spezifische Genauigkeitsklassen, darunter auch eine Festlegung der sogenannten „1/3 DIN“. Leider verliert die neue Version aber bei der Festlegung der Vibrationsfestigkeit von Thermometern die notwendige Klarheit und öffnet hier unnötigen Interpretationsspielraum.

## Bauformen von Messwiderständen

Bei einem Widerstandsthermometer ändert sich der elektrische Widerstand eines Sensors mit der Temperatur. Da der Widerstand mit der Temperatur steigt, spricht man von einem PTC (positive Temperature Coefficient). Im industriellen Einsatz werden üblicherweise Pt100 Messwiderstände verwen-

det. In der alten Fassung der IEC 60751 (Ausgabe 1996) finden sich keine Hinweise über die Bauform der verwendeten Sensoren. In der länger zurückliegenden Vergangenheit waren dies ausschließlich drahtgewickelte Messwiderstände (engl. WW = Wire Wound). Im letzten Jahrzehnt haben sich jedoch Dünnschicht-Messwiderstände (auch Flach- oder - Dünnschicht-Messwiderstand, engl. TF = Thin Film) durchgesetzt.

Da also Dünnschicht-Messwiderstände in der alten Norm nicht erwähnt wurden, sind manche Anwender irrtümlicherweise davon ausgegangen, dass in genormten Thermometeraufbauten weiterhin nur drahtgewickelte Widerstände eingesetzt wurden. In der Tat unterscheiden sich die Einsatzgrenzen je nach Sensoraufbau durchaus. Die industriell dominierenden Typen werden nachfolgend beschrieben.

### Drahtgewickelte Messwiderstände (W)

Bei dieser Bauform wird ein sehr dünner Platindraht von einem runden Schutzkörper umhüllt. Diese Bauform ist seit Jahrzehnten bewährt und weltweit akzeptiert.

Es gibt zwei Unterformen die sich in der Wahl des Isolationsmaterials unterscheiden.

- Glas-Messwiderstand
- Keramik-Messwiderstand

### Glas-Messwiderstand

Bei einem Glas-Messwiderstand ist der bifilare Draht in einem Glaskörper eingeschmolzen. Da der Draht sich somit nicht bewegen kann, zeichnet sich diese Form durch eine hohe Vibrationsfestigkeit aus. Leider ändert Glas bei hohen Temperaturen einen Teil seiner Eigenschaften und es wird zunehmend elektrisch leitend. Durch den sinkenden Isolationswiderstand verliert der Sensor seine Genauigkeit und sollte daher nur im Temperaturbereich 196...+400°C

eingesetzt werden. Da die Herstellung solcher Sensoren recht aufwändig ist, resultiert ein vergleichsweise hoher Preis.

### Keramik-Messwiderstand

Bei einem Keramik-Messwiderstand befindet sich der Platindraht als Spirale frei aufgewickelt in einer runden Aussparung des Schutzkörpers. Durch die fehlende Abstützung kann es bei hohen Vibrationen dazu



Abb. 1: Temperatur: Eine der häufigsten Messgrößen

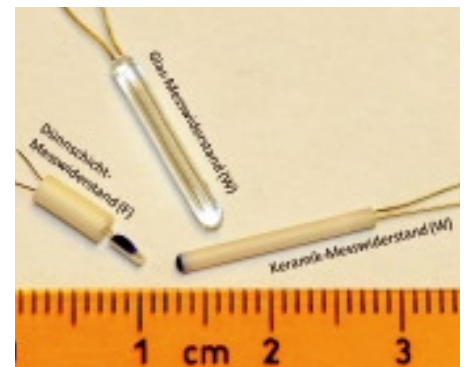


Abb. 2: Messwiderstände

kommen, dass sich die Windungen der Spirale berühren und den Widerstand verändern. Bei extremen Vibrationen können die frei schwingenden Drähte reißen. Daher ist diese Sensorbauform nur bei geringen Vibrationsbelastungen einsetzbar. Stattdessen stellen diese Sensoren den größten Temperaturbereich zu Verfügung, denn sie können von 196... +600 °C verwendet werden.

