



ifm electronic

**Optimierung und Lösung
von technischen Abläufen
durch Sensorik, Kommunikations-
und Steuerungssysteme**

Schulungsunterlagen

efector 600[®]

Temperatursensoren

Schulungsunterlagen Temperatursensoren, V1.5

Hinweis zur Gewährleistung:

Sämtliche auf diesem Datenträger veröffentlichten Daten sind geistiges Eigentum der ifm bzw. wurden uns teilweise von Kunden oder Lieferanten zur exklusiven Nutzung überlassen. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass jedwede Verwertung (insbesondere Vervielfältigung, Verbreitung und Ausstellung) sowie Bearbeitung oder Umgestaltung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung durch ifm zulässig ist.

Diese Schulungsunterlagen wurden unter Beachtung der größtmöglichen Sorgfalt erstellt. Gleichwohl kann keine Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts übernommen werden.

Da sich Fehler trotz intensiver Bemühungen nie vollständig vermeiden lassen, sind wir für Hinweise jederzeit dankbar.

ifm electronic gmbh, Abteilung VTD-STV, Teichstr. 4, 45127 Essen, Tel.: 0201/2422-0,

Internet: www.ifm.com

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Temperatursensoren im industriellen Einsatz	5
2	Temperatur	8
2.1	Definition	8
2.2	Einheiten	9
2.3	Werte	11
2.4	Materialeigenschaften	12
3	Temperaturmesstechnik	19
3.1	Übersicht	19
3.2	Prinzipien der Temperaturmessung	20
3.3	Begriffe	21
3.4	Vergleich der Messsysteme	24
3.4.1	3.4.1 PTC	24
3.4.2	Thermistor	26
3.4.3	IC-Sensor	26
3.4.4	Thermoelement	27
3.4.5	Weitere Typen	27
4	Die Temperatursensor-Familie der ifm	27
4.1	Vorgeschichte	27
4.2	Technik	29
4.2.1	Sensorelement	29
4.2.2	Signalverarbeitung	30
4.3	Grundgerät	31
4.3.1	Anzeige	31
4.3.2	Schaltpunkt	32
4.3.3	Hysterese	33
4.3.4	Fenster	35
4.3.5	Analogausgang	36
4.3.6	Weitere Einstellungen	38
4.3.7	Erweiterte Funktionen	40
4.3.8	Übersicht	41
4.4	Übersicht der Geräte	43
4.4.1	Zusammenfassung	43
4.4.2	Mechanische Eigenschaften	48
4.4.3	Elektrische Eigenschaften	54
4.5	Zusammenfassung	55
4.5.1	Konventionelle Temperatursensoren	55
4.5.2	Anzeigegerät	55
4.5.3	Sensor in Modulsystem	56

5	Applikationen	56
5.1	Anwendungsbeispiel	56
5.2	Weitere Beispiele	57
5.2.1	CIP Cleaning-in-place	57
5.2.2	Hefe-Voranreicherungssystem für Brauereien	58
5.2.3	Waschanlagen	59
5.2.4	Pasteurierungs-KZE-Anlagen (Kurzzeiterhitzungsanlagen)	60
5.2.5	Tank- und Behälterüberwachung	61
5.2.6	Einsatz der Temperatursensorik im Werkzeugmaschinen Sektor (Automobilsektor)	61
5.3	Applikationsbeispiel	62
6	Anhang	63
6.1	Kleines technisches Lexikon	63
6.2	Typenschlüssel	71

1 Einleitung

1.1 Temperatursensoren im industriellen Einsatz

wo?

Für Temperatursensoren gibt es in vielen verschiedenen Marktsegmenten mit unterschiedlicher Bedeutung eine breite Palette von Anwendungen.

Mit einigen typischen Applikationen soll Einblick in die Vielzahl der Anwendungsbereiche gegeben werden.

womit?

Außerdem wird an diesen Beispielen der modulare Aufbau einer Sensor-Familie vorgestellt. Die genaue Beschreibung der Familie ist in 4 zu finden. Dort werden auch die Bezeichnungen TT und TS erklärt.

Temperaturüberwachung bei:

Tanks und Behältern

Ein Tauchrohr wird fest in den Tank eingeschweißt, bzw. als MO-Variante oder DIN-Ausführung in diesen eingeschraubt, je nach Anforderungsprofil und Ort der Temperaturabnahme. Über den Schneidringadapter kann der Sensor bis zum Anschlag in dieses Tauchrohr eingeschoben und schließlich durch den Schneidring fixiert werden. Ein optimierter Wärmeübergang des Schutzrohres mit dem eingeschobenen Tauchrohr-Temperatur-Sensor TT muss durch Wärmeleitpaste sichergestellt sein. Typische Einsatzfälle sind z. B.:

- die Gärführung in Brauereien, wo die genaue Einhaltung der Grenzen der Prozessgrößen über die Qualität des Produktes entscheiden,
- in Lagertanks, wo über die Schaltpunkte die Kühlvorrichtungen gesteuert werden, um eine konstante Temperatur von Flüssigkeiten aller Art, wie z. B. Getränke, Chemikalien usw. sicherzustellen (Abbildung 1).

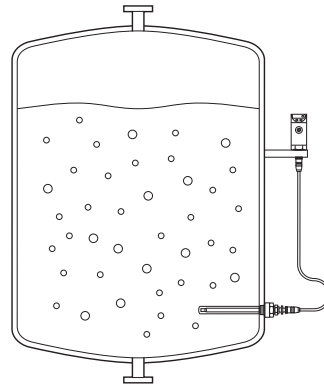


Abbildung 1: Temperaturüberwachung in Tanks und Behältern

Werkzeugmaschinen

Das Kühl-Schmierflüssigkeits-Reservoir darf eine bestimmte Temperatur nicht überschreiten. Wenn dies dennoch eintritt, wird die Flüssigkeit mit einem für alle Maschinen zentral bereitstehenden Tank ausgetauscht, um das Temperaturniveau wieder abzusenken. Ein Tauchrohr-Temperatursensor TT kann ohne Schutzrohr über eine Schneidringverschraubung in den Behälter eingeklemmt werden. Sein Signal wird vom Auswertegerät aufgenommen, das vor Ort die Temperatur anzeigt und gleichzeitig über seinen Analogausgang die aktuellen Temperaturdaten an die zentrale SPS weiterleitet.

Der Kabelsensor TS ist in die Rücklaufleitung des Spindeltriebes eingeschraubt. Er meldet in diesem Applikationsbeispiel (Abbildung 2) die Überhitzung dieses Antriebes sicher. Außerdem wird die Temperatur des Kühl- bzw. Schmiermittels überwacht, um einer Überhitzung des Werkzeugs oder des Werkstücks vorzubeugen.

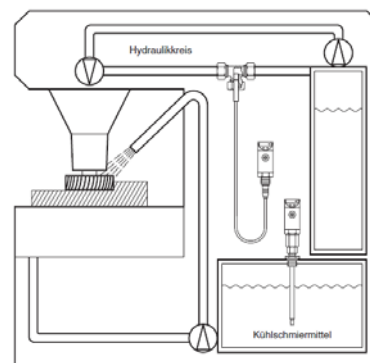


Abbildung 2: Temperaturüberwachung an Werkzeugmaschinen

Wärmetauscher

Einer der häufigsten Anwendungsfälle wird die Überwachung und Steuerung von „Temperaturübertragungsprozessen“ sein. Diese finden in Wärmetauschern, wie Kühlaggregaten und Erhitzern statt, ebenso bei allen Prozessschritten, z.B. in der chemischen Industrie, wo durch gezielte Wärmezufuhr oder -Abgabe bestimmte Verfahrensprozesse geführt werden müssen.

Bei dem hier gezeigten Beispiel (Abbildung 3) kann man sich z.B. eine Kühlung der aus der Maischepfanne kommenden Würze vor dem Eintritt in die Gär- und Lagertanks vorstellen, wo durch Hefezugabe das Bier heranreift. Sie tritt mit der Temperatur T1 in den Wärmetauscher ein und verlässt ihn mit T2. Das Kühlmittel wird dabei von T3 auf T4 erwärmt. Gegebenenfalls muss die Temperatur des Kühlmittels separat überwacht werden (hier nicht dargestellt).

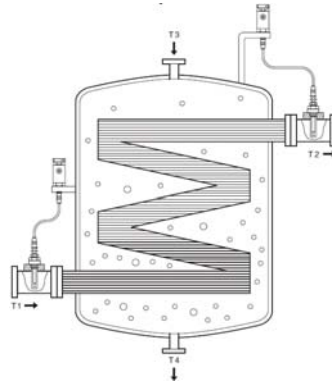


Abbildung 3: Temperaturüberwachung beim Wärmetauscher

Die Reihe von Beispielen ließe sich fast beliebig verlängern und differenzieren. Für die recht unterschiedlichen Anwendungs- und Einsatzfälle gibt es auch schon am Markt eine Reihe von Sensoren oder Messgeräten, die selbst auch in ihrer Funktionsweise recht unterschiedlich sind. Weiter unten im Text wird ein Überblick über die zur Zeit gängigen Sensortypen und typische Einsatzgebiete gegeben.

Die enorme Fülle an Applikationen zeigt das immense Marktpotential der Temperatursensorik. Es liegen Studien vor, nach denen die Temperatursensorik eines der bedeutendsten Gebiete der Sensorik überhaupt darstellt. Die Applikationen können hier nicht umfassend aufgeführt werden. Weitere Beispiele werden in Kapitel 5 beschrieben. Hier sollen noch kurz einige wichtige Aspekte beleuchtet werden.

Anforderungen

Die Markterhebung im Vorfeld der Entwicklung der Temperatursensoren hat ergeben, dass die Anforderungen in den einzelnen Industriezweigen sehr verschieden sind. Das betrifft z. B.:

- Temperaturbereich
- Länge der Temperaturfühler
- Verknüpfung des Sensors mit dem Anzeigegerät und dessen Möglichkeiten in Hinsicht auf den Schaltkomfort und der Universalität der Auswerteeinheiten

Aufgaben

Im Wesentlichen gibt es zwei Aufgabenstellungen für die Temperatursensoren:

- Überwachungsaufgaben
- Prozessführung

Die Überwachungsaufgaben sind sehr vielfältig. Die zweite Aufgabenstellung kommt aus dem bedeutenden Gebiet der Prozess und Verfahrenstechnik.

Lösung: modular

Daraus ergeben sich natürlich unterschiedliche Anforderungen an Genauigkeit und Reaktionszeiten. Es ist kein einfaches Problem, sie alle miteinander zu vereinbaren. Durch das PT 1000 Element und die sonstige Peripherie wird es optimal gelöst.

Das bei der Entwicklung verfolgte Ziel war eine größtmögliche Abdeckung aller Anwendungsgebiete bei geringstem Teilespektrum. Dabei hat sich die Modulbauweise als die ideale Form herauskristallisiert. Im einzelnen wird sie in 4 beschrieben.

Vorteile

Ein weiterer Aspekt soll noch kurz angesprochen werden.

Auch neue elektronische Temperatursensoren stehen im Wettbewerb mit altbekannten, einfachen und preiswerten Geräten. Die Argumente, die für seinen Einsatz sprechen, müssen aber nicht neu zusammengesucht werden. Es sind ähnliche Argumente wie für die anderen elektronischen Sensoren. Zwei spezielle Beispiele:

Thermometer

Ein Quecksilber- oder Alkoholthermometer zeigt zuverlässig auf einer Skala die Temperatur an. Manchmal ist die Ablesung allerdings auch schwierig. Das Hauptproblem bei diesen Geräten besteht darin, dass es unverhältnismäßig aufwendig ist, ein zuverlässiges analoges oder binäres Ausgangssignal zu erhalten.

Bimetall

Ein einfacher, preiswerter „Temperatursensor“ ist ein Bimetall-Kontakt. Dieser gibt natürlich ein binäres Signal aus. Häufig besteht aber eine Anforderung an den Temperatursensor darin, dass nicht nur ein Schaltpunkt eingestellt werden soll, sondern dass darüber hinaus auch die aktuelle Temperatur angezeigt werden soll. Es handelt sich dann nicht mehr um einen binären Sensor sondern um ein Messgerät. Abgesehen von den anderen Problemen des Bimetalls haben wir kaum Möglichkeiten, den Schaltpunkt zu verstellen und einen Messwert anzuzeigen oder auszugeben. Eine Anzeige ist noch am ehesten realisierbar.

2 Temperatur

Mit Temperatur bzw. Temperaturmessung sind wir im täglichen Leben vertraut. Es lohnt sich auch hier, mit den Grundlagen vertraut zu sein, weil dann die Technik und die Anwendungen besser zu verstehen sind.

2.1 Definition

Was ist das?

Wie häufig bei vertrauten Dingen ist es schwierig, zu sagen, was das eigentlich ist. Die Antwort auf die Frage erscheint vielleicht etwas abstrakt: Temperatur ist ein Maß für die Molekularbewegung. Ohne Kenntnisse über den Aufbau der Materie ist also Temperatur schwer zu verstehen.

Aufbau der Materie

Hier soll nur kurz daran erinnert werden, dass die Materie sich aus Atomen oder Molekülen zusammensetzt. Bei Edelgasen (z. B. Helium oder Neon) sind es einzelne Atome. Bei anderen Gasen, z. B. Sauerstoff oder Wasserdampf, haben sich Atome zu Molekülen zusammengeschlossen. Da einzelne Atome einen Spezialfall darstellen, soll im folgenden nur von Molekülen die Rede sein. Normalerweise bewegen sich die Moleküle ständig. In Gasen können sie sich frei bewegen. Einzelne Moleküle können dabei beachtliche Geschwindigkeiten der Größenordnung km/s erreichen. Bei Flüssigkeiten ist es ähnlich wie bei Gasen. Hier gibt es aber eine Grenzfläche, durch die die schnellsten entweichen können (Verdunsten, Verdampfen).

Bei kristallinen Festkörpern sind die Moleküle gitterförmig angeordnet. Sie verlassen normalerweise nicht ihren Platz im Gitter, sie können aber hin und her schwingen (vgl. 2.4, siehe Abbildung 12).

Energie

Damit besitzen sie alle eine gewisse Bewegungsenergie oder kinetische Energie. Wird nun Energie zugeführt, was wir als Aufheizen bezeichnen, dann wird die Bewegung heftiger. Die Temperatur erhöht sich. Man kann also definieren:

(1)

$$\bar{W} = CT$$

W [J]: Energie, Arbeit; C [J/K]: materialabhängiger Koeffizient; T [K]: Temperatur

J ist die Abkürzung für Joule. Der Zusammenhang mit den Grundgrößen m, kg, s, A ist hier nicht von Bedeutung. Die Einheit K für die Temperatur wird in 2.2 erklärt.

Weil sich nicht alle gleich bewegen, manche sind schneller, manche langsamer, wird der Mittelwert über die Energie W genommen. Das wird durch den Querstrich angezeigt. Die Energie wird in diesem Zusammenhang als Wärme bezeichnet (W steht aber nicht für Wärme sondern für work). C ist eine Konstante, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, und T die Temperatur.

intensiv und extensiv

Temperatur wird, wie z. B. auch der Druck, als Zustandsgröße bezeichnet. Den Unterschied zwischen Wärme und Temperatur kann man sich an einem Beispiel klarmachen. Um 1 l Wasser um einen bestimmten Betrag ΔT zu erwärmen, braucht man eine bestimmte Energie. Für 2 l Wasser braucht man doppelt so viel. Schüttet man 2l Wasser mit der selben Temperatur zusammen, dann hat man also doppelt soviel Energie wie in 1l. Die Temperatur verdoppelt sich aber nicht, sie bleibt gleich (Abbildung 4). Sie wird als intensive, die Wärme als extensive Größe bezeichnet.

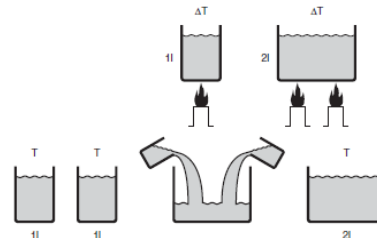


Abbildung 4: Wärme und Temperatur

Kurz zusammengefasst

Wärme ist eine Energieform

Moleküle bewegen sich ständig. Der Mittelwert ihrer Bewegungsenergie ist die Wärme.

Temperatur ist die Intensität der Wärme

Verschiedene Materialeigenschaften hängen von der Temperatur ab, z. B.:

- das Volumen (die Dichte) oder
- die elektrische Leitfähigkeit.

Das kann zur Temperaturmessung verwendet werden.

2.2 Einheiten

° C

Bei der Festlegung der Einheit hat man sich früher auf die durch Temperatur bewirkte Änderungen des Aggregatzustandes bezogen. Erwärmt man Eis, dann schmilzt es, das heißt Wasser geht vom festen in den flüssigen Zustand über. Vermischt man Eis mit Wasser, dann wird sich nach einiger Zeit ein Temperaturngleichgewicht einstellen. Der Wert dieser Temperatur wurde als 0° C (sprich „Null Grad Celsius“) definiert. Celsius war ein schwedischer Physiker und Astronom, der diese Definition vorgeschlagen hat. Der Wert beim Übergang von der flüssigen in die Gasphase, der Siedepunkt, wurde als 100° C definiert. Dabei ist aber zu beachten, dass der Siedepunkt vom Druck abhängt. Bekanntlich siedet das Wasser auf hohen Bergen (bei niedrigerem Druck) bei niedrigeren Temperaturen. Deshalb ist es dort schwierig, Eier oder Tee zu kochen. Bei höheren Drücken, z. B. im Druckkochtopf, erhöht sich der Siedepunkt. Die 100° C sind daher bei Normaldruck, ca. 1 bar, definiert.

K

Untersucht man das Volumen von Gas bei unterschiedlichen Temperaturen und stellt man die Werte als Kurve dar, dann stellt man fest, dass sie auf einer Geraden liegen. Verlängert man diese Gerade bis zum Schnittpunkt mit der Achse, dann hat man den theoretischen Temperaturwert, bei dem das Volumen 0 wird. Dieser Wert ist bei allen Gasen gleich und beträgt -273° C, siehe Abbildung 5. Er wird als absoluter Nullpunkt bezeichnet. Tiefere Temperaturen kann es nicht geben.

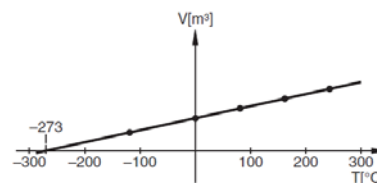


Abbildung 5: Absoluter Nullpunkt der Temperatur

Um sich von dem willkürlichen Bezug auf eine Materialeigenschaft (Schmelzpunkt des Wassers) frei zu machen, wurde dieser Wert als 0 K (sprich „Null Kelvin“, nicht „Null Grad Kelvin“!) definiert. Kelvin war ein englischer Physiker, der die Wärme intensiv erforscht hat. Bei dieser Einheit muss man also kein Vorzeichen beachten, es kann nur positive Werte geben. Die Teilung der Celsius-Skala wurde beibehalten. Deshalb lassen sich die Einheiten ganz leicht umrechnen. Die Kelvin-Skala geht aus der Celsius-Skala durch eine Verschiebung hervor. Es ist:

$$0 \text{ K} = - 273^{\circ} \text{ C und}$$

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

Genauigkeit

Bei der Angabe des Wertes -273° C wurden die Nachkommastellen weggelassen. Eine präzise Temperaturmessung ist aufwendig und schwierig, deshalb genügt diese Genauigkeit. Wir müssen uns dann auch nicht mit einem Unterschied in der Definition von ° C und K beschäftigen, der ca. 1/100° ausmacht und in der Praxis keine Bedeutung hat.

Differenz

Bei Temperaturdifferenzen ist es im Prinzip gleich, welche Einheit verwendet wird. Wenn z. B. Wasser von 20° C auf 30° C erwärmt wird, dann kann man genauso sagen von 293 K auf 303 K. Die Differenz beträgt in beiden Fällen 10. Das internationale System der Einheiten (SI, Abk. für franz. système international) schreibt vor, dass Temperaturdifferenzen grundsätzlich in K angegeben werden.

° F

Die Idee, die Temperaturskala beim niedrigsten Wert beginnen zu lassen, wodurch negative Werte vermieden werden, ist nicht neu. Schon der Königsberger Physiker Fahrenheit hat eine solche Skala eingeführt. Als es in Königsberg den kältesten Winter seit Menschengedenken gab, versuchte er die tiefste Temperatur mit einer Wasser-Salz-Mischung zu reproduzieren. Diese Temperatur nahm er als Nullpunkt seiner Skala. Als Teilung nahm er 180 Schritte zwischen Schmelz- und Siedepunkt des Wassers. Damit liegt der Schmelzpunkt auf der Fahrenheit-Skala bei 32° F. Die Umrechnung ist hier etwas komplizierter. es ist:

(2)
$$T[^\circ\text{F}] = \frac{9}{5} T[^\circ\text{C}] + 32$$

Demnach ist z. B.:

$0^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F}$ und

$100^\circ\text{C} = 212^\circ\text{F}$

Diese etwas altertümliche Maßeinheit wird noch in England und den USA verwendet.

Das folgende Diagramm zeigt den Zusammenhang und hilft bei der Umrechnung.

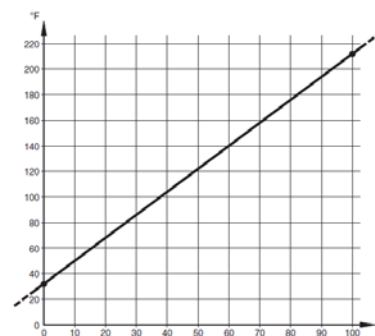


Abbildung 6: Umrechnung °C - °F

° R

Die Réaumur-Skala wird inzwischen kaum noch verwendet, daher soll sie nur kurz erwähnt werden. Sie ist ähnlich aufgebaut wie die Celsius-Skala, nur wird die Differenz zwischen Schmelz- und Siedepunkt des Wassers nicht in 100 sondern in 80 Schritte unterteilt. Der Schmelzpunkt liegt demnach bei 0° R und der Siedepunkt bei 80° R.

2.3 Werte

Ist 1° C viel?

Zunächst soll diese Frage, die ähnlich schon beim Druck gestellt wurde, kurz diskutiert werden. Hier ist sie leichter zu beantworten, weil uns diese Größe wohl vertraut ist: 1° C ist relativ wenig. Es liegt an der Grenze dessen, was wir durch unsere natürlichen Temperatursensoren in der Haut auflösen können. Dabei reagiert das Gefühl erheblich zuverlässiger auf Temperaturdifferenzen. Es ist also leicht festzustellen, ob ein Medium eine höhere Temperatur hat als ein anderes. Als Vergleichsmaßstab steht uns die Körpertemperatur zur Verfügung, normalerweise ca. 37° C. Einigermassen zuverlässig ist unsere körpereigene Sensorik im Bereich von ca. 0° C bis 60° C.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht von typischen Temperaturwerten. Sie soll nur einen Eindruck der Größenordnungen vermitteln, daher sind nicht alle exakten Werte sondern typische Werte. Alle Angaben sind in °C.

T [°C]	Phänomen
6000	Elektrischer Lichtbogen unter Druck Sonnenoberfläche
4000	elektrischer Schmelzofen
3000	Glühfäden in elektrischen Lampen („Birnen“)
2000	Zündung im Automotor
1800	Bunsenbrenner
1600	Gasherd
1400	Kohlenfeuer (Anthrazit)
1370	flüssiges Glas
1200	Eisen schmilzt
1000	Eisen glüht
800	Diamanten verbrennen Holzfeuer
600	Leuchtgas entzündet sich
400	Dampf in Lokomotiven
200	Motorblock im Auto
0	Schmelzpunkt von Wasser
-2,5	Schmelzpunkt von Meerwasser
-65	untere Stratosphäre
-200	Luft wird flüssig
-253	Wasserstoff siedet

Der absolute Nullpunkt ist zwar praktisch nicht erreichbar. Man konnte sich ihm aber bis auf Bruchteile von Kelvin annähern. Das ist allerdings eher von theoretischem Interesse, weil das nur kurzzeitig und für sehr wenig Materie gelingt.

Abgesehen von den extremen Temperaturen der Glas- oder Stahlschmelze bzw. des flüssigen Wasserstoffs verlaufen sehr viele industrielle Prozesse in einem Bereich zwischen 0 und 100 °C. Es ist natürlich kein Zufall, dass diese Werte gerade die Referenzpunkte der Celsius-Scala sind. Erweitert man den Bereich noch etwas nach oben und unten, etwa von - 50 bis + 150 °C, dann ist erst recht eine Vielzahl von Prozessen abgedeckt.

Lebensmittelindustrie

Als Beispiel kann die Lebensmittelindustrie genannt werden. Hier laufen Prozesse ab wie Schockgefrieren, Tiefkühlen, einfache Kühlung, Gären, Kurzeiterhitzung, Kochen, Kochen unter Druck, Dampfreinigung usw. Diese Prozesse müssen überwacht werden, um unzulässigen Temperaturabweichungen entgegenwirken zu können oder um ungenießbare Ergebnisse auszusortieren. Da hierzu natürlich viele Sensoren benötigt werden, wird das Potential der Temperatursensorik allein in dieser Branche deutlich. Es wird auch deutlich, in welchen Temperaturbereichen die Sensoren eingesetzt werden.

2.4 Materialeigenschaften

Oben (Kapitel 2.1) wurde schon erwähnt, dass sich Eigenschaften wie Volumen, elektrischer Widerstand usw. ändern, wenn sich die Temperatur ändert. Hier soll noch etwas der Hintergrund beleuchtet und einige wichtige Begriffe erläutert werden. Die technische Anwendung wird in beschrieben.

Um z. B. die Temperatur eines Mediums zu erhöhen, muss Energie zugeführt werden (siehe Gleichung (1)).

Wärmekapazität

Unterschiedliche Materialien unterscheiden sich dadurch, dass sich bei der Zufuhr der gleichen Energiemenge die Temperatur unterschiedlich erhöht. Die Größe, die diese Eigenschaft beschreibt, heißt Wärmekapazität oder spezifische Wärme. Diese Materialeigenschaft wird gelegentlich mit der nächsten verwechselt.

Wärmeleitfähigkeit

Wird die Energie z. B. dadurch zugeführt, dass ein kälteres Objekt mit einem wärmeren in Kontakt steht, dann lässt sich eine andere Materialeigenschaft beobachten. Unterschiedliche Materialien unterscheiden sich auch dadurch, dass sich die Temperatur unterschiedlich schnell angleicht. Diese Eigenschaft wird als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet. Z. B. unter dem Aspekt der Wärmedämmung von Gebäuden ist eine geringe Wärmeleitfähigkeit von Vorteil. Wie weiter unten beschrieben wird, ist jedoch für den Sensor eine gute Wärmeleitung wichtig.

warm und kalt

Die Wärmeleitfähigkeit spielt eine wichtige Rolle bei unserem subjektiven Gefühl, ob sich ein Material warm oder kalt anfühlt. Holz fühlt sich z. B. auch bei niedrigen Temperaturen warm an, weil die Oberfläche schnell die Temperatur der Hand annimmt. Die tiefere Temperatur im Inneren eines Holzstückes fühlen wir dann nicht mehr. Kaltes Metall fühlt sich auch kalt an, weil es die Wärme gut leitet und somit der Hand Wärme entzieht. Wir fühlen praktisch immer die Temperatur des ganzen metallischen Objekts. Genau wie unsere natürlichen Temperatursensoren lassen sich auch Messgeräte in die Irre führen.

Was bedeutet das?

Diese Materialeigenschaften sind wichtig für die Eigenschaften, das Verhalten, des Temperatursensors. Der Sensor kann ja nur die Temperatur eines Mediums erfassen, wenn sich seine eigene Temperatur der des Mediums angeglichen hat.

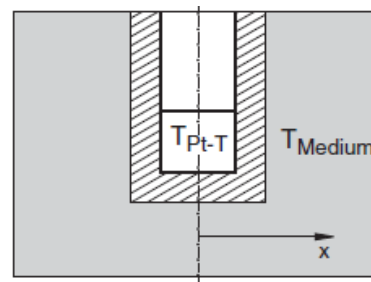


Abbildung 7: Sensor im Medium

Wichtig ist hier auch der Ort der Messung. Die Temperatur des Mediums wird auch nicht überall gleich sein. Z. B. kann sie am Rand und im Inneren eines Gefäßes unterschiedlich sein.

Da man also inmitten des Mediums messen muss, ist der Sensor von einem Gehäuse, einer Hülse, umgeben, damit er nicht mechanisch beschädigt oder chemisch angegriffen wird. Das hat wiederum Auswirkungen auf die Messung.

Temperatenausgleich

Wenn der Sensor in das Medium eingetaucht wird oder wenn sich die Temperatur des Mediums ändert, dann befindet sich ja das Sensorelement auf einem anderen Temperaturniveau als das Medium (Abbildung 7 und folgende).

In den folgenden Abbildungen werden verschiedene Situationen gezeigt. Die Darstellung richtet sich nach Abbildung 7. Die grau schraffierte Fläche steht für das Medium, die schräg schraffierte Fläche für die Hülse und die weiße Fläche für den eigentlichen Sensor.

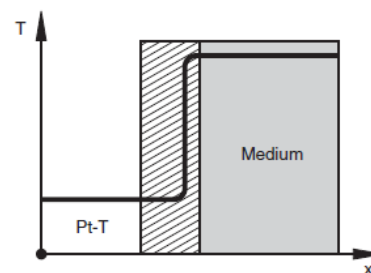


Abbildung 8: Temperaturunterschied

Dieser Temperaturunterschied (Abbildung 8) wird sich im Laufe der Zeit ausgleichen (im Idealfall wie in Abbildung 9). Wie lange das dauert, beschreibt Abbildung 19.

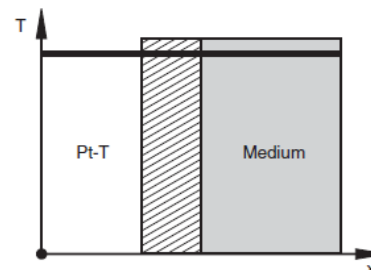


Abbildung 9: Temperatenausgleich

Eigenschaften des Sensors 1

Es ist ungünstig, wenn der Sensor, bzw. der Werkstoff des Gehäuses eine geringe Wärmeleitfähigkeit hat. Wenn es länger dauert, bis sich die Temperatur des Sensors der des Mediums angeglichen hat, dann reagiert der Sensor nur träge. Diese Verhalten ist auch beim Strömungssensor (mit dem kalorimetrischen Prinzip) bekannt. Verwendet man auf Grund der hohen chemischen Beständigkeit PTFE als Werkstoff, dann reagiert der Sensor deutlich träger als ein Metallsensor.

Medium Luft

Luft ist ein schlechter Wärmeleiter. Aus diesem Grund helfen doppelt oder dreifach verglaste Fenster bei der Wärmedämmung von Gebäuden, auch wenn der Zwischenraum der Scheiben einfach nur Luft enthält. Wenn sich jedoch eine Luftschicht zwischen Sensorelement und Gehäuse oder zwischen Sensor und Schutzrohr (siehe 4.4.2) befindet, dann ist das von Nachteil, weil dadurch der Sensor nur sehr träge reagieren kann.

Wärmeleitpaste

Solche Luftschichten werden vermieden, indem Wärmeleitpaste, ein plastisches Material mit guter Wärmeleitfähigkeit, z. B. zwischen Schutzrohr und Sensor eingebracht wird. Dann kann die Temperatur rascher vom Medium auf den Sensor übergehen.

Eigenschaften des Sensors 2

Eine hohe Wärmekapazität ist ebenfalls von Nachteil.

Abkühlung

Der Sensor muss ja in diesem Fall z. B. einem wärmeren Medium viel Energie entnehmen, bis sich seine Temperatur der des Mediums angeglichen hat. Das bedeutet, die Temperatur des Mediums sinkt, der Sensor selbst stört also die Messung (Abbildung 10).

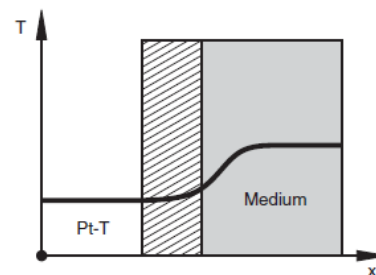


Abbildung 10: Abweichung durch Abkühlung

Erwärmung

Der umgekehrte Fall ist genauso möglich. Wenn sich das Medium abkühlt, dann ist der Sensor zunächst noch auf einer höheren Temperatur. Falls das Medium nur wenig Wärme aufnehmen kann, dann bleibt der Sensor viel länger auf dieser Temperatur. Dazu kommt noch die Eigenerwärmung des Sensorelements. Z. B. bei einem Pt-T (siehe 3.3) handelt es sich ja um einen stromdurchflossenen Widerstand.

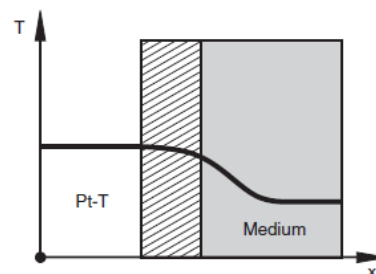


Abbildung 11: Abweichung durch Erwärmung

ruhende Medien

Die beiden zuletzt beschriebenen Ursachen für Messfehler wirken sich besonders aus, wenn das Medium ruht. In diesem Fall wird Wärme nur schlecht zu- oder abgeführt. Die Situation lässt sich unter Umständen durch eine Kalibrierung (siehe 4.3.6) verbessern. Ruhende Medien mit geringer Dichte, wie z.B. Luft, sind also besonders problematisch.

Eigenschaften des Sensors 3

Die oben beschriebenen Eigenschaften betreffen den Temperaturengleich zwischen Sensorelement und Medium. Der Sensor darf aber auch das Medium bzw. den Prozess nicht zu stark beeinflussen. Wenn z. B. die Temperatur eines heißen Mediums erfasst werden soll, dann darf durch das Sensorgehäuse nicht zuviel Wärme an die Umgebung abgeführt werden. Umgekehrt darf auch nicht zuviel Wärme der Umgebung über das Sensorgehäuse an ein kaltes Medium geführt werden. Durch die Modulbauweise gelingt es am besten diese Anforderungen zu erfüllen.

elektrische Leitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit hängt mit der elektrischen Leitfähigkeit zusammen. Das ist vielleicht auf den ersten Blick überraschend, kann aber leicht verstanden werden, wenn man sich den Aufbau der Materie vor Augen führt. In Kapitel 2.1 wurde schon erläutert, dass Temperatur als mittlere Bewegungsenergie der Moleküle beschrieben werden kann. In einem Festkörper können sich die Moleküle aber nicht frei bewegen, sie können nur Schwingungen ausführen. Wenn jetzt Energie zugeführt wird, dann ist es klar, dass es relativ lange dauert, bis sich die Energie gleichmäßig verteilt, weil ein Molekül, das an seinem festen Platz sitzt, nur seine nächsten Nachbarn beeinflussen kann.

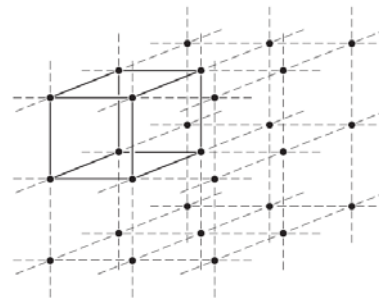


Abbildung 12: Gitterstruktur

Das wird durch die Abbildung 12, die als Beispiel ein kubisches Gitter zeigt, verdeutlicht. Kubisch bedeutet würfelförmig. Um das zu zeigen wurde ein kleiner Würfel in der Abbildung markiert. Abbildung 12 zeigt nur die räumliche Anordnung nicht die Bewegung. Um sich jetzt die Bewegung besser vorstellen zu können, kann man sich ein einzelnes Atom herausgegriffen denken.

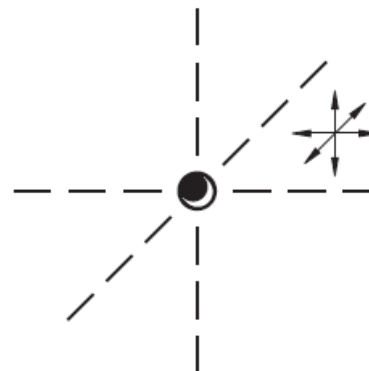


Abbildung 13: Atom im Gitter

In Abbildung 13 wird gezeigt, dass das Atom in verschiedenen Richtungen schwingen kann.



Abbildung 14: Schwingungen

Abbildung 14 zeigt, dass man sich ein Atom wie mit elastischen Federn befestigt denken kann, zwischen denen es schwingt. Zur Vereinfachung wurde nur eine Richtung dargestellt. Damit sollte es auch deutlicher geworden sein, was überhaupt unter Temperatur zu verstehen ist (vgl. 2.1), nämlich ein Maß für die mittlere Energie, mit der alle Atome schwingen. So lange nicht zuviel Energie zugeführt wird, so dass das Gitter zerstört wird (Schmelzen), bleibt jedes Atom dabei an seinem Platz und die Energie breitet sich nur langsam aus. Nur bei guten elektrischen Leitern geht das schneller. Wie kommt das?

Elektrisch leitfähiges Material erhält diese Eigenschaft dadurch, dass sich die Ladungsträger frei bewegen können. Z. B. im Falle von Metallen sind das Elektronen. Diese können zugeführte Energie rasch aufnehmen und verteilen. Deshalb sind Metalle gute Wärmeleiter.

PTC

Mit dieser Überlegung kann man es sich auch plausibel machen, weshalb häufig der elektrische Widerstand steigt, wenn sich die Temperatur erhöht (PTC, siehe 3.3). Bei niedrigen Temperaturen schwingen die Moleküle (bei Metallen: die Atome) nur wenig. Die Elektronen haben viel „freien Raum“ um sich ungehindert zu bewegen - der Widerstand ist gering. Bei höheren Temperaturen sind die Schwingungen heftiger. Die Elektronen erleiden öfter Zusammenstöße, sie haben es jetzt „schwerer“, sich zu bewegen - der Widerstand steigt.

NTC

Man erkennt aber auch, dass dieses einfache Modell seine Grenzen hat, denn es gibt auch Materialien mit umgekehrtem Verhalten (NTC, siehe 3.3). Eigentlich müsste noch berücksichtigt werden, dass die Anzahl der frei beweglichen Ladungsträger auch von der Temperatur abhängt. Das beeinflusst natürlich auch die Leitfähigkeit. Je mehr Ladungsträger „freigesetzt“ werden, desto höher ist sie. Auf diese komplexeren Zusammenhänge kann hier aber nicht weiter eingegangen werden.

Beim in 4 beschriebenen Temperatursensor wird ein PTC verwendet. Es handelt sich um einen Pt-T. Diese Begriffe werden in 3.3 erläutert.

Thermoelemente

Mit diesen Grundlagen versteht man auch leicht die Funktionsweise von Thermoelementen. Unterschiedliche Metalle haben eine unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit κ . Das erklärt sich dadurch, dass sich die Elektronen in dem einem besser, „freier“ bewegen können als im anderen und dass es unterschiedlich viele Elektronen gibt, die sich frei bewegen können.

Seebeck-Effekt

Was geschieht nun, wenn man zwei Objekte aus verschiedenen Metallen miteinander in Kontakt bringt? Elektrischer Kontakt bedeutet, dass Ladungen vom einen zum anderen fließen können. Das heißt, Elektronen können die Grenze zwischen den beiden Materialien überwinden. Hätten beide die gleichen Eigenschaften, dann könnte man einen reinen Austausch erwarten. Das eine Material gibt über die Kontaktstelle genauso viele Elektronen ab, wie es vom andern zurückbekommt. Wenn die Beweglichkeit und die Anzahl der Elektronen aber unterschiedlich sind, dann wird sich ein Ungleichgewicht einstellen.

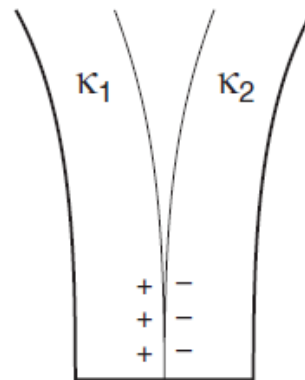


Abbildung 15: Metalle in Kontakt

Dieser Effekt wird nach seinem Erforscher Seebeck-Effekt genannt. Es ist aber auch dann nicht möglich, dass ständig ein Strom fließt, denn dann würde der Ladungsunterschied immer größer werden. Es würde sich eine immer größere Spannung aufbauen. Tatsächlich stellt sich wieder ein Gleichgewicht ein, wenn die Spannung so groß geworden ist, dass sie verhindert, dass weitere Elektronen „die Seite wechseln“.

Temperaturdifferenz

Darin liegt der Grund, warum man bei einem Thermoelement zwei Kontaktstellen braucht. Nur wenn diese auf unterschiedlichen Temperaturen liegen, hat man auch eine unterschiedliche „Durchlässigkeit“ an beiden Kontaktstellen. Diese ist nämlich auch von der Temperatur abhängig. Jetzt kann von außen die Thermospannung oder der Thermostrom abgegriffen werden.

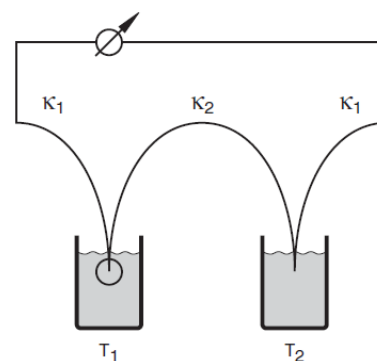


Abbildung 16: Thermoelement

In Abbildung 16 wird gezeigt, dass also insgesamt zwei Materialien mit unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit κ_1 und κ_2 benötigt werden, deren Kontaktstellen sich auf unterschiedlichen Temperaturen T_1 und T_2 befinden. In Abbildung 15 ist eine Fühlerspitze (links bei T_1) stark vergrößert dargestellt.

Damit ist es nun klar, dass man mit einem Thermoelement nur eine Temperaturdifferenz messen kann. Um eine absolute Temperatur zu messen, benötigt man ein Medium mit einer festen Referenztemperatur. Das ist ähnlich wie bei einer Differenzdruckmessung. Nur ist es noch schwieriger eine Temperatur exakt konstant zu halten als einen Druck.