### Dünnschicht-Messwiderstände (F)

Bei Dünnschicht-Messwiderständen (Thin Film), auch als Flach-Messwiderstände bezeichnet, wird eine sehr dünne Platinschicht auf eine keramische Trägerplatte aufgebracht. Danach werden Anschlussdrähte kontaktiert. Abschließend wird diese durch eine weitere Schicht aus Glas gegen Außeninflüsse versiegelt. Dünnschicht-Messwiderstände zeichnen sich durch besonders kleine Baugröße und hohe Vibrationsfestigkeit aus. Bedingt durch die Kombination verschiedener Materialien wird der Temperaturbereich auf 50... +500 °C begrenzt. Da Dünnschicht-Messwiderstände in hohen Stückzahlen auch in Konsumgeräten eingesetzt werden, sind solche Sensoren meist sehr preiswert. Die neue Norm schlägt vor, dass die Art des verwendeten Sensors auf dem Typenschild des Thermometers mit (W) oder (F) gekennzeichnet wird.

### Temperatur-Widerstandsbeziehung

Für jede Temperatur existiert genau ein Widerstandswert. Dieser eindeutige Zusammenhang kann mit mathematischen Formeln beschrieben werden. Die folgend dargestellten Formeln gelten innerhalb der zu beachtenden Einsatztemperaturgrenzen unabhängig von der Bauform des Messwiderstandes.

Für den Temperaturbereich -200 °C bis 0 °C gilt:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100 \text{ °C}) \cdot t^3]$$

Für den Temperaturbereich 0 °C bis +600 °C gilt:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2]$$

Hierin sind:

t = Temperatur in °C

R<sub>t</sub> = Widerstand in Ohm bei der gemessenen Temperatur

R<sub>0</sub> = Widerstand in Ohm bei t = 0 °C (z. B. 100 Ohm)

Zur Berechnung gelten die folgenden Konstanten:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