Messfehler	Bei diesem Messprinzip ist zu beachten, dass es im ganzen System weitere Kontaktstellen gibt, z. B. zwischen den Zuleitungen zum Messgerät und dem Thermoelement. Wenn diese unterschiedliche Temperaturen haben, ergibt sich eine zusätzliche Thermospannung, die das Ergebnis verfälscht. Dieser Messfehler tritt aber nicht nur bei Thermoelementen auf, sondern bei jeder Temperaturmessung, die auf der Messung elektrischer Größen beruht, also auch bei PTCs (siehe 3.3).
Energie	Den Strom bei einem Thermoelement könnte man z.B. verwenden um einen Motor zu drehen. Auch wenn er eine sehr geringe Leistung hätte, so wäre doch Energie erforderlich. Woher kann sie kommen? Hier kommt nur der Temperaturunterschied in Frage. Durch diesen Effekt werden sich die unterschiedlichen Temperaturen (auch ganz ohne Wärmeleitung) ausgleichen. Wenn es keinen Temperaturunterschied mehr gibt, dann kann auch kein Strom mehr fließen; es kann auch keine Arbeit mehr geleistet werden.
Wärmekraftmaschine	Das ist das Prinzip jeder Wärmekraftmaschine, z. B. Dampfmaschine oder Stirling-Motor. Es ist anschaulich klar, dass man sozusagen als Energielieferant ein Medium mit höherer Temperatur braucht. Es hat aber lange gedauert, bis man erkannt hat, dass ein weiteres Medium mit unterschiedlicher Temperatur genauso wichtig ist. Erst dann war die Konstruktion einer funktionsfähigen Dampfmaschine durch James Watt möglich. Das ist noch keine 250 Jahre her.
Peltier-Effekt	Der Effekt lässt sich aber auch umkehren. Wenn man von außen Energie in den Prozess steckt, also z. B. eine Spannungsquelle anschließt, dann erhöht sich der Temperaturunterschied. Die eine Kontaktstelle erwärmt sich, die andere kühlt sich ab. Das ist als Peltier-Effekt bekannt. Ein so betriebenes Thermoelement heißt Peltier-Element. Praktisch angewendet wird dieser Effekt z. B. in Kühlschränken, die mit Batterie betrieben werden. Ungünstig für die praktische Anwendung ist der geringe Wirkungsgrad.
Zusammenfassung	Die wichtigsten Grundlagen sollen noch einmal kurz zusammengefasst werden.
	<p>Temperaturübergang Der Sensor muss so aufgebaut sein, dass er rasch die Temperatur des Mediums annehmen kann. Ein Hilfsmittel dabei ist Wärmeleitpaste.</p> <p>elektrischer Widerstand Das ist eine häufig zur Temperaturmessung verwendete Größe. Auch beim beschriebenen Sensor wird die Änderung des elektrischen Widerstands bei Temperaturänderung ausgewertet.</p> <p>Thermoelemente Diese werden auch zur Temperaturmessung verwendet, sind aber in der Anwendung schwieriger.</p>

3 Temperaturmesstechnik

3.1 Übersicht

Bei der Temperaturmessung ist die Vielfalt der Geräte ähnlich groß, vielleicht sogar größer, wie bei der Druckmessung (siehe 3.2). Einige Geräte bzw. Messprinzipien sollen hier nur kurz vorgestellt werden, um die Bezeichnungen kennenzulernen und die Sensoren besser einordnen zu können. Im folgenden Diagramm sind einige Beispiele davon mit ihren Temperaturbereichen dargestellt.

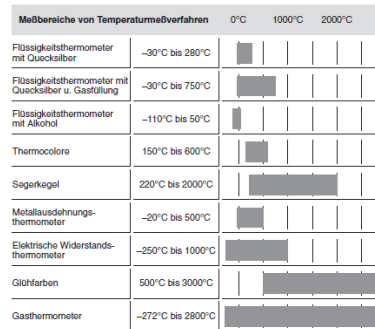


Abbildung 17: Temperaturmessverfahren

Einige Begriffe, die unten nicht behandelt werden, sollen hier kurz erläutert werden.

Thermocole

Damit werden Substanzen bezeichnet, die mit einem Farbumschlag auf die Überschreitung einer Grenztemperatur reagieren. Sie lassen sich nur einmal verwenden. Sie werden zur Anzeige von höheren Temperaturen verwendet. Etwas ähnliches ist auch bei LCD-Thermometern zu finden. Bei diesen sollte die Farbänderung reversibel sein. Weil sie aber auch einer deutlichen Alterung unterliegen, sind sie kaum noch in Gebrauch.

Segerkegel

Diese werden auch zur Überwachung höherer Temperaturen verwendet und zwar beim Brennen von Keramik. Bei einer bestimmten Grenztemperatur beginnen sie zu schmelzen, das heißt sie fallen um oder knicken ein. Daran kann erkannt werden, ob der Brennvorgang korrekt verläuft, ob die vorgesehenen Temperaturbereiche eingehalten werden. Dazu gibt es sie für unterschiedliche Grenztemperaturen.

3.2 Prinzipien der Temperaturmessung

Je nach dem angewandten Prinzip lassen sich die Temperaturmessverfahren in einige Kategorien unterteilen. Bei der Druckmessung beruhen die meisten Messgeräte auf einer mechanischen Verformung, bei der Temperatur gibt es mehr Möglichkeiten. Allerdings ist es auch hier bei den meisten notwendig, dass das Medium mit dem Messgerät in direktem Kontakt steht.

Ausdehnung

Alle Stoffe ändern ihr Volumen bei Temperaturänderung, manche mehr, manche weniger (Wärmeausdehnung). Eine Unterteilung nach Aggregatzuständen macht diesen Fall noch übersichtlicher.

Gase

Gasthermometer sind etwas aufwendig, weil immer der Druck mit berücksichtigt werden muss. Sie werden eher bei hohen Temperaturen eingesetzt.

Flüssigkeiten	Flüssigkeitsthermometer sind wohl zur Zeit noch der am meisten verbreitete Typ. Es gibt sie praktisch in jedem Haushalt, bestimmt viel häufiger als Barometer. Beim Badethermometer wird meist Alkohol verwendet, bei medizinischen Thermometern häufig noch Quecksilber. Wegen der Giftigkeit des Quecksilbers muss sorgsam mit diesen umgegangen werden.
Festkörper	Bei diesem Typ nutzt man die unterschiedliche Wärmeausdehnung unterschiedlicher Metalle aus. Werden z. B. zwei Streifen aus unterschiedlichen Metallen zu einem einzigen zusammengelötet, dann biegt sich dieser bei Temperaturänderungen, weil sich eine Seite mehr ausdehnt als die andere. Wir haben dann ein Bimetall-Thermometer.
elektrische Leitfähigkeit	Diese ändert sich, wenn sich die Temperatur ändert. Genauso kann man sagen, dass sich der Widerstand ändert, wenn sich die Temperatur ändert. Hier hat man es natürlich besonders leicht, daraus ein elektrisches Signal zu erzeugen. Dieser Effekt wird bei den meisten elektronischen Thermometern und auch bei Temperatursensoren verwendet. Wichtige Grundbegriffe dazu werden in 3.3 erklärt. In 3.4 werden verschiedene Möglichkeiten der technischen Realisierung diskutiert.
Thermospannung	Die bei Thermoelementen auftretende Spannung wird auch zur Temperaturmessung verwendet (siehe 2.4 und 3.4).
Strahlung	Heiße Objekte senden Infrarotstrahlen oder bei höheren Temperaturen auch sichtbares Licht (Glühen) aus. Bei passiven Infrarot-Sensoren, wie der OW-Familie der ifm, ist der Zusammenhang zwischen Schaltungspunkt und Temperatur nicht eindeutig, weil die empfangene Strahlung von der Materialkonstanten Emissionsvermögen abhängt. Diese Sensoren werden daher bei der ifm zu den Positionssensoren gezählt, siehe Schulungsunterlagen Optoelektronische Sensoren . Es gibt auch aufwendigere und teurere Messgeräte, die aus der Strahlung die Temperatur ermitteln. Das wurde in der Tabelle oben unter dem Punkt Glühfarben aufgeführt.
3.3 Begriffe	
	Bei Druckmessgeräten ging es meist darum, eine mechanische Verformung auszuwerten. In den Unterlagen darüber ist zu sehen, wieviele Möglichkeiten es allein dafür gibt. Wie oben beschrieben wurde, gibt es bei der Temperaturmessung noch mehr Phänomene, die dazu verwendet werden können. Daher werden hier nicht alle Möglichkeiten ausführlich besprochen. Es werden nur einige wichtige Begriffe für Temperatursensoren beschrieben. Sie betreffen speziell Geräte, bei denen eine Widerstandsänderung ausgewertet wird. Nur der Begriff Übergangsfunktion lässt sich auch auf die meisten anderen Geräte anwenden. Weitere Begriffe sind im kleinen technischen Lexikon zu finden.
	Hier sind die Begriffe nicht alphabetisch sondern nach Zusammenhängen angeordnet.
Kennlinie	Misst man den elektrischen Widerstand bei unterschiedlichen Temperaturen und trägt die so erhaltenen Werte als Kurve auf, dann erhält man die Kennlinie, siehe Abbildung 18. Die Kennlinie ermöglicht es dann, die Temperaturmessung auf eine Widerstandsmessung zurückzuführen.

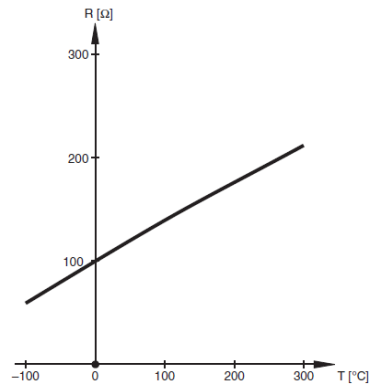


Abbildung 18: Kennlinie (Pt 100)

In Abbildung 18 ist die Kennlinie eines Pt-T dargestellt (siehe unten). Man erkennt, dass die Kennlinie in diesem Fall in guter Näherung linear ist. Es ist hier also nicht besonders aufwendig, die Kennlinie zu linearisieren. Bei vielen anderen Materialien ist die Nichtlinearität deutlicher ausgeprägt.

Temperaturkoeffizient, PTC, NTC

Ersetzt man die Kennlinie (vgl. Abbildung 18) oder einen Teil davon näherungsweise durch eine Gerade, dann ist die Steigung der Geraden der Temperaturkoeffizient. Es gibt Materialien, bei denen der Widerstand abnimmt, wenn die Temperatur steigt. Das heißt bei diesen ist der Koeffizient negativ (NTC: negative temperature coefficient). Wichtiger für die Anwendung sind aber die Materialien, bei denen der Koeffizient positiv ist. Die Abkürzung dafür ist PTC (positive temperature coefficient).

Pt-T, Pt 1000, Pt 500, Pt 100

Diese Bezeichnung ist nicht mit PTC zu verwechseln. Aus verschiedenen Gründen, z. B. die hohe chemische Beständigkeit, verwendet man Platin als Material für solche temperaturabhängige Widerstände. Pt ist das chemische Zeichen für Platin. Der sogenannte Nennwert, das ist der Widerstandswert eines Standardleiters bei 0° C, beträgt beim Pt 1000 genau 1000,00 Ω. Es gibt auch Pt 500 und Pt 100 mit entsprechenden Nennwerten. Die Kennlinie eines Pt 100 ist in Abbildung 18 zu finden. Die Kennlinien eines Pt 500 und Pt 1000 verlaufen ganz ähnlich. Sie sind nur 5 * bzw. 10 * steiler und schneiden die Widerstandsachse bei 500 Ω bzw. 1000 Ω. Es gibt sehr viele Bauformen von Temperatursensoren mit einem Pt XY als Sensorelement (XY steht für 100, 500 oder 1000). Ein Pt XY ist auch ein PTC. Es gibt aber auch PTCs aus preiswerterem Material mit allerdings etwas schlechteren Eigenschaften. Im folgenden wird auch die Abkürzung Pt-T für Platin-Temperatursensorelement verwendet.

Nennwert

Ein großer Nennwert (siehe Pt 1000) erhöht die mögliche Auflösung, weil hier auch die Widerstandsänderung entsprechend groß ist. Der Koeffizient bei den Pt XY-Typen beträgt im Bereich bis 100 °C:

- Pt 100 0,4 Ω/K
- Pt 500 2,0 Ω/K
- Pt 1000 4,0 Ω/K

Natürlich sind 4 Ω leichter zu messen als 0,4 Ω.

Wie genau ist der Nennwert?

Wie beim Pt 1000 erläutert wurde, ist der Nennwert ein Näherungswert. Genau genommen schwankt die Widerstandsänderung z. B. beim Pt 1000 im Bereich von 0 bis 100 °C zwischen 3,8 und 3,9 Ω/K und entsprechend beim Pt 500 und Pt 100. In der IEC 751 werden diese Werte als Grundwerte bezeichnet. Da die Kennlinie hier fast linear ist, stellen die oben angegebenen Nennwerte eine gute Näherung dar.

Toleranzklassen

Pt-Ts werden in Toleranzklassen eingeteilt. Natürlich ist es praktisch unmöglich zwei oder mehrere Pt-Ts mit völlig identischen Eigenschaften zu fertigen. Sie unterliegen Exemplarstreuungen. In der Definition der Toleranzklassen sind in der IEC 751 die maximal zulässigen Werte dafür festgelegt.

Toleranzklasse	Temperaturbereich	Toleranz
A	- 200 ... + 600 °C	$\pm (0,15 \text{ K} + 0,0020 * t)$
B	- 200 ... + 850 °C	$\pm (0,30 \text{ K} + 0,0050 * t)$
1/3 B	- 70 ... + 250 °C	$\pm (0,10 \text{ K} + 0,0017 * t)$

In der IEC 751 sind nur die Klassen A und B festgelegt. Die Klasse 1/3 B ist eine Spezifikation in Anlehnung an IEC 751. Weil die Klassen A und B die vielen Anwendungsfälle nicht zufriedenstellend abdecken, ist auch 1/3 B (und andere) gebräuchlich. Auch in den in 4 beschriebenen Temperatursensoren werden Pt-Ts der Klasse B verwendet. Bei den Typen, die speziell für Anwendungen im Hygienebereich konzipiert sind, z. B. TT0061, TT1061, werden Pt-Ts der Klasse A verwendet.

In der Tabelle bedeutet |t| den Betrag der Temperatur in °C (ohne Vorzeichen). Der Tabelle kann z. B. entnommen werden:

- bei 0 °C beträgt die Toleranz $\pm 0,30 \text{ K}$
- bei 100 °C beträgt die Toleranz $\pm 0,80 \text{ K}$

Diese Werte gelten für die Klasse B.

Was bedeutet Widerstand?

Es wirkt manchmal verwirrend, dass der Begriff „Widerstand“ sowohl für ein Bauteil als auch für dessen Eigenschaft verwendet wird. Es sollte aber hier aus dem jeweiligen Zusammenhang klar zu erkennen sein, in welcher Bedeutung der Begriff jeweils verwendet wird.

Thermistor

Bei speziellen Halbleitern ist der Nennwert besonders groß, so dass die Messung hier sehr gut auflösen kann. Allerdings ist die Kennlinie stark nichtlinear, was die Auswertung erschwert. Solche Widerstände werden Thermistor genannt.

Übergangsfunktion

Das Zeitverhalten eines Temperatursensors wird durch diese Funktion beschrieben. Der Sensor (und das ihn umgebende Medium) soll sich zunächst auf der Temperatur T_1 befinden. Dann ändert sich schlagartig die Temperatur des Mediums auf T_2 (der genaue Versuchsaufbau ist in der IEC 56B beschrieben). Der Sensor nimmt nur mit einer zeitlichen Verzögerung diesen Wert an (siehe 2.4). Der Verlauf des Messsignals stellt die Übergangsfunktion dar. Man hat zwei Werte gewählt, um die Funktion zu charakterisieren: $t_{0,5}$ und $t_{0,9}$. Damit ist die Zeit gemeint, nach der das Messsignal 50 %, die sogenannte Halbwertszeit, bzw. 90 % seines Endwerts erreicht. In Abbildung 19 ist diese Funktion aufgetragen. Dabei ist zu beachten, dass es sich nicht um die Mediumstemperatur handelt sondern um die Temperatur des Sensors, bzw. den ausgegebenen Wert, der auch auf der Anzeige dargestellt wird (siehe auch Abbildung 7 ff).

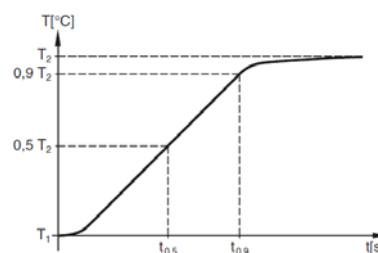


Abbildung 19: Übergangsfunktion

3.4 Vergleich der Messsysteme

Nachdem jetzt einige Begriffe erläutert und Messverfahren beschrieben wurden, sollen jetzt aktuelle Systeme bzw. Typen gegenübergestellt werden. Die Reihenfolge der genannten Punkte stellt keine Wertung dar. Es kommt auf den Einzelfall an, welches Gewicht welche Eigenschaft hat.

Bei den tabellarischen Übersichten werden jeweils Vor- und Nachteile gegenübergestellt. Diese Tabellen sind folgendermaßen zu verstehen: Kommt ein Begriff, Z. B. Ausgangsspannung, bei + vor, dann heißt das sie ist relativ groß und damit gut zu messen. Kommt sie bei - vor, dann ist sie relativ klein. Die Messung ist dann schwieriger und anfälliger gegen Fehler.

3.4.1 3.4.1 PTC

Der Begriff wurde schon in 3.3 erklärt (siehe „Temperaturkoeffizient“). Jetzt soll es um die praktische Anwendung gehen.

Um den Widerstand zu ermitteln, wird z. B. eine Spannung angelegt. Werden Spannung und Stromstärke gemessen, dann lässt sich aus dem Ohmschen Gesetz der Widerstand berechnen.

(3)

$$U = R * I$$

$U[V]$: Spannung; $R[\Omega]$: Widerstand; $I[A]$: Stromstärke

Der Strom I führt aber auch zu einer Eigenerwärmung des PTC, was einen Messfehler verursacht. Um diesen gering zu halten, muss ein möglichst geringer Strom fließen. Beträgt der Strom z. B. 1 mA, dann ist der Spannungsabfall über einem PT 100 genau 0,1 V.

Diese Spannung muss dann am PTC gemessen werden. Man unterscheidet dabei drei Schaltungen.

Zweileiterschaltung

Der PTC wird mit einem zweiadrigen Kabel mit der Spannungsversorgung verbunden. Dann kann auch nur dort die Messung vorgenommen werden. Auf diese Weise kann jedoch nur der gesamte Widerstand als Summe des Widerstands des PTC und der Leitungen bestimmt werden. Es ist besonders schwierig den Leitungswiderstand zu kompensieren, weil er ja auch temperaturabhängig ist. Die Temperatur der Leitungen wird auch weder räumlich noch zeitlich konstant sein. Der dadurch verursachte Messfehler ist um so größer, je länger die Leitungen sind. Bei dieser Schaltung ist es günstig, wenn der PTC hochohmig ist.

Bei den Temperatursensoren von 4 wird eine Zweileiterschaltung verwendet. Um eventuelle systematische Messfehler zu kompensieren, lassen sie sich kalibrieren (siehe 4.3.1). Falls sich zeigen sollte, dass diese Maßnahme für viele Anwendungen nicht genügt, dann wäre es technisch auch möglich, Geräte mit der Vierleiterschaltung (siehe unten) zu bauen.

Dreileiterschaltung

Hier wird eine zusätzliche Leitung zu einem Kontakt des PTC geführt. Man hat also insgesamt drei Leitungen. Dadurch, dass man zwei Messkreise auswerten kann, lässt sich der Einfluss der Leitungen besser kompensieren.

Vierleiterschaltung

Werden zusätzlich zu den zwei Versorgungsleitungen zwei Messleitungen zu den Kontakten des PTC geführt, dann ist die Messung am zuverlässigsten. Ist der Eingang der Auswerteschaltung genügend hochohmig, dann kann der Einfluss der Messleitungen vernachlässigt werden. Diese Schaltung ist natürlich auch am aufwendigsten.

In der Praxis gibt es auch Mischformen. So kann z. B. der Kopf des Sensors, der den Prozeßanschluß herstellt, außerhalb des Mediums an die Messvorrichtung angeschlossen werden. Die beiden Messleitungen sind dann bis zu diesem Anschluss geführt, während der PTC mit zwei Leitungen angeschlossen ist. Der Messfehler hängt davon ab, wie nahe sich der Abgriff der Messleitungen am PTC befindet.

Fazit

Die Eigenschaften des metallischen PTC sollen kurz zusammengefasst werden.

+	-
Stabilität Genauigkeit Linearität	Preis Ansprechzeit Stromquelle erforderlich, dadurch Eigenerwärmung

Pt

Wie erwähnt, werden hier häufig Pt XY (XY = 100, 500 oder 1000) verwendet. Wenn geringere Ansprüche gestellt werden, dann werden auch andere metallische Materialien verwendet, z. B. Nickel oder Kupferlegierungen.

Anwendungen

Von den vielfältigen Anwendungen sollen nur einige Beispiele genannt werden.

- Heizungs-, Lüftungs-, Klimaanlage
- Überlastschutz bei Motoren

- Halbleiterschutz
- Prozesstemperaturregelung

nicht metallisch

Es werden auch nach dem gleichen Prinzip nichtmetallische Materialien verwendet (Heißeiter), z. B. polykristallines Bariumtitanat. Dieser Typ ist weniger genau und weist hohe Exemplarstreuungen auf. Für die praktische Anwendung macht ihn eine andere Eigenschaft interessant. Er folgt nur bis zu einer gewissen Grenze dem Ohmschen Gesetz (3). Wird die Spannung über diese Grenze erhöht, dann steigt der Widerstand sprunghaft an. Der Strom wird dadurch begrenzt.

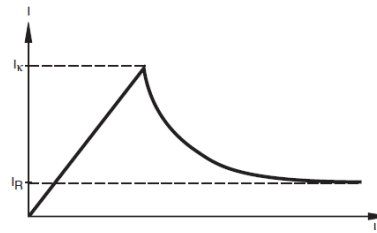


Abbildung 20: Heißeiter

Die maximale Stromstärke wird als Kippstrom I_K und der annähernd konstante Strom bei höherer Spannung als Reststrom I_R bezeichnet (Abbildung 20).

Anwendungen

In Produkten für den Konsumbereich, bei denen hohe Stückzahlen benötigt werden und es nicht so sehr auf Präzision ankommt, werden diese Typen häufig verwendet.

- Grenztemperaturschalter (Motorwicklungen, Heißwassergeräte)
- Überlastschutz (Lautsprecher, NF-Technik, Kleinmotoren)
- Verzögerungsschaltungen
- selbstregelnde Thermostate (Haartrockner)

3.4.2 Thermistor

Zum Begriff siehe 3.3. Die geringe Wärmekapazität ist einerseits, wie oben beschrieben, von Vorteil. Andererseits macht sie diesen Typ anfälliger für Messfehler durch Eigenerwärmung.

+	-
Ausgangsspannung Temperaturkoeffizient Ansprechzeit	Nichtlinearität Temperaturbereich mechanische Stabilität Stromquelle erforderlich, dadurch Eigenerwärmung

3.4.3 IC-Sensor

Es gibt auch Typen, bei denen das Sensorelement und die Auswerteschaltung zu einem IC integriert sind. Der erste Temperatursensor der ifm war von diesem Typ. Er ist aber von Pt 1000-Sensoren abgelöst worden.

+	-
Ausgangsspannung Preis	nur Temperaturen < 250 °C Ansprechzeit

Linearität	Auswahl Stromquelle erforderlich, dadurch Eigenerwärmung
------------	--

3.4.4 Thermoelement

Der Begriff wurde ebenfalls in 3.3 erklärt.

+	-
keine Stromquelle erforderlich Robustheit Preis Viele Bauformen Temperaturbereich	Nichtlinearität Ausgangsspannung Referenz erforderlich Stabilität Temperaturkoeffizient Kontaktstellen

Mit Kontaktstellen ist folgendes gemeint. Es gibt in der ganzen Anordnung nicht nur die Kontakte im Sensorelement sondern auch Kontakte zu den Zuleitungen. Falls diese auf unterschiedlichen Temperaturen liegen, ergibt sich ein Messfehler.

3.4.5 Weitere Typen

Hier sollen noch kurz einige weitere Typen genannt werden, die auch relativ verbreitet sind. Auf deren Grundlagen wird hier aber nicht eingegangen.

NTC

Oben, beim PTC (3.4.1), wurde der Begriff Kaltleiter erwähnt. Beim NTC spricht man vom Heißleiter. Sie bestehen aus keramischen Oxyden. Sie sind universell einsetzbar, preiswert und haben einen hohen Temperaturkoeffizienten. Andererseits haben sie relativ hohe Ansprechzeiten.

Anwendungen

Auch hier gibt es einen weiten Anwendungsbereich. Einige Beispiele:

- Lebensmittel- und Kunststoffindustrie
- Kfz-Elektronik
- Medizintechnik
- Temperaturkompensation von Spulen, Transistoren
- Überlastschutz

Halbleitersensoren

Natürlich sind auch bei Halbleitern die elektrischen Eigenschaften temperaturabhängig. Eine Eigenschaft dieser Typen ist ein Temperaturbereich von ca. -50 °C ... +150 °C.

Silizium

n-leitende Siliziumkristalle werden hier verwendet.

Diode, Transistor

Hier wird der Effekt ausgenutzt, dass der Widerstand des pn-Übergangs stark temperaturabhängig ist. Diese Übergänge werden durch Dotierung geeigneter Materialien erzeugt. Da dieser Prozess schlecht reproduzierbar ist, weisen sie hohe Exemplarstreuungen auf.

4 Die Temperatursensor-Familie der ifm

4.1 Vorgeschichte

Diese Familie der Temperatursensoren war zu Beginn sehr leicht zu überblicken, sie bestand aus einem Typ. Dieser soll zunächst kurz beschrieben werden. Bei diesem Sensor handelte es sich um einen IC-Sensor (siehe 3.4.3). Im Zuge des ständig stattfindenden Prozesses der Optimierung wurde er inzwischen durch andere Typen ersetzt und ergänzt (siehe 4.2.1).

Meßmethode

Der analoge Widerstandswert muss zur elektronischen Auswertung digitalisiert werden. Das geschah hier durch eine Frequenzmessung, das heißt durch die Messung der Anzahl von Schwingungen in einer festgelegten Zeit. Der temperaturabhängige Widerstand ist Bestandteil eines Schwingkreises. Ändert sich die Temperatur dann ändert sich der Widerstand und damit die Frequenz, d. h. die Anzahl von Schwingungen pro Zeit ändert sich. Aus verschiedenen Gründen ist meist eine Relativmessung vorteilhafter als eine Absolutmessung, z. B. zur besseren Kompensation von Messfehlern. Auch bei diesem Sensor wurde diese Methode verwendet. Er enthält genau genommen zwei Schwingkreise. In einem sitzt ein Widerstand mit einem hohen, im anderen mit einem niedrigen Temperaturkoeffizienten (siehe Abbildung 21, (1) und (2)). Diese werden über die Messung der Anzahl der Schwingungen verglichen. Aus den bekannten Kennlinien lässt sich daraus die Temperatur ermitteln. Es ist keine Kalibrierung erforderlich, die andere Meßmethoden aufwendig und teuer macht.

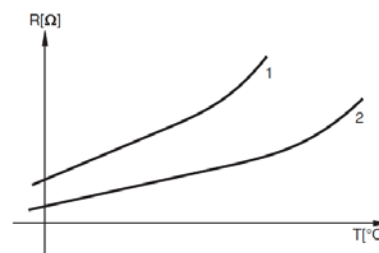


Abbildung 21: Temperaturkoeffizienten beim IC-Sensor

1 Chip

Die gesamte Funktionalität dabei ist auf einem einzigen Chip realisiert.

Auswertung und Anzeige

Das von diesem gelieferte Signal muss dann in einem getrennten Teil ausgewertet, angezeigt, verglichen werden usw. Das geschieht aber auf die gleiche Weise wie beim Drucksensor, so dass hier die Entwicklungsarbeit gering gehalten werden konnte. Auch bei der nächsten Generation hat sich, was die Anzeige und Einstellung betrifft, kaum etwas geändert.

Bauform

Auch an der Bauform hat sich nichts geändert. Der neue TN sieht genauso aus, wie der alte (siehe 4.4.2).

Das Gehäuse und die Sensorspitze waren keine Neuentwicklung. Es wurde das Gehäuse des PN mit der Sensorspitze des Strömungssensors SF bzw. ST verwendet. Speziell für die chemische Beständigkeit gelten daher die gleichen Aussagen, die beim SF bzw. ST gemacht wurden (siehe Schulungsunterlagen Strömungssensoren).

Das soll als Beschreibung des ersten Typs genügen. Im folgenden wird die nächste Generation behandelt.

Synergie

Das hat für den Anwender den großen Vorteil, dass die Einstellung der Sensoren, die ganz unterschiedliche Prozessparameter, hier Druck und Temperatur, auf die gleiche Weise geschieht (siehe 4.3). Man braucht sich nicht jedes Mal in ein anderes Bedienungskonzept zu vertiefen. Natürlich gibt es im Detail Unterschiede: z. B. arbeitet die Temperaturerfassung träger als die Druckmessung. Daher werden beim Temperatursensor Funktionen zum Glätten kurzzeitiger Spitzen kaum benötigt. Inzwischen ist diese Funktion aber auch verfügbar.

Durch die gleiche Bauform genügt ein einziger Flanschadapter (siehe 4.4.2) um wahlweise einen Strömungs-, Druck- oder Temperatursensor an den Prozess anzuschließen.

4.2 Technik

4.2.1 Sensorelement

PT 1000

Das Sensorelement, der eigentliche Aufnehmer, ist ein Pt 1000 (siehe 3.3). Im Prinzip ist es auch möglich einen Pt 100 zu verwenden. Die Auswerteeinheit (siehe 4.3) ist so ausgelegt, dass sie sich selbständig darauf einstellen kann.

Dünnschichttechnik

Der Anwender kann alle Pt 100 Sensoren, die er schon eingebaut hat, weiterverwenden! Sie können ohne zusätzliche Beschaltung direkt über den M 12 Stecker an das Anzeige- und Auswertegerät angeschlossen werden. Pt XY-Sensorelemente werden mit dieser Technik gefertigt. Dazu wird mit photolithografischen Methoden eine Platin-Schicht auf einen Träger aus Aluminium-Oxid aufgebracht. Das ist ein Keramik-Material mit guter Wärmeleitfähigkeit (vgl. 2.4). Die Dicke der Platin-Schicht beträgt ca. 1 µm. Die Leiterbahn hat die Form eines Streifens mit einer Breite von ca. 5 - 100 µm. Der Streifen wird mit Glas, das mit Glaskeramik versiegelt ist, geschützt. Der Anschluss geschieht über Anschlusspads. Dieser Aufbau begrenzt die mechanische Belastbarkeit des Pt-T.

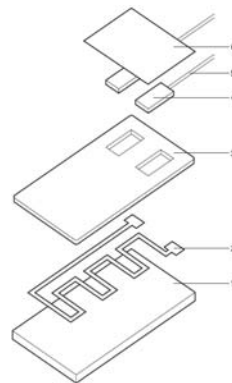


Abbildung 22: Aufbau eines Pt-T

Komponenten

Folgende Komponenten werden dabei verwendet:

keramischer Träger	Al ₂ O ₃ -Substrat
Pt-Widerstand	Fotografisch erzeugte Dünnschicht-Struktur
Abdeckung	Glas
elektrische Verbindung	Anschlusspads
Zuleitungen	Anschlussdrähte
Isolierung	Versiegelung mit Glaskeramik

4.2.2 Signalverarbeitung

Die Signalverarbeitung geschieht im Anzeige- und Auswertegerät, kurz Grundgerät genannt (genau genommen wird so nur das Anzeige- und Auswertegerät des Modulsystems bezeichnet. Da sich aber das integrierte Gerät, was die eigentliche Signalverarbeitung betrifft, nicht davon unterscheidet, braucht es nicht separat behandelt zu werden.). Die Anzeige und Einstellung wird in 4.3.1 bis 4.3.8 beschrieben. Hier geht es darum, wie das Signal verarbeitet wird.

Um die Temperatur zu bestimmen, muss, wie oben beschrieben, der elektrische Widerstand des Sensorelements ermittelt werden. Jetzt kann aber, je nach Bauform (siehe 4.4.2), das Sensorelement unterschiedlich weit vom Grundgerät entfernt sein. Die räumliche Trennung selbst ist nicht das Problem. Sie muss aber durch Zuleitungen überbrückt werden, die selbst auch einen elektrischen Widerstand haben.

Leitungskompensation

Eine längere Zuleitung zum Sensorelement hat einen größeren Widerstand. Aus dem gesamten Widerstand (Sensorelement + Zuleitung) würde man als systematischen Fehler eine zu hohe Temperatur erhalten. Das muss also bei der Temperaturbestimmung berücksichtigt werden. Man spricht hier von Leitungskompensation. Sie geschieht hier über die Kalibrierung (siehe 4.3.6).

Mikroprozessor

Diese Funktion der Kalibrierung und die ganzen anderen Funktionen, die in 4.3.1 bis 4.3.8 beschrieben werden, lassen sich nur mit einem Mikroprozessor realisieren. Zusammengefasst übernimmt der Mikroprozessor folgende Aufgaben:

- Der μP steuert die Konvertierung der analogen Strom- und Spannungswerte zu Ermittlung des Widerstands und berechnet daraus die Temperatur
- Der μP verschiebt den Wert gemäß der eingestellten Kalibrierung
- Der μP rechnet den Wert der Temperatur in die eingestellte Einheit um
- Der μP steuert die Temperaturanzeige an (aufrecht oder rotiert)
- Der μP ermöglicht die skalierte Einstellung des Schaltpunktes mittels einer Drucktaste
- Der μP ermöglicht ebenfalls die skalierte Einstellung des Rückschaltpunktes und der Schaltfunktionen: Öffner, Schließer, Hysterese und Fenster
- Der μP steuert die Zeitfunktion des binären Ausgangs
- Der μP steuert die Optionen bei der Ausgabe des analogen Signals
- Der μP speichert die Eingaben im EEPROM
- Der μP bildet Mittelwerte
- Der μP führt Plausibilitätskontrollen durch

Blockschaltbild

Dies soll durch ein (schematisches) Blockschaltbild verdeutlicht werden.

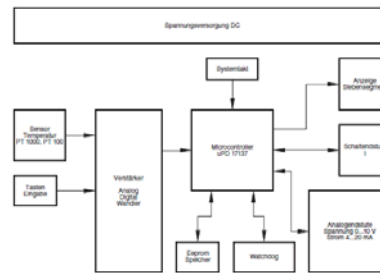


Abbildung 23: Blockschaltbild

4.3 Grundgerät

Das Grundgerät ist bei allen Typen gleich. Deshalb wird es nur einmal beschrieben. Bei der Bedienung des Geräts wird auf die unterschiedlichen Funktionen, die mit den unterschiedlichen Bauformen zusammenhängen, hingewiesen. Genau genommen wird als Grundgerät nur das Anzeige- und Auswertegerät des Modulsystems bezeichnet. Da sich aber das integrierte Gerät im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, dass das Sensorelement direkt im Gehäuse sitzt, braucht es nicht separat behandelt zu werden

1...4

Die folgenden Beschreibungen gelten für Geräte mit 2 Ausgängen. Inzwischen gibt es auch den Typ mit 4 Ausgängen. Wenn immer alle Möglichkeiten, die es gibt, aufgezählt würden dann wäre der Text ziemlich unübersichtlich. Deshalb soll hier nur vorweg kurz darauf hingewiesen werden, dass es bei diesem Typ eben z. B. nicht nur SP 1 und SP 2 (SP für Schaltpunkt) sondern auch SP 3 und SP 4 gibt. Das gleiche gilt sinngemäß auch für die anderen Funktionen.

4.3.1 Anzeige

In diesem Abschnitt wird beschrieben, was das Gerät anzeigt, wenn der Bediener nicht eingreift.

Normalbetrieb

Normalerweise befindet sich das Gerät im RUN-(Betriebs-)Modus.

Anzeige

Die Anzeige sieht auf den ersten Blick genauso aus wie beim PN. Beim Temperatursensor wird die Mediumstemperatur angezeigt.

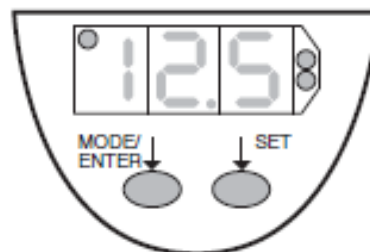


Abbildung 24: Display

Es gibt aber einen Unterschied, der in der oberen linken Ecke zu erkennen ist. Das ist die Anzeige für die verwendete Einheit. Leuchtet die LED nicht, dann erfolgt die Anzeige in ° C. Leuchtet sie, dann werden ° F angezeigt. Falls nur ein binärer Ausgang vorhanden ist, dann befindet sich rechts nur eine LED zur Anzeige des Schaltzustands.

Auflösung	Die Auflösung beträgt 0,5 °C, bzw. 0,5 K. Bei Werten über 100 °C steht aber keine vierte Stelle dafür zur Verfügung. Hier werden die halben Grad durch den Dezimalpunkt ganz rechts angezeigt. Z. B. steht 125 für 125,0 °C und 125. für 125,5 °C. Genauer gesagt, ist das die Auflösung der Anzeige. Die Messgenauigkeit beträgt ± 0,2 °C. Beim analogen Ausgang ist die Auflösung höher (8 Schritte pro K, siehe 4.4.3)
Störanzeigen	Auch beim Temperatursensor gibt es neben der Anzeige der Mediumtemperatur noch Störanzeigen.
OL	OL (<u>o</u> ver <u>l</u> oad) bedeutet Übertemperatur.
UL	UL (<u>u</u> nder <u>l</u> oad) bedeutet Untertemperatur.
SC 1, SC 2	S[1 (<u>s</u> hort <u>c</u> ircuit) bedeutet Kurzschluss in Schaltausgang 1. Der Ausgang ist gesperrt. Dem entspricht S[2 für Schaltausgang 2. Die Anzeige blinkt dabei.
Err	Err (<u>e</u> rror) bedeutet einen allgemeinen Fehler, z. B. kein Sensor angeschlossen. Die Anzeige blinkt dabei.
Einstellen	Durch Betätigung der Mode-Taste werden zunächst nur die aktiven Funktionen angezeigt. Durch Betätigen der Set-Taste erfolgt die Anzeige der eingestellten Werte. Dadurch wird noch nichts verändert. Erst durch das Festhalten der Set-Taste (mindestens 5 s lang) wird der RUN(Betriebs-)Modus verlassen. Das Gerät befindet sich dann im Set-(Einstell-)Modus. Die Funktionen des Einstell-Modus werden in den nächsten Kapiteln beschrieben. Der Modus wird auch als Betriebsart bezeichnet.

4.3.2 Schaltpunkt

1. Mode
- 2.

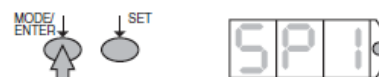


Abbildung 25: Schaltpunkteinstellung 1 Taste Mode Die Mode-Taste wird betätigt. Mit dieser Taste kann man sich bei diesem Gerät durch eine Art Menü bewegen. Der Bediener wird durch das Display informiert, welcher Menüpunkt gerade aktuell ist. Die Taste ist so oft zu betätigen, bis im Display SP 1 für Schaltpunkt 1 erscheint. Die „1“ ist für Geräte mit zwei Ausgängen von Bedeutung. Dort wird über SP 2 der Schaltpunkt 2 eingestellt.

3. Set
- 4.

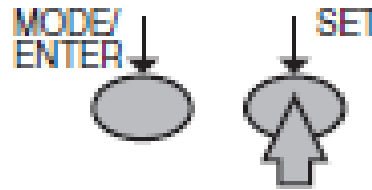


Abbildung 26: Schaltpunkteinstellung 2

Dann wird die Set-Taste betätigt. Geschieht das nur kurzzeitig (antippen), dann wird der eingestellte Schaltpunkt mit 0,5 K Auflösung angezeigt. Soll dieser verändert werden, dann muss die Taste ca. 5 s lang festgehalten werden. Dann wird der Wert fortlaufend erhöht.

3. Enter

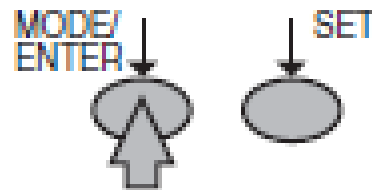


Abbildung 27: Schaltpunkteinstellung 3

Wenn der gewünschte Wert des Schaltpunkts angezeigt wird, muss dieser wieder bestätigt werden. Das geschieht über die Enter-Taste. Wie in Abbildung 24 zu erkennen ist hat die linke Taste zwei Funktionen. In der Mode-Funktion ermöglicht sie das Umschalten zwischen verschiedenen Menüpunkten, in der Enter-Funktion dient sie zur Bestätigung des eingestellten Wertes. Nach der Betätigung der Taste wird der eingestellte Wert wirksam. Das Display zeigt noch einmal für ca. 5 s die ausgewählte Funktion, also hier SP 1. Dann geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus. Unterbleibt die Bestätigung, dann bleibt der vorher eingestellte Wert gültig. Das Gerät geht erst nach ca. 30 s wieder in den Betriebsmodus, damit man genug Zeit hat, die Einstellung zu überdenken.

zu weit gegangen?

Was ist zu tun, wenn man zu lange gewartet hat, und der gewünschte Wert überschritten wurde? Es gibt keine Taste, die den Wert nach unten, zu kleineren Beträgen hin, verändert. Mehr Tasten hätten das Gerät nur komplizierter und teurer gemacht. Daher bleibt nur übrig abzuwarten, bis die Anzeige einmal ganz durchgelaufen ist. Wenn man beim maximalen Wert angekommen ist, dann beginnt es wieder mit dem minimalen Wert. Wie man leicht zum gewünschten Wert kommt, wird im nächsten Absatz beschrieben.

Tippbetrieb

Um einfach und sicher zum gewünschten Wert des Schaltpunkts zu kommen, ist auch ein Tippbetrieb möglich. Ist man erst einmal im Set-Modus, was daran zu erkennen ist, dass der Wert nach oben wandert, dann braucht die Set-Taste nur einmal kurz losgelassen zu werden. Jedes Antippen der Taste erhöht dann den Wert um einen Schritt solange man sich im Set-Modus befindet. Möchte man wie im Beispiel oben den Schaltpunkt auf 10 °C einstellen, dann lässt man den Schaltpunkt bis etwa 5 °C laufen und lässt die Taste los. Anschließend tippt man die Taste noch ein paar Mal an, bis der genaue Wert eingestellt ist. Nicht vergessen: anschließend muss bestätigt werden (siehe 4.3.8).