$$B = -5,7750 \cdot 10^{-7} \text{ (}^\circ\text{C}^{-2}\text{)}$$

$$C = 4,1830 \cdot 10^{-12} \text{ (}^\circ\text{C}^{-4}\text{)}$$

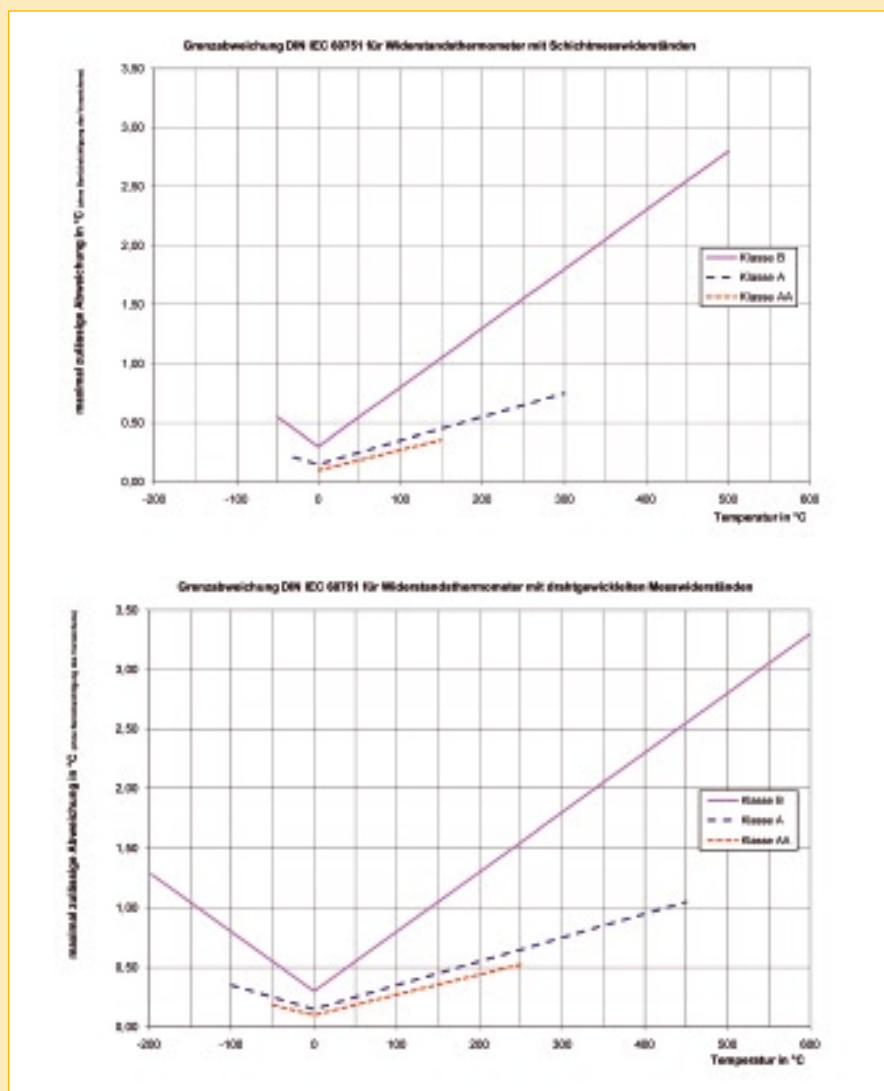


Abb. 3a+b: Grafische Darstellung der Grenzabweichungen

Klasse	Gültigkeitsbereich °C		Grenzabweichung °C a
	Drahtgewickelt (WW)	Dünnschicht (TF)	
AA	-50 ... +250	0 ... +150	± (0,10 + 0,0017  t )
A	-100 ... +450	-30 ... +300	± (0,15 + 0,0020  t )
B	-196 ... +600	-50 ... +500	± (0,30 + 0,0050  t )

a |t| = Betrag der Temperatur in °C ohne Berücksichtigung des Vorzeichens

### Einsatzgrenzen und Genauigkeitsklassen

Neu in der Fassung der Norm aus dem Jahr 2009 ist, dass sich die Einsatzgrenzen der Thermometeraufbauten je nach Bauform des Sensors unterscheiden; hier zeigen sich die messtechnischen Unterschiede.

Der gesamte Messbereich kann bei Klasse B nur mit drahtgewickelten Keramik-Messwiderständen abgebildet werden. Dünnschicht-Messwiderstände werden reali-

tätsbezogen durch die Norm begrenzt. Glas-Messwiderstände können nur bis 400 °C eingesetzt werden, da die zunehmende elektrische Leitfähigkeit des Glaskörpers einen Messfehler hervorruft.

### Klasse A nur noch bis 450 °C

Als Anpassung an die Realität gilt nun die Genauigkeitsklasse A nur noch von -100 °C bis +450 °C. Hier hatte sich gezeigt, dass die

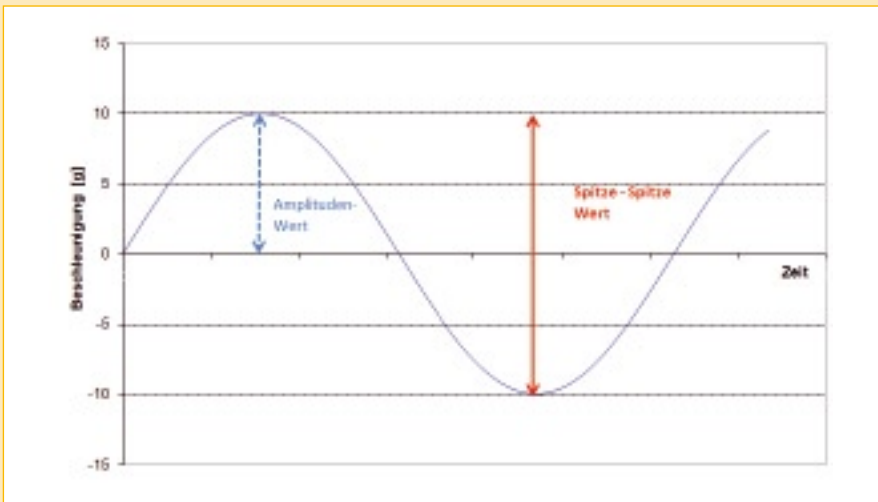


Abb. 4: Legende bei Autorkorrektur

Thermometer aller Hersteller im Dauereinsatz bei extremen Temperaturen häufig aus der alten Klasse A heraus driften. Die Angabe der Klasse A galt somit quasi nur im Auslieferungszustand, aber nicht mehr im Betrieb. Mit der neuen Norm wird der Anwender nun darüber informiert, dass bei extremen Temperaturen tatsächlich „nur“ die Klasse B eingehalten werden kann.

### Was wurde aus dem Drittel DIN?

In der Praxis zwar bewährt, aber bislang nicht genormt, war eine Genauigkeitsangabe, die als 1/3 DIN bezeichnet wurde. Ohne Normung konnte dies von den Anbietern unterschiedlich ausgelegt werden. Einheitlich war nur, dass am Kalibrierpunkt 0°C eine Toleranz von 0,1°C (also einem Drittel der Klasse B) einzuhalten ist. Die neue Norm übernimmt diesen Punkt und macht eine echte Genauigkeitsklasse daraus, bei der nun ein Temperaturbereich mit einer Berechnung der zulässigen Grenzabweichung belegt wird. Diese neue Genauigkeitsklasse, die sogar ein wenig besser als 1/3 DIN ist, erhält den Namen: Klasse AA.