4.3.3 Hysterese

Zur Verdeutlichung wird die Hysterese an Hand eines Thermometers dargestellt, Abbildung 28. Zu beachten ist, dass sie bei mechanischen Geräten nicht beliebig und genau eingestellt werden kann.



Abbildung 28: Darstellung der Hysterese

Die Hysterese ergibt sich als die Differenz zwischen Schaltpunkt SP und Rückschaltpunkt rP. Es ist eine Besonderheit unseres Sensors und ein Vorteil speziell gegenüber dem mechanischen Temperaturschalter, dass die Hysterese in einem weiten Bereich einstellbar ist. Die minimale Hysterese beträgt 0,5 °C. Da dieser Wert in der Größenordnung der Schaltpunktgenauigkeit liegt, wäre ein geringerer Wert auch nicht sinnvoll. Der Bereich der Hysterese hängt natürlich vom Schaltpunkt ab. Ist z. B. der Schaltpunkt eines Geräts auf 10,0 °C eingestellt, dann kann die Hysterese maximal 50 K betragen, denn der minimale Wert des Rückschaltpunkts beträgt - 40 °C. Der Hysteresebereich ist in der Abbildung 29 dargestellt.

festе Hysterese

Um die Korrektur der eingegebenen Werte zu vereinfachen und um Fehleingaben zu vermeiden, bleibt der Wert der Hysterese bei einer Veränderung des Schaltpunktes erhalten. Wird also als Beispiel (SP = 10,0 °C, rP = 0,0 °C, also Hysterese = 10,0 K) der Schaltpunkt auf 15,0 °C geändert, dann ändert sich automatisch der Rückschaltpunkt auf 5,0 °C. Der Wert der Hysterese bleibt also bei 10,0 K.

Anders verhält es sich in der umgekehrten Richtung. Wird wieder bei den gleichen Ausgangswerten ((SP = 10,0 °C, rP = 0,0 °C, also Hysterese = 10,0 K) der Schaltpunkt auf - 35 °C geändert, dann geht der Rückschaltpunkt auf - 39,5 °C, weil das schon der minimale Wert ist. Die Hysterese beträgt dann 4,5 K.

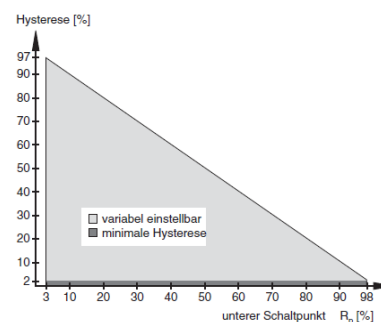


Abbildung 29: Hysteresebereich

Rückschaltpunkt

Die Einstellung der Hysterese geschieht über die Einstellung des Rückschaltpunkts. Der Ablauf ist derselbe wie beim Schaltpunkt (siehe 4.3.2). Die irrtümliche Einstellung des Rückschaltpunkts z. B. oberhalb des Schaltpunkts ist nicht möglich, weil dieser Bereich nicht zugänglich ist.

rP 1

Die Einstellung des Rückschaltpunkts geschieht genau wie die Einstellung des Schaltpunkts in 4.3.2. Über die Mode-Taste muss dazu im Display die Anzeige rP1 aufgerufen werden. Die „1“ ist wieder bei den Geräten mit zwei Schaltausgängen von Bedeutung. Dort wird der zweite Rückschaltpunkt über rP 2 eingestellt.

- Hno, Hnc
Mit der Funktion Hysterese wird gleichzeitig die Ausgangsfunktion programmiert, Schließer (no: normally opened) oder Öffner (nc: normally closed).
1. Mode
Mode 0U 1
Die Mode-Taste wird betätigt bis die Anzeige OU 1 (für output) im Display erscheint.
2. Set
Set kno
Nach dem Betätigen der Set-Taste erscheint Hno im Display. Wird die Taste nur kurz betätigt, dann wird die eingestellte Funktion, hier Hno, nur angezeigt. Nach 5 s wechselt die Anzeige zu OU 1. Nach weiteren 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus. Soll die Funktion geändert werden, dann muss wieder die Set-Taste für ca. 5 s festgehalten werden. Die Anzeige wechselt dann von Hno auf Hnc. Mit dieser Einstellung würde der Ausgang gegenüber Hnc invertiert werden. Die weiteren Funktionen werden in 4.3.4 erläutert.
3. Enter
Enter 0U 1
Über die Enter-Taste wird die Einstellung bestätigt. Der Menüpunkt OU 1 wird angezeigt. Nach ca. 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus.
Soll die Einstellung nicht verändert werden, dann kann entweder 5 s gewartet werden, bis das Display wieder OU 1 anzeigt oder, wie unter 3. beschrieben, der Wert mit der Mode-Taste noch ein Mal bestätigt werden. Wenn die Set-Taste betätigt wurde (über 5 s hinaus), z. B. um sich die verschiedenen Alternativen anzusehen, dann verlängert sich die Wartezeit auf ca. 30 s.
Entsprechend geschieht die Einstellung bei den Geräten mit zwei Schaltausgängen über OU 2.
Zur Funktion Hysterese gibt es eine Alternative, siehe 4.3.4.

4.3.4 Fenster



Abbildung 30: Darstellung des Fensters

- Fno, Fnc
Die Fenster-Funktion ermöglicht es, mit dem Gerät z. B. einen Gut-Bereich zu überwachen. Bei der Einstellung Fno ist der Ausgang offen (0-Signal), wenn die Temperatur unter dem Rückschaltpunkt oder über dem Schaltpunkt liegt.
Der Ausgang ist geschlossen (1-Signal), wenn die Temperatur zwischen Schalt- und Rückschaltpunkt liegt. Bei der Einstellung Fnc ist der Ausgang invertiert. Bei Einstellung der Fenster-Funktion ist die Hysterese auf den minimalen Wert, 0,5 °C, festgelegt (siehe auch 5.1).
Die Einstellung geschieht wie bei der Hysterese, siehe 4.3.3.
1. Mode
Mode 0U 1

Die Mode-Taste wird betätigt, bis die Anzeige OU 1 im Display erscheint.

2. Set

Set Fno

Nach dem Betätigen der Set-Taste erscheint z. B. zunächst Fno im Display. Wird die Taste nur kurz betätigt, dann wird die eingestellte Funktion, hier Fno, nur angezeigt. Nach 5 s wechselt die Anzeige zu OU 1. Nach weiteren 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus.

Soll die Funktion geändert werden, dann muss wieder die Set-Taste für ca. 5 s festgehalten werden. Die Anzeige wechselt dann von Hno auf Hnc und weiter auf Fno und schließlich Fnc. Wird die Taste weiter festgehalten oder angetippt, dann wiederholen sich die Anzeigen. Ist man schließlich bei der gewünschten Funktion, im Beispiel Fno, stehen geblieben, muss wieder bestätigt werden.

3. Enter

Enter OU 1

Über die Enter-Taste wird die Einstellung bestätigt. Der Menüpunkt OU 1 wird angezeigt. Nach ca. 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus.

festes Fenster

Wie bei der Hysterese bleibt auch hier der Wert des Fensters fest bei Veränderung des Schaltpunktes. Das Beispiel für die Hysterese am Ende von 4.3.3 kann ganz genau so als Beispiel für das Fenster gelesen werden.

Entsprechend geschieht die Einstellung bei den Geräten mit zwei Schaltausgängen über OU 2.

4.3.5 Analogausgang

Die Auflösung bei der Wandlung beträgt 8 Schritte pro Grad. Das bedeutet, dass der gesamte Messbereich (-40 °C bis 150 °C) in 1520 Schritte (190 * 8) aufgelöst wird. Eine höhere Auflösung hätte auf Grund der diversen Messfehler auch keinen Sinn.

Nun wird in den wenigsten Fällen der gesamte Messbereich ausgenutzt. Es ist also praktisch, z. B. zur Anzeige oder zur Auswertung, das analoge Ausgangssignal dem tatsächlichen Messbereich anzupassen. Wenn also z. B. Wassertemperaturen zwischen 0 °C und 100 °C überwacht werden sollen, dann kann es sinnvoll sein, der Temperatur von 0 °C den analogen Anfangswert (0 V oder 4 mA) zuzuordnen und der Temperatur von 100 °C den analogen Endwert (10 V oder 20 mA). Die Messgenauigkeit beträgt ± 0,2 °C, siehe oben.

Das sollte nicht missverstanden werden. Durch diese Spreizung der Skala wird nicht die Auflösung erhöht. Im Beispiel oben wurde der Messbereich praktisch halbiert. Das bedeutet aber nicht, dass nun das kleinere Temperaturintervall in 1520 Schritte aufgelöst wird. Da wir 8 Schritte pro Grad haben, wird jetzt das Intervall in 800 Schritte aufgelöst.

ASP

Der analoge Anfangswert wird über die Funktion ASP (analog start point) festgelegt. Der Einstellbereich liegt zwischen -40 und 140 in Schritten von 0,5 °C. Die Einstellung geschieht wieder nach dem üblichen Schema.

1. Mode

Mode ASP

Die Mode-Taste wird betätigt bis die Anzeige ASP im Display erscheint.

2. Set

Set 1 0.0

Nach dem Betätigen der Set-Taste erscheint der eingestellte Wert im Display. Wird die Taste nur kurz betätigt, dann wird der Wert, hier 10,0, nur angezeigt. Nach 5 s wechselt die Anzeige zu ASP. Nach weiteren 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus. Soll der Wert geändert werden, dann muss wieder die Set-Taste für ca. 5 s festgehalten werden. Die Anzeige durchläuft dann den Einstellbereich. Wenn der Wert 0,0 erreicht wurde, kann er bestätigt werden.

3. Enter

Enter ASP

Über die Enter-Taste wird die Einstellung bestätigt. Der Menüpunkt ASP wird angezeigt. Nach ca. 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus.

Soll die Einstellung nicht verändert werden, dann kann entweder 5 s gewartet werden, bis das Display wieder ASP anzeigt oder, wie unter 3. beschrieben, der Wert mit der Mode-Taste noch ein Mal bestätigt werden. Wenn die Set-Taste betätigt wurde (über 5 s hinaus), z. B. um sich die verschiedenen Alternativen anzusehen, dann verlängert sich die Wartezeit auf ca. 30 s.

AEP

Diese Funktion dient zur Einstellung des analogen Endwerts (analog end point). Der Einstellbereich liegt hier zwischen -30 und 150 °C. Die Einstellung geschieht wie bei ASP. Wenn hier der Wert 100 eingestellt wird, dann ist das oben beschriebene Beispiel realisiert.

minimales Intervall

Wegen der Auflösung (siehe oben) und der Messgenauigkeit ist das Intervall auf mindestens 10 K beschränkt. Das bedeutet, es ist immer $AEP = ASP + 10$. Auf diese Weise ergeben sich der maximale Wert für ASP und der minimale Wert für AEP.

$$ASP_{\max} = 140 \text{ °C}$$

$$AEP_{\min} = -30 \text{ °C}$$

Im Gegensatz zur Hysterese- oder Fensterfunktion bleibt das Intervall nicht fest, wenn der Anfangspunkt, ASP, verändert wird. Das bedeutet, dass ASP bei der Einstellung nicht den gesamten Wertebereich durchlaufen kann. Nur falls AEP auf 150 gestellt wurde, kann ASP auf 140 gestellt werden. Sonst ist ASP auf $AEP - 10$ beschränkt. Das gleiche trifft in umgekehrtem Sinne auf AEP zu.

AOU

In dieser Funktion wird eingestellt, ob es sich um einen Strom- oder Spannungsausgang handelt.

1. Mode

Mode AOU

Die Mode-Taste wird betätigt bis die Anzeige AOU im Display erscheint.

2. Set

Set 1

Nach dem Betätigen der Set-Taste erscheint die eingestellte Funktion im Display. Wird die Taste nur kurz betätigt, dann wird sie, hier im Beispiel I für Stromausgang (4-20 mA) nur angezeigt. Nach 5 s wechselt die Anzeige zu AOU. Nach weiteren 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus. Soll der Wert geändert werden, dann muss wieder die Set-Taste für ca. 5 s festgehalten werden. Die Anzeige wechselt dann zwischen I und U für Strom- bzw. Spannungsausgang (0-10 V). Wenn die gewünschte Funktion angezeigt wird, muss sie wieder bestätigt werden.

3. Enter

Enter AOU

Über die Enter-Taste wird die Einstellung bestätigt. Der Menüpunkt AOU wird angezeigt. Nach ca. 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus.

Soll die Einstellung nicht verändert werden, dann kann entweder 5 s gewartet werden, bis das Display wieder AOU anzeigt oder, wie unter 4.3 beschrieben, der Wert mit der Mode-Taste noch ein Mal bestätigt werden. Wenn die Set-Taste betätigt wurde (über 5 s hinaus), z. B. um sich die verschiedenen Alternativen anzusehen, dann verlängert sich die Wartezeit auf ca. 30 s.

4.3.6 Weitere Einstellungen

Bei der Einstellung gibt es Besonderheiten beim Temperatursensor, Funktionen, die es beim Drucksensor nicht gibt. Diese werden zunächst kurz erläutert. Es folgt die Tabelle mit der Zusammenfassung aller Funktionen.

diS

In dieser Funktion wird die Art der Darstellung (diS für display) eingestellt. Das betrifft einerseits die Einheit °C oder °F. Andererseits kann auch die rotierte Darstellung gewählt werden. Der Anwender kann nicht immer frei den Montageort wählen. Außerdem besteht auch immer die Möglichkeit von Montagefehlern. Falls dann das Display vom Personal schlecht abzulesen ist, weil die Darstellung auf dem Kopf steht, muss mechanisch überhaupt nichts geändert werden. Die Darstellung kann dann einfach um 180° rotiert werden.

1. Mode

Mode di S

Die Mode-Taste wird so oft betätigt, bis im Display diS erscheint.

2. Set

Set °[

Durch Antippen der Set-Taste wird die eingestellte Einheit und Anzeige, hier °C in der üblichen Darstellung, angezeigt. Nachdem die Taste 5 s lang festgehalten wurde, wechselt die Anzeige im Display zwischen °C, °F, r°C und r°F. r steht hier für rotiert (auf dem Kopf stehend). Eine Änderung muss wieder bestätigt werden.

3. Enter

Enter di S

Nachdem die Einstellung mit der Enter-Taste bestätigt wurde, erscheint im Display der aktive Menüpunkt. Durch weiteres Betätigen der Taste (in der Funktion Mode) gelangt man zu anderen Menüpunkten, oder man wartet 5 s bis das Gerät wieder in den Betriebsmodus geht

- Min/Max Eine weitere Besonderheit beim Temperatursensor ist die Anzeige der höchsten und der niedrigsten Temperatur, analog einem Min/Max-Thermometer.
- Hi Anzeige der maximalen Temperatur
1. Mode Mode ki
Die Mode-Taste wird so oft betätigt bis im Display Hi erscheint (für high).
2. Set Set 40.5
Durch Antippen der Set-Taste wird der maximale Wert, hier als Beispiel 40.5° C, angezeigt. Wenn die Taste 5 s lang festgehalten wurde, wird der Wert gelöscht. In der Anzeige erscheinen drei Striche.
Set (> 5 s) ---
3. Enter Enter ki
Nachdem die Löschung mit der Enter-Taste bestätigt wurde, erscheint im Display der aktive Menüpunkt. Durch weiteres Betätigen der Taste (in der Funktion Mode) gelangt man zu anderen Menüpunkten, oder man wartet 5 s bis das Gerät wieder in den Betriebsmodus geht
- Lo Anzeige der minimalen Temperatur
Der Ablauf ist genauso wie bei Hi.
- Leitungskompensation Bei längeren Zuleitungen zum Sensorelement kann der Leitungswiderstand oder Kabelwiderstand, siehe 4.2.2, nicht mehr vernachlässigt werden. Er muss kompensiert werden. Das geschieht über den Menüpunkt CAL.
- Kabelwiderstand Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den Messfehler, der durch den Widerstand der Zuleitungen verursacht wird. Es wird dabei von Kupferkabeln ausgegangen mit einer elektrischen Leitfähigkeit γ von:

$$\gamma = 58 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$$

Die angegebenen Werte beziehen sich auf ein Pt 1000.

Kabelquerschnitt [mm ²]	0,5	0,75	1,5
Resultierender Fehler [K] bei einer Kabellänge von			
10 m	0,18	0,12	0,06
15 m	0,27	0,18	0,09
100 m	1,79	1,19	0,60
150 m	2,69	1,79	0,90
200 m	3,58	2,39	1,19

Beiwert	<p>Der Widerstand der Kabel hängt auch noch von deren Temperatur ab. Diese Abhängigkeit wird durch den Temperaturbeiwert α des elektrischen Widerstandes beschrieben. Er beträgt bei Kupfer (bei 20 °C):</p> $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$ <p>Die Widerstandsänderung berechnet sich daraus zu:</p>
(4)	$\Delta R = \alpha R \Delta T$ <p>$R[\Omega]$: Widerstand; $\Delta R[\Omega]$: Widerstandsänderung; $\Delta T[\text{K}]$: Temperaturänderung; $\alpha[1/\text{K}]$: Temperaturbeiwert</p>
CAL	<p>Unter diesem Menüpunkt kann der angezeigte Temperaturwert um - 9,9 bis + 9,9 °C in Schritten von 0,1 °C verschoben werden, hier als Kalibrierung bezeichnet.</p>
1. Mode	<p>Mode [AL</p> <p>Die Mode-Taste wird betätigt bis die Anzeige CAL im Display erscheint.</p>
2. Set	<p>Set 0.0</p> <p>Nach dem Betätigen der Set-Taste erscheint der eingestellte Wert im Display. Wird die Taste nur kurz betätigt, dann wird der Wert, hier 0,0 (Default-Wert), nur angezeigt. Nach 5 s wechselt die Anzeige zu CAL. Nach weiteren 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus. Soll der Wert geändert werden, dann muss wieder die Set-Taste für ca. 5 s festgehalten werden. Die Anzeige durchläuft dann den Einstellbereich. Wenn der gewünschte Wert erreicht wurde, muss er bestätigt werden.</p>
3. Enter	<p>Enter [AL</p> <p>Über die Enter-Taste wird die Einstellung bestätigt. Der Menüpunkt CAL wird angezeigt. Nach ca. 5 s geht das Gerät wieder in den Betriebsmodus.</p> <p>Soll die Einstellung nicht verändert werden, dann kann entweder 5 s gewartet werden, bis das Display wieder CAL anzeigt oder, wie unter 3. beschrieben, der Wert mit der Mode-Taste noch ein Mal bestätigt werden. Wenn die Set-Taste betätigt wurde (über 5 s hinaus), z. B. um sich die verschiedenen Alternativen anzusehen, dann verlängert sich die Wartezeit auf ca. 30 s.</p>
Verriegeln/Entriegeln	<p>Um ungewollte oder unsachgemäße Einstellungen zu erschweren, kann das Gerät elektronisch ver- bzw. entriegelt werden. Dazu werden im RUN-Modus beide Tasten > 10 s festgehalten. Wird im verriegelten Zustand versucht, einen Parameter zu ändern erscheint die Anzeige Loc.</p>
	<p>4.3.7 Erweiterte Funktionen</p> <p>Für anspruchsvolle Aufgaben wurde ein Gerät entwickelt (TR8430, siehe Katalog), das neben 4 Ausgängen, einem 4-stelligen Display auch über einen erweiterten Funktionsumfang verfügt. Dadurch wurde es notwendig, teilweise andere Abkürzungen zu verwenden. Sie werden hier kurz beschrieben.</p>

- EF Beim Durchtasten durch das Menü kommt man hier zur Anzeige
EF (erweiterte Funktionen)
Bei Anwahl dieses Menüpunkts gelangt man zu folgenden Funktionen:
- COF Dieser Punkt hat die gleiche Bedeutung wie oben CAL (siehe 4.3.6)
- CAr Damit wird einen einfaches Rücksetzen des über COF eingestellten Werts auf die Grundeinstellung ermöglicht. Nach erfolgtem Rücksetzen erscheint die Anzeige:
wie beim Druck Die Einstellung der folgenden Parameter geschieht auf die gleiche Weise wie beim Drucksensor (siehe [Schulungsunterlagen Drucksensoren](#)). Dort wird das Vorgehen ausführlich beschrieben. Hier wird nur kurz die Bedeutung erläutert .
- dr 1, dS 1 (für delay reset, bzw. delay set) Unter diesen Punkten lässt sich eine Einschalt- oder Ausschaltverzögerung für den Ausgang 1 festlegen. Bei 3 bedeutet das z. B., dass der Grenzwert 3 s lang überschritten sein muss, bis das Gerät schaltet. Entsprechend lassen sich Werte für die Ausgänge 2, 3 und 4 (unabhängig voneinander) einstellen.
- dIS (für display) Dieser Punkt ist nicht mit dr oder dS zu verwechseln. Hier kann eine Dämpfung der Anzeige eingestellt werden. Sie geschieht durch interne Mittelwertbildung. Das ist sinnvoll, um z. B. bei rasch wechselnden Temperaturen, die Werte bequemer ablesen zu können. Die Dämpfung bezieht sich nicht auf den Ausgang.
- Unl (für unit) Hier wird, wie oben unter dIS, die Einheit (° C oder ° F) gewählt.
- FOU 1 Hinter dieser Abkürzung verbirgt sich eine interessante Funktion zur Erhöhung der Betriebssicherheit. Im Fehlerfall (Kurzschluss oder Kabelbruch am Sensor) werden bei den anderen Typen die Ausgänge abgeschaltet. Hier lässt sich durch die Anwahl von
On oder Off
der Zustand des Ausgangs im Fehlerfall festlegen. Diese Auswahl lässt sich wieder entsprechend (unabhängig voneinander) für die Ausgänge 2, 3 und 4 treffen.