### Flüssiger Stickstoff ersetzt das Unmögliche

Ebenfalls aus praktischen Erwägungen heraus wurde der unterste Kalibrierpunkt von -200°C durch den wesentlich einfacher darstellbaren Punkt von -196°C ersetzt. (-200°C konnten in der Realität praktisch nicht erzeugt werden, -196°C hingegen können mittels siedendem Stickstoff bei Normaldruck sehr leicht bereitgestellt werden.)

### Unklarheit bei der Vibrationsfestigkeit

Gemäß der DIN EN 60751 kann jedes normkonforme Widerstandsthermometers mit durch Schwingungen hervorgerufenen Beschleunigungen belastet werden, die bis zu 30 m/s<sup>2</sup> betragen und in einem Frequenzbereich von 10... 500 Hz stattfinden.

Leider ist der neue Normtext hier nicht eindeutig. In der Ausgabe von 1996 wird noch klar auf die Angabe „Spitze zu Spitze“ verwiesen. In der Ausgabe von 2009 fehlt dieser Zusatz, seit der Überarbeitung durch die IEC (International Electrotechnical Commission).

Damit eröffnet sich leider ein großer Interpretationsspielraum. Die meisten anderen Normen (z. B. IEC 60068 Umweltprüfungen), die sich mit Schwingungsprüfungen beschäftigen, verwenden ausschließlich den Begriff der Amplitude. Andere Messgeräte, wie z. B. Manometer werden also auf die Stabilität gegebener Schwingungen mit gegebener Amplitude geprüft.

Zur Verdeutlichung werden die unterschiedlichen Sichtweisen in der Abbildung 4 grafisch dargestellt. Die so ermittelten Angaben unterscheiden sich somit um den Faktor 2.

### Was sagt die neue Norm also tatsächlich aus?

Gemäß neuem Wortlaut der DIN EN 60751 muss eigentlich davon ausgegangen werden, dass nun auch hier die Amplitude gemeint ist, denn diese ist der in der Schwingungstechnik übliche Begriff. Dies würde aber gemäß der oben dargestellten Kurve, eine Verdoppelung der Anforderung an alle Thermometer entsprechen. Gespräche mit

einigen Mitgliedern des DKE-Normenausschusses haben jedoch ergeben, dass diese Verschärfung nicht Ziel des Gremiums war.

Gemeint war also: „es bleibt alles wie vorher“. Geschrieben wurde das aber ohne die Worte: „Spitze zu Spitze“.

Offenbar ist dieser Zusatz bei der IEC gestrichen worden. Bis zur nächsten Veröffentlichung der Norm muss also mit dieser Unsicherheit umgegangen werden.

Einige Hersteller von industriellen Thermometern sind daher in ihrer Dokumentation dazu übergegangen, die Angaben der Vibrationsfestigkeit durch den Zusatz Amplitude oder Spitze-Spitze zu kennzeichnen. Bei bekannter und konstanter Frequenz können die Amplituden von Beschleunigung, Geschwindigkeit und Auslenkung ineinander umgerechnet werden.

Aus der Frequenz der Schwingung kann die sogenannte Kreisfrequenz berechnet werden.

$$\omega = 2\pi f$$

Bei gegebener Amplitude der Beschleunigung A gilt für die maximale Geschwindigkeit V<sub>max</sub>:

$$V_{\max} = \frac{A}{\omega}$$

Daraus kann die Auslenkung von der Nulllinie x<sub>max</sub> ermittelt werden:

$$x_{\max} = \frac{V_{\max}}{\omega}$$

Der Platzbedarf der Schwingung, also der Abstand zwischen den Auslenkungen wiederum, ist der Spitze zu Spitze Wert der Auslenkung x<sub>s2s</sub> darstellbar:

$$x_{s2s} = 2 x_{\max}$$

### Zusammenfassung

Mit der neuen Norm nähern sich Schriftform und tatsächliche Verwendung von Pt 100-Widerstandsthermometern wieder an. Der Anwender wird über die neuen technischen Möglichkeiten und deren Grenzen klar informiert.

Leider bleibt die Aussage über die Vibrationsfestigkeit etwas unscharf und dies verlangt besondere Aufmerksamkeit beim Vergleich unterschiedlicher Herstellerangaben.

### Kontakt

Monika Adrian  
Wika Alexander Wiegand SE & Co. KG,  
Klingenberg  
Tel.: 09372/1329972  
Fax: 09372/132423  
m.adrian@wika.de  
www.wika.de