4.3.8 Übersicht

Bedienung TS, TN

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	12.5								
	SP1		10.0	> 5 s	-39.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	150	
	rP1		8.0	> 5 s	-40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.5	

	OU 1	kno	> 5 s	kno	knc	Fno	Fnc	
	ASP	0.0	> 5 s	-40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	90	
	AEP	100	> 5 s	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	150	
	AOU	I	> 5 s	I	U			
	di S	°!f	> 5 s	°!f	°!f	°!f	°!f	
	[AL	0.0	> 5 s	-9.9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.9	
	ki	40.5	> 5 s	---				
	Lo	8.0	> 5 s	---				

Erläuterungen

Der Wert 12.5 in Zeile 2 stellt ein Beispiel dar (alle Werte in ° C). Die anderen Einträge in Spalte 2 sind die festgelegten Anzeigen, die den Bediener darüber informieren, welcher Menüpunkt gerade aktiv ist. Man gelangt von einem Punkt zum nächsten, indem die Mode-Taste betätigt wird. Um die Tabelle nicht zu unübersichtlich zu machen, wurden die Menüpunkte SP 2, rP 2 usw., die nur bei Geräten mit zwei Schaltausgängen von Bedeutung sind, weggelassen. Die Funktion Dämpfung wie beim Drucksensor wurde nicht realisiert, weil der Temperatursensor naturgemäß viel träger reagiert als der Drucksensor, siehe Übergangsfunktion in 3.3.

Die Werte in Spalte 4 stellen ebenfalls Beispiele dar. Wenn z. B. nach dem Betätigen der Mode-Taste, die Anzeige SP 1 erscheint, dann wird nach Betätigen der Set-Taste der eingestellte Schalterpunkt 1, als Beispiel also 10.0, angezeigt. Der aktuelle Wert (12.5) liegt im Beispiel über dem Schalterpunkt, der Ausgang 1 müsste also schalten. Der Rückschalterpunkt 1 liegt im Beispiel bei 8.0. Die Verzögerung beim Rückschalterpunkt 1 (dr 1) wurde auf 4 s eingestellt. Die Ausgangsfunktion ist auf Hysterese und Schließer eingestellt. Zur Bedeutung der Begriffe Hysterese und Fenster siehe 4.3.3 und 4.3.4. Die Anzeige erfolgt in der Einheit ° C, der maximale Temperaturwert betrug 40.5 ° C, der minimale 8.0 ° C.

In den Spalten 7-9 wird der gesamte Wertebereich dargestellt, der einstellbar ist, wenn bei der Anzeige von Spalte 4 die Set-Taste länger als 5 s festgehalten wird. Natürlich würde in Zeile 3, bei SP 1, der Wert nicht bei -54.5 beginnen, sondern ab dem eingestellten Wert von 10.0. Würde man aber warten bis der gesamte Wertebereich durchlaufen ist, also bis 124.5, dann würde es wieder bei -54.5 beginnen. Die Werte in Zeile 4, beim Rückschaltpunkt 1 (rP 1), können aber nicht den gesamten Bereich durchlaufen. Der kleinste Wert ist durch die maximale Hysterese vorgegeben, der größte Wert durch die minimale Hysterese. Im Beispiel war ja der SP 1 auf 10.0 eingestellt. Bei den Funktionen ASP und AEP verhält es sich genauso. Der Wert für ASP würde im Beispiel nicht bei -40 beginnen sondern beim angezeigten Wert 0.0. In Spalte 7-9 soll aber wieder der gesamte Wertebereich gezeigt werden. Die Werte von AEP können aber auch wieder nicht den ganzen Wertebereich durchlaufen (vgl. 4.3.5), weil AEP mindestens ASP + 10 betragen muss. Bei den Funktionen OU 1, AOU und diS gibt es keine Zahlenwerte sondern es wird die Schalt- bzw. Ausgangsfunktion und die Einheit, bzw. Darstellung programmiert. Die Werte, die bei Hi und Lo angezeigt werden, können natürlich nicht verändert sondern nur gelöscht werden.

Temperaturbereich Der maximale Temperaturwert beträgt beim TN 124,5 °C. Beim TR beträgt er 149,5 °C.

Nicht vergessen! Wurde ein Wert durch das Festhalten der Set-Taste verändert, dann muss er noch mit der Enter-Taste bestätigt werden sonst bleibt der vorher eingestellte Wert gültig.

Damit die Tabelle leichter zu übersehen ist, wurden nur die Standardfunktionen beschrieben. Zu den erweiterten Funktionen siehe 4.3.7.

4.4 Übersicht der Geräte

4.4.1 Zusammenfassung

TN Der TN enthält in einem Gerät das eigentliche Sensorelement, den Pt-T, und die Auswerteelektronik. Er wird daher als Temperatursensor mit integrierter Auswerteelektronik bezeichnet. Das Gerät zeichnet sich durch seine kompakte Bauweise aus. Abbildung 31 zeigt den TN bei der Temperaturmessung in einem Rohr.

entfällt zukünftig Diese Bauform wurde durch eine verbesserte Ausführung (siehe Abbildung 32) ersetzt.

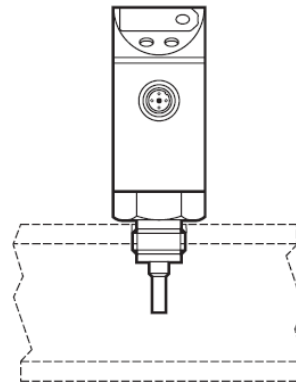


Abbildung 31: Montage TN

Diese „kurze“ Bauform wurde von einer Bauform mit längerer Spitze abgelöst.



Abbildung 32: Verbesserte Bauform TN

Durch die vielfältigen Adaptionmöglichkeiten wird hier wie bei SI100 (siehe Schulungsunterlagen Strömungssensoren) die Anpassung an alle gängigen Prozessanschlüsse (z. B. M12, G1/4, G1/2 usw.) ermöglicht (siehe auch 4.4.2). Eine Liste der aktuell verfügbaren Adapter finden Sie bei der [ifm im Internet](#).

Selector

Bei der Auswahl der erforderlichen und zueinander passenden Komponenten hilft dort der [Selector](#).

TR

Die Messgröße Temperatur unterscheidet sich z. B. vom Druck dadurch, dass sie sich nicht oder erst nach langen Zeitabständen gleichmäßig im Medium ausbreitet. Die Temperatur im Inneren eines Rohres oder Behälters kann sich z. B. von der Temperatur an der Wand deutlich unterscheiden (vgl. auch 2.4). Es ist also für viele Anwendungen wesentlich, dass sich das Sensorelement am richtigen Ort befindet. Anders ausgedrückt, ist hier der Prozeßanschluß von besonderer Bedeutung. Diese spiegelt sich in einer Vielzahl von Geräten am Markt wieder, z. B. DIN-Tauchrohren für Temperatursensoren. Beim beschriebenen Sensor wird diese Anforderung durch eine Modultechnik erfüllt. Diese wird im folgenden etwas erläutert und durch Beispiele illustriert (siehe auch 4.4.2). Wesentliche Punkte dabei sind:

- Trennung von Auswertelektronik und Sensorelement
- Varianten

- starre Verbindung mit TT
- Verbindung über Kabel, direkt beim TS, über Verbindungskabel beim TT

Modultechnik

Charakteristisch für die neue Sensorfamilie ist die Modultechnik. Wie in 1.1 beschrieben wurde, ist es nicht einfach bei der Fülle von Applikationen die vielfältigen Anforderungen durch wenige Geräte zu erfüllen.

Ziel der Modultechnik ist eine freie Kombinierbarkeit der einzelnen Komponenten, bestehend aus Auswertegerät vom Typ TR und dem Sensorteil vom Typ TT oder TS, um eine größtmögliche Flexibilität für den Anwender zu gewährleisten.

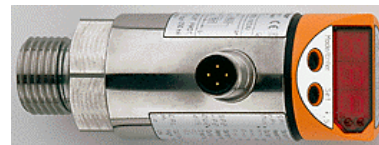


Abbildung 33: Auswertegerät TR

Im Gegensatz zur Drucksensorik sind Auswertegerät und Sensorelemente so konzipiert, dass sowohl eine starre Verknüpfung von Anzeigegerät und Sensor als auch deren räumliche Trennung über Kabelverbindungen ermöglicht wird, ohne dass der Prozessaufnehmer des Anzeigegerätes verändert wird. Das entsprechende Zubehör ist optional erhältlich.

starre Verbindung

Bei der starren Verbindung werden Tauchrohr-Temperatur-Sensor TT und Anzeigegerät TR zusammengesteckt und mit einer Überwurfmutter verschraubt. Zwei Zylinderstifte führen während dieses Vorganges die Steckverbindung exakt ineinander, ohne diese während dieses Vorganges einer mechanischen Belastung auszusetzen.

neue Typen

In Abbildung 34, Abbildung 35 und Abbildung 36 sind noch die neuen Typen TT0061 und TT1601, die speziell für Anwendungen im Hygienebereich konzipiert sind, zu ergänzen. Als weiteres Auswertegerät ist TR8430 dazugekommen.

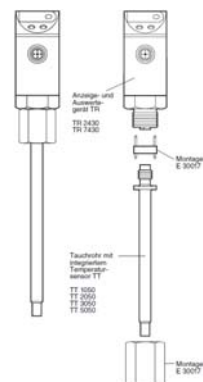


Abbildung 34: Starre Verbindung

Abbildung 34 zeigt links das fertig montierte Gerät und rechts die Einzelteile des Montageset in der Art einer Explosionszeichnung.

Der Prozessanschluß geschieht z. B. über eine Schneidringverschraubung (Abbildung 35).

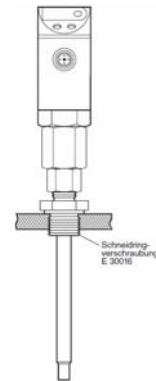


Abbildung 35: Schneidringverschraubung starr

flexible Verbindung

Bei der flexiblen Verbindung kann das Verbindungskabel in konventioneller Weise mit dem Anzeigegerät TR und Tauchrohr-Temperatur-Sensor TT verschraubt werden.



Abbildung 36: Flexible Verbindung

Abbildung 36 zeigt links Beispiele für das montierte Gerät. Rechts ist zu erkennen, wie die Verbindung hergestellt wird.

Der Tauchrohr-Tempersensoren TT kann nun seinerseits im jeweils konkreten Einsatzfall über eine Schneidringverschraubung oder anderweitige Klemmverbindung druckfest und optimal ausgerichtet in Behälter, Rohrleitungen oder Schutzrohre eingebaut werden. Ein Schneidringverschraubungs-Adapter mit 1/2" Gewinde ermöglicht diese Befestigungsmöglichkeit.

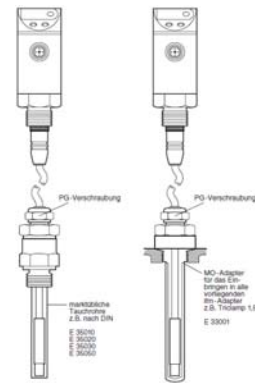


Abbildung 37: Verschraubung flexibel

Der Prozeßanschluß kann dann auch über marktübliche Tauchrohre oder über M0-Adapter realisiert werden. Die folgende Abbildung 38 zeigt Beispiele für M0-Adapter.



Rohrverschraubung Clamp 1" - 1,5" Varivent

Abbildung 38: M0-Adapter real

In diese Adapter können wahlweise Strömungs-, Druck- oder Temperatursensoren eingeschraubt werden. Wie z. B. in den [Schulungsunterlagen Drucksensoren](#) genauer beschrieben ist, ergibt sich (bei korrekter Montage, siehe [Montageanleitung](#)) durch diese Art der Metall-auf-Metall-Dichtung ein praktisch tottraumfreier Prozeßanschluß. Damit sind die Geräte für Anwendungen im Hygienebereich geeignet. Informationen über E-HEDG-Prüfung oder 3A-Zulassung finden Sie im [Katalog](#) oder erhalten Sie von Ihrem Fachberater. Eine kurze Übersicht zu den verschiedenen Zulassungen und der Bedeutung der Abkürzungen ist in den [Schulungsunterlagen Schutzarten und -klassen](#) zu finden.

Alternativ kann der kompakte Sensor TS verwendet werden.

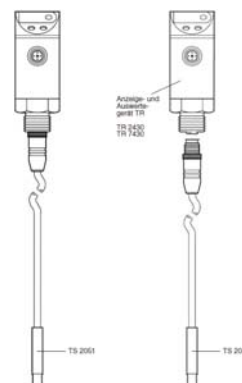


Abbildung 39: Kabelsensor kompakt

Abbildung 39 zeigt links ein montiertes Gerät und rechts den Anschluss.

Für die Messung z.B. der Öltemperatur in einer Ölleitung kann der sehr kompakt gehaltene Kabelsensor TS über eine Schneidringverschraubung der Größe 10 direkt in der Rohrleitung verschraubt werden.

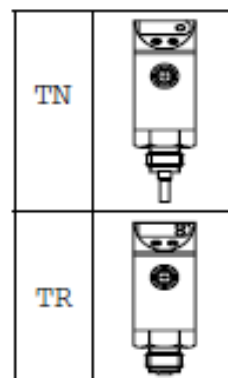


Abbildung 40: Prozeßanschluß über T-Stück
Abbildung 40 zeigt den Prozeßanschluß des kompakten Kabelsensors mittels eines T-Stücks.

Außerdem kann der TS wie der TT über Tauchrohre und Adapter an den Prozeß angeschlossen werden, entsprechend Abbildung 37.

4.4.2 Mechanische Eigenschaften

Bei dieser Produktgruppe gibt es auf Grund der Modulbauweise eine ganze Reihe von Komponenten. Auf den ersten Blick mag das etwas verwirrend erscheinen. In diesem Kapitel soll gezeigt werden, dass es im Grunde gar nicht kompliziert ist. Es ist sogar im Gegenteil positiv, dass es gelungen ist, mit relativ wenigen Komponenten und Adaptern eine Vielzahl möglicher Prozessanschlüsse abzudecken. Es vereinfacht dem Anwender die Lagerhaltung, wenn er nicht für jeden Prozeßanschluß ein komplettes Gerät benötigt. Außerdem ist natürlich auch wirtschaftlicher, sich an Stelle eines kompletten Geräts einfach nur einen Adapter zu beschaffen.



TN

Im TN sind Pt-T und Auswerteelektronik in einem Gerät integriert. Die Maße sind in der folgenden Abbildung 41 und Abbildung 42 abzulesen. Ein Beispiel für die Montage ist in Abbildung 31 zu sehen.

Die erste Generation beim TN unterscheidet sich durch ein kürzeres Sensorrohr. Außerdem hatte er ein Gewinde statt der Überwurfmutter für die Verschraubung mit dem Adapter.

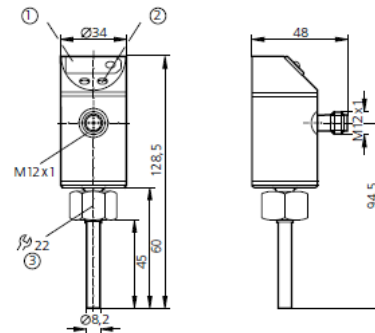


Abbildung 41: Temperatursensor TN (neu)

TR

Im TR sitzt nur die Auswerteelektronik. Hier wird ein zusätzlicher Pt-T benötigt. Es folgt die Maßzeichnung (Abbildung 42).

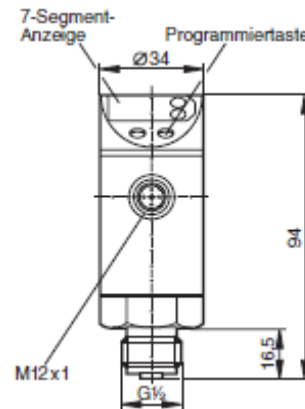


Abbildung 42: Auswerteelektronik TR

Pt-T

Als Pt-T werden die Typen TS und TT angeboten. Sie werden im folgenden beschrieben.

Das Auswertegerät ist nicht nur für diese Typen geeignet. Es lässt sich ein beliebiger Pt 1000 anschließen. Darüber hinaus lassen sich auch Pt 100 anschließen. Das Auswertegerät stellt sich selbständig darauf ein. Dabei ist allerdings zu beachten, dass dann der Kabelwiderstand das Messergebnis 10 mal stärker beeinflusst (siehe 4.3.6). Folgender Fall wäre als Beispiel denkbar. Der Anwender hat schon Pt-T in der Anlage im Einsatz. Er ist aber nicht zufrieden mit der Auswertung der Messsignale und möchte eine zusätzliche Anzeige vor Ort. Dann lässt sich der TR einsetzen.

TS

Der TS wird eingesetzt, wenn ein kompakter Sensor benötigt wird. Im Kopf sitzt ein Pt 1000. Die Maße sind in Abbildung 43 zu finden.

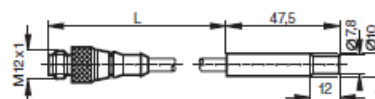


Abbildung 43: TS

Der TS ist mit den Längen $L = 2 \text{ m}$ und $L = 5 \text{ m}$ erhältlich.

Prozeßanschluß

Hier gibt es 3 Möglichkeiten:

- direkt, z. B. mit Schneidringverschraubung
- in marktüblichen Tauchhülsen (mit Zubehör)
- in M0-Tauchhülsen (mit Zubehör)

Diese Möglichkeiten sollen im folgenden kurz beschrieben werden.

Schneidringverschraubung

Abbildung 40 zeigt ein Beispiel dafür. In Abbildung 44 sind die Maße zu finden.

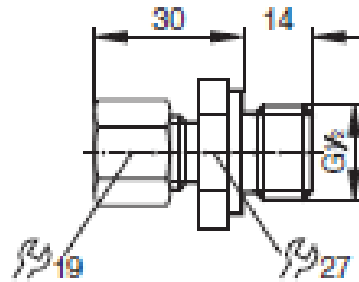


Abbildung 44: Schneidringverschraubung

marktübliche Tauchhülsen

Dazu ist als Zubehör eine Hülse E 350XX erforderlich, in die der Sensor eingeführt wird. XX steht für die unterschiedlichen Längen, in denen die Hülse erhältlich ist.

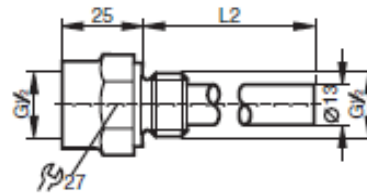


Abbildung 45: Tauchhülsen

Die Nennlängen sind 100, 200, 300 und 500 mm. Dabei beträgt jeweils L2 82, 182, 282 und 482 mm.

PG-Verschraubung

Die Kabelzuführung wird über eine PG-Verschraubung abgedichtet (siehe Abbildung 37)

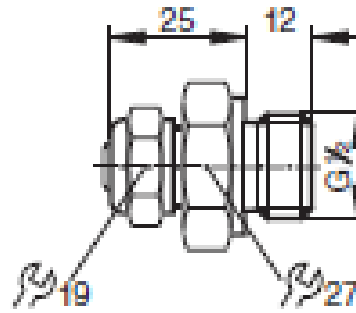


Abbildung 46: PG-Verschraubung

M0-Tauchhülsen

Diese ermöglichen es, häufig vorkommende Prozessanschlüsse mit speziellen Eigenschaften zu realisieren. Z. B. ist es in der Lebensmittelindustrie eine typische Forderung aus Gründen der Hygiene tottraumfrei Messvorrichtungen zu verwenden. Gängige Anschlüsse sind hier Rohrverschraubung Tri-Clamp, Varivent usw., für die M0-Adapter zur Verfügung stehen.

Der TS wird dazu in eine M0-Tauchhülse eingeführt (siehe Abbildung 37).

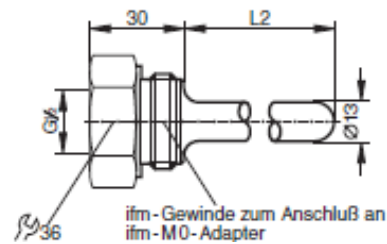


Abbildung 47: M0-Tauchhülsen

M0-Tauchhülsen sind in den Nennlängen 50 und 100 mm erhältlich. L2 beträgt dabei: 45 und 95 mm.

Die Abdichtung der Kabelzuführung geschieht wieder über eine PG-Verschraubung.

Die M0-Tauchhülse wird in den benötigten M0-Adapter eingeschraubt.

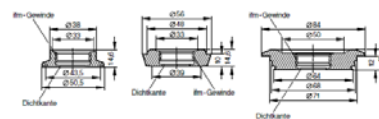


Abbildung 48: M0-Adapter

TT

Beim TT ist der Pt 1000 in eine starre Schutzhülle eingebaut.

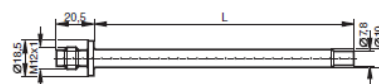


Abbildung 1: Sensor TT

Der TT ist erhältlich mit den Nennlängen: 100, 200, 300, 500 mm. L beträgt jeweils: 137, 237, 337, 537 mm.

Für Anwendungen im Hygienebereich sind zwei neue Typen dazugekommen: TT0061 und TT1061 (siehe [Katalog](#)).

Beim Anschluss des TT an die Auswertelektronik TR gibt es zwei Möglichkeiten:

- Starre Verbindung
- Verbindung über Kabel

starre Verbindung

Damit bildet der Sensor zusammen mit dem Auswertelektronik praktisch eine Einheit, vergleichbar dem TN. Der Vorteil der modularen Bauweise zeigt sich hier darin, dass es nicht für jede Länge der Hülle ein eigenes Gerät gibt, sondern dass die Hüllen mit unterschiedlichen Längen an ein und dasselbe Auswertegerät angeschlossen werden können.

Montageset

Für diese Verbindung wird das Montageset verwendet. Es stellt eine mechanisch stabile Verbindung der Komponenten her und verhindert gleichzeitig, dass die elektrische Steckverbindung bei der Montage mechanisch unzulässig belastet wird (siehe Abbildung 34).

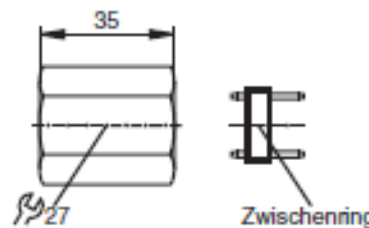


Abbildung 50: Montageset

Wie erwähnt und in diesem Abschnitt zu sehen ist, war es gar nicht so einfach, die beiden Anforderungen an den Sensor zu erfüllen:

- möglichst wenig Teile, ein Grundgerät
- Adaption an möglichst viele der gängigen Prozessanschlüsse

Dass damit einige Überlegungen und einiger mechanischer Aufwand verbunden ist, zeigt die folgende Abbildung 51 des Anschlusses im Detail.

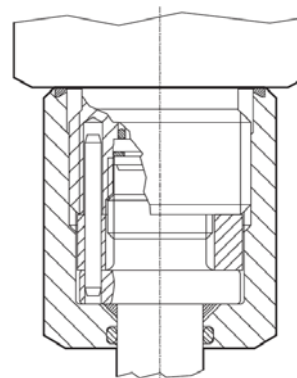


Abbildung 51: Schnittbild starre Verbindung

Verbindung über Kabel

Diese wird eingesetzt, wenn wie beim TS zwischen Sensor und Auswertelektronik eine flexible Verbindung benötigt wird oder der gewünschte Ort der Anzeige etwas weiter vom Ort der Messung entfernt ist.

Damit bleibt die Anzeige gut ablesbar und das Gerät ist einfach einzustellen auch bei schlecht zugänglichen Messorten. Es wird ein Verbindungskabel mit Buchse und Stecker verwendet. Die weiteren Verschraubungen (mit Ausnahme des Montageset für die starre Verbindung) sind die gleichen wie beim TS.

- Schneidringverschraubung, Abbildung 44
- marktübliche Tauchhülsen, über die Hülsen Abbildung 45 mit PG-Verschraubung Abbildung 46
- M0-Tauchhülsen, über die M0-Hülse Abbildung 47 und die Adapter Abbildung 48

Übersicht

In der folgenden Abbildung werden die verschiedenen Varianten noch einmal zusammengestellt. Um einen kompletten Satz an Komponenten zu erhalten, braucht man nur den Pfeilen zu folgen.

Reihenfolge

Die Pfeile in Abbildung 52 sollen nur dabei helfen, zusammengehörende Komponenten zu finden. Sie geben nicht die Reihenfolge beim Zusammenbau an. Das ist in dieser Darstellung nicht möglich, weil ja die Komponenten zum Teil ineinander, bzw. übereinander gesteckt werden. Das ist bei den vorangehenden Abbildungen besser erkennbar.

Dazu soll noch einmal auf den [Selector](#) der Temperatursensoren bei ifm im Internet hingewiesen werden. Wird dieser genutzt, dann sollte es nicht möglich sein, einen unvollständigen Satz oder Komponenten, die nicht zueinander passen, zu bestellen.



Abbildung 52: Übersicht Modulsystem

Material

Die Werkstoffe, aus denen die Sensoren bestehen, müssen harte Anforderungen erfüllen. Die Gehäuse müssen z. B. Reinigungsmitteln widerstehen können und der Werkstoff im Kontakt mit dem Medium darf von diesem chemisch nicht angegriffen werden. Daher wird hier Edelstahl verwendet. Im nächsten Absatz folgt eine kleine Übersicht.

- Alle Kontakte sind vergoldet.
- Gehäusewerkstoffe beim TN und TR sind: V2A(1.4301), PBTB, PC, EPDM/X, FPM und PA. Weitere Informationen zu den Werkstoffen sind im Katalog zu finden.
- Werkstoffe im Kontakt mit dem Medium:
 - beim TN V2A (1.4305)
 - sonst bei allen Sensoren, Hülsen und Adaptern V4A (1.4404)
 - PG-Verschraubung (hier auch FPM) und Montageset V2A (1.4205)
 - Schneidringverschraubung V4A (1.4571)

- Das Kabel ist in zwei Varianten verfügbar
- Griffkörper PVC, Überwurfmutter V4A
- Griffkörper TPU, Überwurfmutter CuZn vernickelt

Schwingfestigkeit, Vibrationsfestigkeit Pt-Ts können über einen Bereich von 10 Hz bis 2 kHz mit bis zu 40 g beaufschlagt werden, ohne Schaden zu nehmen. Für das gesamte Gerät, TS oder TR, ist 20 g angegeben (nach DIN/IEC 68-2-6, 10-2000 Hz).

Stoßfestigkeit Die Grenze der Stoßfestigkeit liegt bei einem 100 g-Impuls von 8 ms Dauer und Halbsinusform. Für das gesamte Gerät, TS oder TR, ist 50 g angegeben (nach DIN/IEC 68-2-27, 11 ms).

4.4.3 Elektrische Eigenschaften

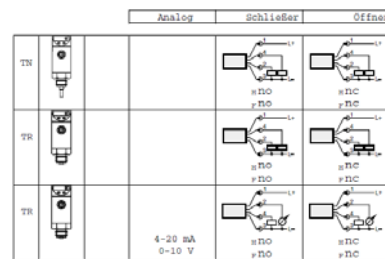


Abbildung 2: Signalausgänge

Die Familie TR wurde inzwischen um einen Typ mit vier Schaltausgängen erweitert.

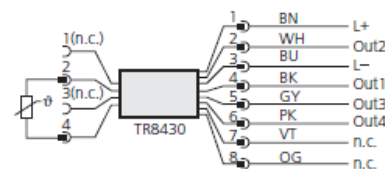


Abbildung 53: TR mit 4 Schaltausgängen

2 Leiter In Abbildung 53 ist zu erkennen, dass das Gerät für den Anschluss von 2-Leiter Sensoren (siehe 3.4.1) vorgesehen ist. In Vorbereitung ist eine Eingangsbeschaltung für der Anschluss von 4-Leiter Sensoren (siehe auch 4.3.7).

Schaltfunktion Die Programmierung geschieht über die Programmier Tasten mit Hilfe des Displays.

Analogausgang Der Analogausgang ist umschaltbar (4-20 mA ↔ 0-10 V) und skalierbar. Das bedeutet, dem Anfangswert (4 mA oder 0 V) und dem Endwert (20 mA oder 10 V) lässt sich jeweils ein beliebiger Temperaturwert aus dem Messbereich zuordnen. Die Beschreibung des Ablaufs und weitere Angaben finden sich in 4.3.5.

Analogausgang 4-20 mA maximale Bürde: 500 Ω

Analogausgang 0-10 V: minimale Last 2 kΩ

Bereitschaftsverzögerungszeit Das ist die Zeit, die zwischen dem anlegen der Betriebsspannung und Ausgabe des richtigen Schaltsignals vergeht. Sie beträgt 1 s.

Betriebsspannung	Die Betriebsspannung beträgt (einschließlich Restwelligkeit) 20-30 V DC.
Strombelastbarkeit	Die maximale Strombelastbarkeit beträgt 250 mA. Die Ausgänge sind verpolungssicher und überlastfest. Sie verfügen über einen getakteten Kurzschlusschutz. Diese Angaben betreffen die binären Ausgänge.
Stromaufnahme	Zur eigenen Versorgung benötigt der Sensor weniger als 66 mA.

4.5 Zusammenfassung

In der folgenden Zusammenfassung werden speziell die Vorteile von moderneren Temperatursensoren herausgestellt. Zuerst wird kurz auf den „klassischen“ Prozeßanschluß eingegangen.

4.5.1 Konventionelle Temperatursensoren

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass speziell bei Temperatursensoren hohe Anforderungen an den Prozeßanschluß gestellt werden (z. B. in 2.4 und 4.4.2). Im Laufe der Zeit haben sich dafür bestimmte Bauformen weit verbreitet.

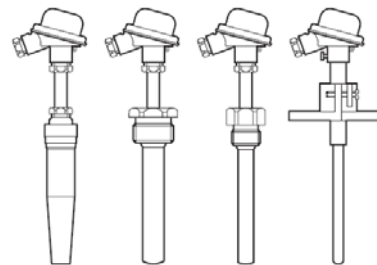


Abbildung 54: Konventionelle Temperatursensoren

Charakteristisch ist eine Vielzahl von Rohren, Hüllen und Verschraubungen. Damit wird der Vorteil deutlich, der erzielt wird, wenn diese Vielzahl durch ein gut durchdachtes System von relativ wenigen Komponenten abgelöst werden kann (siehe 4.4.2).

Typisch für konventionelle Sensoren ist auch die hutförmige Kappe, die nur die Funktion hat, den Klemmenraum abzudichten. Dabei wird viel Material und Platz verschwendet. Eine Anzeige oder erst recht eine Einstellmöglichkeit vor Ort ist dabei nicht vorgesehen.

4.5.2 Anzeigegerät

Das Anzeigegerät TR ist, wie bei der Drucksensorik bereits eingeführt, mit 7-Segment-Display ausgestattet, wodurch eine Anzeige vor Ort ermöglicht wird.

Folgende Möglichkeiten ergeben sich durch die Anzeigegeräte vom Typ TR 2430 und TR 7430

- 7-Segment-Display mit 3-stelliger LED Anzeige
- Zwei Programmierknöpfe, wobei der linke Knopf die Programmschritte abfragt, während über den rechten Knopf der jeweilige Wert auf den gewünschten Punkt eingestellt werden kann
- Umstellung von °C auf °F im Menü

- Freie Programmierung der Schalt- und Rückschaltpunkte (bei TR 7430 zwei Schalt- und Rückschaltpunkte, jedoch ohne Analog- bzw. Spannungsausgang),
- Ein rückstellbarer Min/Max-Speicher nimmt die Extremwerte über den Betriebsverlauf auf
- Wechsel zwischen analogem Ausgang (4-20 mA) und Spannungsausgang (0-10V) bei TR 2430
- Kombination mit allen ifm-Sensortypen direkt oder über Zwischenkabel möglich
- Auswertung von PT 100 (herkömmlicher Temperaturwiderstand) und PT 1000 mit dem selben Anzeigegerät möglich. Das Anzeigegerät kann die jeweilige Art des Sensors (PT-100 oder PT-1000) selbständig erkennen
- Steckverbindung über US 100 Standard sowohl zum Sensor als zum Steuerschrank
- Verbindung über Montageset mit dem Tauchrohrsensor vom Typ TT zu einer Einheit
- Gewinde am Prozeßaufnehmer für Überwurfmutter oder separate Befestigung
- Temperaturbereich kann bis auf einen Bereich von 10 K auf die 4-20 mA oder 0-10 V eingegrenzt oder aufskaliert werden. Damit kann der komplette Spannungs- oder Analogausgang z.B. auf den Bereich von 80 – 90 °C gelegt werden

4.5.3 Sensor in Modulsystem

Sensorelement TS mit verschiedenen langen Kabelanschlüssen kann direkt mit dem Anzeigegerät verknüpft werden und über Schneidringverschraubungen z.B. direkt in ein Hydraulik-T-Stück geklemmt werden

Tauchrohr-Temperatur-Sensor TT kann über frei gewähltes Zwischenkabel (US 100) das Signal an das Anzeigegerät weiterleiten

Sensorelement TS kann über eine PG-Verschraubung in alle Tauchrohrvarianten unter anderem auch DIN-Tauchrohre und Tauchrohre in -MO-Ausführung „eingeklemmt“ werden

Tauchrohr-Temperatur-Sensor TT kann über Schneidringverschraubung oder PG-Verschraubung in jede beliebige Fläche, Tauchrohr mit ausreichendem Innendurchmesser in jeweils beliebiger Höhe und Drehrichtung eingeschraubt werden

5 Applikationen

5.1 Anwendungsbeispiel

Die verschiedenen Funktionen des Temperatursensors sollen zunächst an einem Beispiel erläutert werden. Dem liegt kein realer Anwendungsfall zu Grunde. Es kann aber durchaus in dieser oder ähnlicher Form realisiert werden; es handelt sich um eine Standardanwendung. Da dieses Beispiel einfach und übersichtlich ist, kann man sich daran auch noch einmal gut die Funktionen Hysterese und Fenster klar machen.

was kann der Temperatursensor?

In diesem Beispiel soll der Einsatz der verschiedenen Funktionen eines Sensors, z. B. TN mit zwei Ausgängen, erläutert werden. Damit soll deutlich gemacht werden, dass hier ein einziger Sensor ausreicht, um eine relativ komplexe Steuerungsaufgabe zu bewältigen.

Beschreibung

In einem Behälter soll eine Temperatur von ca. 50 °C aufrecht erhalten werden. Um die Skizze nicht zu unübersichtlich werden zu lassen, wurden die entsprechenden Leitungen, Ventile usw. weggelassen. Bei Abfall der Temperatur soll eine Heizung eingeschaltet werden, um die Temperatur wieder zu erhöhen. Außerdem soll über eine Lampe angezeigt werden, ob sich die Temperatur im korrekten Bereich befindet. Die Werte der Schalt- und Rückschaltpunkte sowie der Schaltfunktionen sind in der Abbildung abzulesen. Im folgenden Zeitdiagramm ist ein möglicher Verlauf des Prozesses als Beispiel dargestellt.

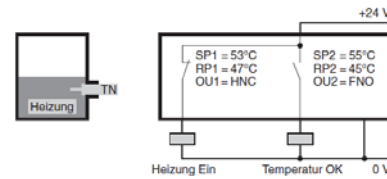


Abbildung 55: Anwendungsbeispiel

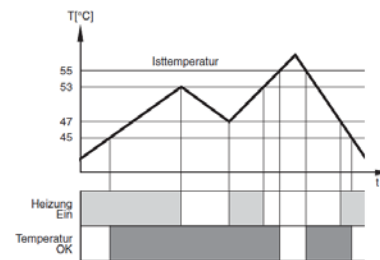


Abbildung 56: Zeitdiagramm

5.2 Weitere Beispiele

Im folgenden sollen einige reale Applikationen vorgestellt werden.

5.2.1 CIP Cleaning-in-place

Alle in der Lebensmittelindustrie eingesetzten Produktionsanlagen wie Apparate, Tanks, Erhitzer, Rohre und Leitungen müssen durch eine automatische Innenreinigung (Cleaning in place - ohne Öffnen der Anlage) gesäubert werden können.

Die produktbehafteten Produktionsanlagen werden dabei, ohne diese zu zerlegen oder an ihnen wesentliche Veränderungen gegenüber dem Produktionszustand vorzunehmen, gereinigt.

Über Pumpen werden dabei Reinigungslösungen an den mit Produkt in Berührung kommenden Flächen vorbeibewegt oder über geeignete Sprühgeräte auf die Oberflächen aufgesprüht, wodurch sich bei ordnungsgemäßer Druckführung folgende Vorteile ergeben:

- nachvollziehbare Reinigungsergebnisse
- sicherer Betriebsablauf
- hohe Wirtschaftlichkeit

Temperatursensoren und CIP-Reinigung

Um die optimale Reinigungswirkung zu erzielen, kommt insbesondere dem Erreichen bestimmter Temperaturen in Abhängigkeit von Druck, Fließgeschwindigkeit, Reinigungsmittelkonzentration und Reinigungsdauer eine zentrale Bedeutung zu.

Gewisse Reinigungszeiten bzw. Mindesteinwirkzeiten müssen bei Erreichen der erwarteten Temperatur eingehalten werden, um die Schmutzschichten gezielt abzutragen.

Da die Reinigungszeiten erst von dem Zeitpunkt ab gewertet werden können, wo das entsprechende Reinigungsmittel über die gesamte Reinigungsstrecke die gewünschte Temperatur erreicht hat, muss die gesamte Anlage, insbesondere der Reinigungsrücklauf, konsequent überwacht werden.

Aufgabenstellung

- Sicherstellen der Dampftemperatur als Temperaturversorgung des Wärmetauschers
- Überprüfung der Vor- und Rücklauftemperaturen bei den Reinigungsmitteln und Spülflüssigkeiten
- Evtl. Überwachung der Tanktemperaturen bei Stapelbehältern zur wiederholten Nutzung der Reinigungsmedien

Vorteile beim Einsatz elektronischer Sensoren:

- stabile Temperaturregelung durch enge 2-Punkt-Regelung:
- z.B. Sterilisierungstemperatur (141°C) kann exakt sichergestellt werden (Verfahrenssicherheit)
- durch die enge Hysterese können zu hohe Temperaturen in Hinsicht auf Energieeinsparungseffekte verhindert werden. (Energie als Kostenfaktor)
- Präzise Vor-Ort-Einstellung (hohe Flexibilität) mit Vor-Ort-Auswertung der PT-1000-Sensors. (Senkung der Personalkosten durch bessere und effektivere Handhabung und Überschaubarkeit insbesondere bei dezentralen CIP-Anlage - Vorteil vor allem gegenüber Analoggeräten)
- Keine Kalibrierung notwendig, da Sensor und Auswerteeinheit frei austauschbar sind (Zeitersparnis)
- Einfache Fehlersuche durch Vor-Ort-Anzeige (Zeitersparnis gegenüber reinem Analogausgang)
- Anzeigegerät durch modularen Aufbau unabhängig von der Art des eigentlichen Sensors (Lagerhaltungskosten minimiert)
- Hohe Anlagenverfügbarkeit durch mechanische Stabilität und Langzeitstabilität der Sensorik in Verbindung mit hoher Schock- und Vibrationsfestigkeit sowie Verriegelung gegen unbefugten Eingriff in das Programm (Vorteil vor allem gegenüber Kontaktthermometer)
- Selbstüberwachung durch Gegenschalten des zweiten Schaltpunktes bei Gerät TR 7 möglich (Sicherheit)
- LED-Anzeige auch bei schlechter Anlagenausleuchtung weithin sichtbar
- Kompatibilität zu Wettbewerbsgeräten, da PT 100 automatisch erfasst und gleichwertig zu PT 1000-Gerät ausgewertet werden kann (Umstellkosten fallen kaum ins Gewicht)
- Austausch der Teile gegeneinander für geringes Teilespektrum (Lagerhaltungskosten)
- Zusammenführung der einzelnen Anzeigegeräte für gute Überschaubarkeit der Anlage

5.2.2 Hefe-Voranreicherungssystem für Brauereien

In diesem Voranreicherungs-System für Hefe wird die Hefe vor ihrer Zugabe zur Bierwürze in einen optimalen Zustand versetzt, um die Gärzeiten des Bieres zu verkürzen und somit die Bierqualität insgesamt anzuheben. Dabei kann entweder eine sog. Arbeitstemperatur oder Aufbewahrungstemperatur über einen außenliegenden Wärmetauscher eingestellt werden.

Die Hefe wird hinter diesem Wärmetauscher durch eine Belüftungseinheit gepumpt, wo sie gezielt mit Sauerstoff versorgt wird. Eine präzise Temperatursteuerung entscheidet über den erfolgreichen Einsatz dieser Anlage.

Die mit der so behandelten Hefe versetzte Würze braucht nicht weiter belüftet zu werden und schäumt nicht beim Befüllen der Tanks.

Der Einsatz von Temperatursensoren mit Auswerteeinheit in Modulbauweise bringt folgende Vorteile:

- hygienegerechter Einbau des Sensors durch MO-Tauchrohr mit integrierem PT 1000-Element über MO-Varianten.
- dadurch erhöhte Flexibilität gegenüber Klemmverschraubungen (die höhere Stabilität und Dichtigkeit sowie das Ausschließen von Toträumen)
- kleine Hysterese führt zu stabiler und präziser Temperaturüberwachung durch 2-Punkt-Regelung
- Über den Analogausgang bzw. Spannungsausgang kann die übergeordnete Steuerung die Hefeführung sehr genau vorgeben (überschaubare Verfahrensabläufe mit hoher Produktqualität auf Grund qualitativ einwandfreier Hefeausbeute, die zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Qualität zur Verfügung steht)
- hohe Langzeitstabilität führt zu langfristig guter Reproduzierbarkeit der Temperatursteuerung
- hohe Verfügbarkeit auf Grund fehlender mechanischer Komponenten (Vorteil gegenüber Kontakt-Thermometer und Thermostat)
- Überschaubarkeit der Anlage durch Modularität der Temperatursensoren. Das Anzeigegerät kann unabhängig vom Temperatursensor über Kabelverbindung an einem gut einsehbaren Ort fixiert werden.

5.2.3 Waschanlagen

Bei Waschanlagen (kontinuierlich und diskontinuierlich) liegen abhängig von den vielfältigen Einsatzgebieten unterschiedliche Anforderungen vor.

Während bei herkömmlichen Bandwaschanlagen bestimmte Reinigungstemperaturen bei Vor- und Hauptwaschgang sowie bei der Trocknung eingehalten werden müssen, um eine optimierte Reinigungswirkung zu erzielen und zugleich über Wärmetauscher eine Optimierung des Energieeinsatzes zu erreichen, liegt das Augenmerk bei Reinigungsapparaten bei Einsätzen z.B. in Krankenhäusern, der pharmazeutischen Forschung und Produktion auf dem sicheren Erreichen bestimmter Temperaturen zum Zwecke der Desinfektion und Sterilisation.

Die Temperaturüberwachung muss sowohl die Temperaturen des Spülvorganges als auch die Funktion der Erhitzer und Wärmetauscher überwachen.

Vorteil des Einsatzes elektronischer Temperatursensoren:

- Eingrenzung der Temperatur durch 2-Punkt-Regelung (Energieeinsparung und Sicherstellung der Reinigungstemperatur)

- Zusammenführung der Anzeigegeräte an einem gut einsehbarem Ort außerhalb der Waschanlage
- Zeitersparnis durch Vor-Ort-Einstellung außerhalb des Schaltschranks, Multifunktionalität für präzise und übersichtliche Einstellung
- Einsparung von Speicherplatz in der Zentralsteuerung
- Verriegelung zur Vermeidung von unbefugten Eingriffen
- Schutzart IP 67 für den Einsatz im Sprühnebel der Anlage
- Robustes Feldgehäuse für raue Einsätze bei höheren Umgebungstemperaturen

5.2.4 Pasteurisierungs-KZE-Anlagen (Kurzeiterhitzungsanlagen)

Um z.B. Säfte über einen längeren Zeitraum haltbar zu machen, besteht die Möglichkeit einer thermischen Behandlung mit Pasteurisierungsanlagen, sog. Kurzeiterhitzungsanlagen.

Ohne das Produkt nachhaltig zu verändern (z.B. Geschmack, Farbe usw.) wird durch eine kurzzeitige Erhitzung auf 74°C eine langfristige Haltbarmachung sichergestellt.

Anlagenbeschreibung

Bei dieser Form der Anlage handelt es sich um einen Wärmetauscher mit 3 Stufen:

- Vorwärmer
- Erhitzer
- Kühler

Das Getränk wird aus dem Puffertank oder direkt aus der vorgeschalteten Anlage über eine Dosierpumpe in den Vorwärmer gefördert, wo es Energie vom Medium aus dem nachgeschalteten Erhitzer zurückgewinnt. Im eigentlichen Erhitzer wird die Pasteurisierungstemperatur kurzzeitig überschritten, worauf das Medium, über den Vorwärmer in den Kühler weitergefördert wird, wo es auf Abfülltemperatur gebracht wird.

Vorteil beim Einsatz der beschriebenen Sensoren:

- Enge Schaltpunkteinstellung am Anzeigegerät vor Ort:
- Sicherstellung aller Temperaturen im Umfeld der Pasteurisierungsanlage bei enger Hysterese und kurzen Temperatursprechzeiten für einen exakten Verfahrensablauf (Verfahrenssicherheit) bei optimiertem Energieeinsatz (Kosten)
- Erreichen der Pasteurisierungstemperatur unmittelbar hinter dem Erhitzer
- Eingrenzung der Temperatur nach oben
- Qualitätssicherung
- Energieeinsparung
- Hygienegerechter Einbau mit Totraumfreiheit durch MO-Adapter in marktüblichen Adaptern wie Varivent, Triclamp, usw.
- Modulbauweise mit örtlich entkoppeltem Anzeigegerät (Kosteneinsparung bei Lagerhaltung, Einbau und Einbindung in die Gesamtsteuerung):
- Programmierung vor Ort
- Zusammenlegung der Anzeigegeräte für die verschiedenen Messstellen
- Analog- oder Spannungsausgang für zentrale Steuerung

- Langzeitsicherheit mit entsprechender Betriebssicherheit (Kosteneinsparung durch gleichbleibende Produktqualität und geringen Stillstandszeiten der Anlage) durch:
 - IP 67
 - Robustes Feldgehäuse (mechanisch als auch chemisch)
 - Langzeitstabilität des Sensorelementes und der Auswerteeinheit

5.2.5 Tank- und Behälterüberwachung

Beispiel Gärführung

Diese Anwendung soll am Beispiel der Gärführung innerhalb des Gärkellers einer Brauerei erläutert werden.

Im Gärkeller wird der Würze die Hefe zugesetzt, wodurch die Gärung eingeleitet und innerhalb von ca. 8 Tagen der vergärbare Zucker in Alkohol und Kohlensäure umgesetzt wird.

Je nach gewünschter Biersorte und der entsprechenden Hefesorte läuft dieser Gärvorgang in ZKG-Tanks (Zylinderkonischen Tanks) mit Kühlmantel bei Temperaturen zwischen 0 und 20 °C solange ab, bis die Hefe entweder von unten abgezogen oder von oben abgeschöpft werden kann. Aus der Temperaturführung resultiert die Geschwindigkeit und die Qualität der Gärung. Werden hier Fehler gemacht, bilden sich unliebsame Gärungsnebenprodukte wie z.B. Fettsäuren.

Anforderungen und Vorteile der beschriebenen Temperatursensorik

- exakte Reproduzierbarkeit der Temperaturwerte im Bereich von 0,5°C (Anlagensicherheit)
- Anzeigegerät kann durch Kabelanbindung an Sensor gut sichtbar in Augenhöhe angebracht werden (Übersichtlichkeit für Kostenersparnis bei Inbetriebnahme, Wartung und Betrieb)
- Tauchrohr-Temperatursensor kann in eingeschweißtes Tauchrohr über Schneidringadapter bzw. Dichtverschraubung mit Weichdichtung eingeschoben oder über M0-Adapter in marktüblicher Ausführung direkt in den Tank tottraumfrei eingebunden werden (Austauschbarkeit)
- Geringes Teilespektrum auf Lager, da die Anzeigegeräte beliebig mit den verschiedenen Temperatursensoren gekoppelt werden können (Flexibilität durch Modularität spart Kosten)
- Sensorik ohne mechanisch bewegte Teile wie magnetischen Springkontakten für geringe Stillstandzeiten durch Verschleißfreiheit
- Analogausgang am Anzeigegerät programmierbar auf Strom- oder Spannungsausgang für Einbindung in SPS (Universalität für geringe Lagerhaltung und unkomplizierten Einbau in bestehende Anlagen)
- kein Nachkalibrieren durch hohe Langzeitstabilität (Zeitersparnis bei Instandhaltung)
- kein Kalibrierequipment oder anderweitige Betriebsmittel für die Inbetriebnahme erforderlich (Kostenersparnis)
- Störsicherheit durch IP 67 und robustes Feldgehäuse für minimierte Kosten

5.2.6 Einsatz der Temperatursensorik im Werkzeugmaschinen-sektor (Automobilsektor)

Bei Werkzeugmaschinen liegen im wesentlichen zwei Flüssigkeitskreisläufe vor, die es zu überwachen gilt: Der Hydraulik- und der Kühlschmiermittelkreislauf.

Je nach Beanspruchung der Maschine bei den einzelnen Bearbeitungsvorgängen werden unterschiedliche Mengen an Wärmeenergie in das Hydrauliksystem oder das Kühlschmiermittel eingetragen. Da hieraus zum einen Rückschlüsse z. B. auf eine Überbeanspruchung eines Anlagenteiles möglich sind und zum anderen eine Kühlung des Vorratsbehälters in Gang gesetzt werden muss, ist eine genaue Überwachung der Temperatur notwendig.

5.3 Applikationsbeispiel

Bei einem Hydraulikaggregat wird die Temperatur des Mediums auf drei Schaltpunkte gesteuert (TN 7430).

Mit dem Schaltausgang 1 wird die obere und untere Temperatur überwacht und nachgeregelt, da heißt, dass bei Erreichen des oberen Schaltpunktes das Medium gekühlt wird, bei Erreichen des unteren Schaltpunktes wird die Kühlung wieder ausgeschaltet.

Der zweite Schaltausgang dient zur Abschaltung der Anlage bei Überschreitung einer kritischen Temperatur, wenn also die Kapazität der Kühlung nicht mehr ausreicht.

Vorteil beim Einsatz der beschriebenen Sensoren:

- Anzeigegerät mit zwei Schalt- und Rückschaltpunkten bei TN 7430 und TR 7430 für eine exakte Überwachung von verschiedenen Temperaturstufen (kostengünstige Einheit)
- Einbau der Temperatursensoren in Tauchrohr- oder Kabelvariante über Schneidringverschraubung problemlos in jeder gewünschten Eintauchtiefe möglich, ebenso unter Verwendung von DIN-Tauchrohren mit Zoll-Gewinden. Der Kabelsensor ist auf die Schneidringverschraubung eines T-Stückes abgestimmt, so dass innerhalb jeder Hydraulikleitung die Temperatur beliebig abgegriffen werden kann (große Transparenz innerhalb der Anlage)
- Da der eigentliche Temperatursensor im Gegensatz zu Kontaktthermometer oder Thermostat über eine Kabelverbindung vom Anzeigegerät getrennt angeordnet werden kann, können die einzelnen Anzeigegeräte an einer von der Bedienperson gut einsehbaren Stelle nebeneinander angeordnet werden, so dass der momentane Zustand der Maschine gut zu überblicken ist. Die LED-Anzeige ist weithin sichtbar.
- Im Gegensatz zu Kontaktmanometer ist kein mechanischer Verschleiß möglich
- Dezentrale Steuerung der Temperatur von Hydraulik und Kühlschmiermittel: Eingänge auf der zentralen SPS werden eingespart (Kosteneinsparung), wodurch eine einfache Vor-Ort-Einstellung und Vor-Ort-Auswertung ermöglicht wird
- Temperatur kann bei sensiblen Bearbeitungsvorgängen, z.B. Schleifspindel mit hydrostatischer Umlaufschmierung, in einem engen Bereich konstant gehalten werden, was sich auf die Fertigungsgenauigkeit wesentlich auswirkt (Qualitätssteigerung und Kosteneinsparung)
- Einzelgeräte können gegeneinander ausgetauscht werden ohne sie zu kalibrieren (geringe Stillstandszeiten)
- Statusanzeige für Fehlersuche vor Ort (einfache Diagnose der Maschine z.B. bei defekten Lagerungen und dem daraus resultierenden erhöhten Wärmeeintrag)
- Verriegelbarkeit verhindert Manipulation an der Anlage (Störsicherheit)

- Hohe Schock- und Vibrationsfestigkeit in Verbindung mit robustem Feldgehäuse mit chemischer Resistenz gegenüber Öl- und Kühlschmiermittel für hohe „Standzeiten“

6 Anhang

6.1 Kleines technisches Lexikon

Dieses Lexikon soll kein großes Nachschlagewerk werden; es soll dabei helfen, sich rasch über einige Grundbegriffe zu informieren. Dazu wird es in Zukunft noch ergänzt werden. Der aktuelle Stand ist also noch nicht endgültig. Anregungen darüber, welche Begriffe noch zusätzlich aufgenommen werden sollten, werden gerne entgegengenommen.

Zum Teil ergänzt das Lexikon den Text, indem Begriffe erklärt werden, die oben nur kurz oder gar nicht angesprochen wurden. Zum Teil werden aber auch Begriffe noch einmal kurz und knapp erläutert, die im Text ausführlich besprochen wurden. Das Stichwortverzeichnis hilft dabei, diese im Text zu finden. Speziell in Kapitel 3.3, Seite 29, werden Begriffe, die besonders für die beschriebenen Sensoren wichtig sind, erläutert.

Begriffe

absolute Genauigkeit

Damit wird beschrieben, wie der gemessene Wert von einer festen Referenz abweicht.

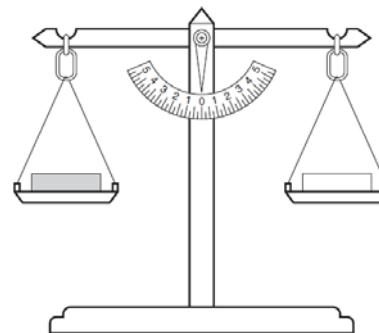


Abbildung 57: Absolute Genauigkeit

Im Beispiel, Abbildung 57, gibt es keine Abweichung.

Abweichungen von der Kennlinie

Die Kennlinienabweichung ist die Abweichung der Kennlinie von einer festgelegten Kurve nach Messungen bei zunehmenden und abnehmenden Werten, also einschließlich Hysterese. In der Temperaturmesstechnik ist die festgelegte Kurve im allgemeinen eine Gerade, es wird also von einem linearen Signalverlauf ausgegangen. Für die Kennlinienabweichung gibt es verschiedene Definitionen, die hier nicht ausführlich erläutert werden. Die folgende Abbildung 58 verdeutlicht, was damit gemeint ist.

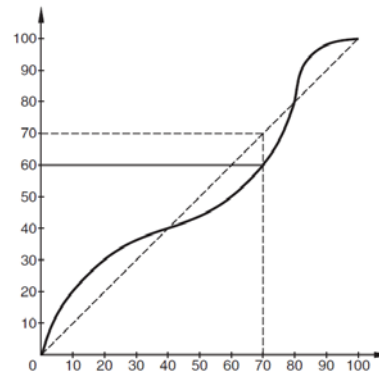


Abbildung 58: Abweichung von der Kennlinie

Anstiegszeit

Die Zeit, die das Analogsignal mit Anzeige und Schaltpunkten des Temperatursensors nach einer sprunghaftigen Änderung der Temperatur benötigt, um von 10% auf 90% seines Endwertes anzusteigen, der sich durch die Temperaturänderung ergibt (siehe auch Übergangsfunktion in Abbildung 19, Kapitel 3.3).

Auflösung

Damit wird der kleinste Schritt bezeichnet, bzw. die kleinste Änderung des Messwertes, die vom Gerät erfasst werden kann.

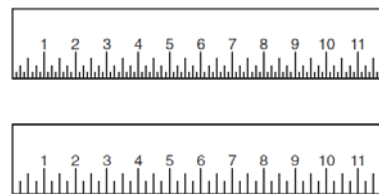


Abbildung 59: Auflösung

Die Abbildung 59 zeigt als Beispiel zwei Messstäbe mit unterschiedlicher Auflösung (nicht zu verwechseln mit Genauigkeit).

Ausgangsfunktion programmierbar

Der Schaltausgang kann über Programmierknöpfe als Schließer oder Öffner programmiert werden.

Bereitschaftsverzögerung

Die Bereitschaftsverzögerungszeit ist die Zeit, die zwischen Anlegen der Betriebsspannung und Ausgabe des richtigen Schaltsignals vergeht. Während dieser Zeit ist der Ausgang inaktiv.

Betriebsspannung

Die Nennbetriebsspannung ist ein Spannungswert, für den ein elektrisches Betriebsmittel ausgelegt ist. Der Betriebsspannungsbereich gibt an, innerhalb welcher Grenzwerte die Funktion des Gerätes gewährleistet ist. Bei Gleichspannungsgeräten ist darauf zu achten, dass die Restwelligkeit der Betriebsspannung in den Grenzwerten mit eingeschlossen ist.

Drift, Langzeitdrift

Allgemein versteht man darunter die Änderung der Ausgangsgröße eines Meßsystems mit der Zeit bei festgehaltener Eingangsgröße. Als Temperaturdrift oder Langzeitdrift wird eine langsame, nicht unmittelbar durch eine Veränderung der Eingangsgrößen eines Bauelementes oder in der Schaltung hervorgerufene Änderung der Ausgangsgröße bezeichnet.

Darauf ist auch die Verschiebung des mechanischen Nullpunkts elektro-mechanischer und elektronischer Messgeräte zurückzuführen. Diese Größe ist natürlich auch für Temperaturmessgeräte von Bedeutung. Sie wird angegeben als maximale Änderung des Wertes innerhalb eines definierten Zeitintervalls. Pt-T haben dabei besonders gute Eigenschaften. Als typischer Wert wird z. B. angegeben $<0,04\%$ in 5 Jahren bei einer Betriebstemperatur von $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. In den Normen verschiedener Meßsysteme wird genau vorgeschrieben unter welchen Bedingungen die Wiederholgenauigkeit bestimmt wird. Damit wird versucht, Effekte wie Drift zu erfassen.

EMV	siehe Normen und Zulassungen am Ende des Lexikons
Fehler	Um die Genauigkeit einer Messung richtig einschätzen zu können, ist es wichtig, die Fehlerarten zu unterscheiden.
absoluter Fehler	Er beträgt bei den beschriebenen Sensoren $0,2\text{ K}$. Er kann z. B. durch eine Verschiebung des Nullpunktes hervorgerufen werden. Außerdem hängt die Genauigkeit natürlich von der Auflösung ab. Das Display der Sensoren kann nur Werte bis auf eine Stelle genau angeben. Es hat also hier auch wenig Sinn, bei der Signalaufbereitung eine größere Auflösung als $0,5\text{ K}$ anzustreben. Dagegen ist die Auflösung beim Analogausgang besser. Sie beträgt $0,125\text{ K}$.
relativer Fehler	Wird z. B. eine Temperaturdifferenz von 4 K gemessen und beträgt der absolute Fehler wie oben $\pm 0,2\text{ K}$, dann beträgt hier der relative Fehler 10% . Bei einer Temperaturdifferenz von 40 K ist er allerdings nur 1% . Davon ist der Fehler zu unterscheiden, der in % des Messbereichs angegeben wird. Er entsteht z. B. bei der Umwandlung des Signals in die angezeigte Ausgangsgröße. Er beträgt bei den beschriebenen Sensoren $0,5\%$ des Messbereichsendwerts. Daraus ergeben sich die oben angegebenen Fehlergrenzen von $\pm (0,2\text{ K} + 0,5\% \text{ des Messbereichs} + 1 \text{ Digit})$
Fenster, einstellbar	Hierbei wird die Ausgangsfunktion aktiviert, wenn die Systemtemperatur zwischen dem eingestellten Schalt- und Rückschaltpunkt liegt. Diese Temperatursensoren überwachen einen Gutbereich.
Gehäusewerkstoffe	siehe Werkstoffe
Genauigkeit	Jede Messung ist mit Fehlern behaftet. Die Angabe der maximalen Werte dieser Fehler oder der Fehlergrenzen charakterisiert die Genauigkeit.
Grundwerte	Pt-Temperatursensoren weisen nach DIN EN 60751 (IST 90) eine Widerstandsänderung von $0,38 - 0,39$ und $3,8 - 3,9\ \Omega/^{\circ}\text{C}$ bei PT 1000 auf.
Hysterese des Schaltausganges	Die Differenz zwischen Schaltpunkt und Rückschaltpunkt wird als Hysterese des Schaltausganges bezeichnet. Die Hysterese des Temperatursensors kann zwischen 2% und 97% des Messbereichsendwertes eingestellt werden (vgl. Abbildung 29).
Kennlinie	siehe Temperaturkennlinie

Kennlinienabweichung	Die größte Abweichung der Kennlinie von einer Geraden bei Grenzpunkteinstellung der Temperatursensoren wird von der Kennlinienabweichung beschrieben. Siehe auch DIN 16086 Kennlinienabweichung bei Grenzpunkteinstellung. Siehe Abweichung von der Kennlinie.
Kunststoffe	Kunststoffe weisen je nach den Umgebungs- und Einsatzbedingungen unterschiedliche Beständigkeit auf. Eine Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder die Eignung für einen bestimmten Einsatzzweck kann daher nicht gegeben werden. Insoweit wird auf die Ausführungen unter „PVC-“ und „PPU-Kabel“ sowie „Werkstoffe“ bezüglich der spezifischen Beständigkeit verwiesen. Die dort aufgeführten allgemeinen Hinweise befreien nicht von eigenen Prüfungen.
Kurzschlusschutz	Die Temperatursensoren sind durch getakteten Kurzschlusschutz gegen Überstrom am Schaltausgang geschützt.
Langzeitdrift	siehe Drift
Langzeitstabilität	Aufgrund der chemischen Trägheit und der Homogenität des verwendeten Platins sind Pt-T die stabilsten Temperatursensoren. Je nach Betriebsbedingungen betragen die R_T -Änderungen nach 5 Betriebsjahren bei 200°C typischerweise weniger als 0,04%.
Messbereich	Der Messbereich ist der Wertebereich der Messgröße Temperatur, für den die Messabweichungen eines Messgerätes innerhalb der vorgegebenen Fehlergrenzen liegen sollen. Die Grenzen des Messbereiches sind Anfangs- und Endwert. Werden nur positive Werte von Null an gemessen, z. B. Druck oder Länge, dann fällt dieser Begriff mit Messbereichsendwert MEW (siehe unten) zusammen. Bei Temperaturen zwischen - 40 und + 150 °C ist der Messbereich 190.
Messbereichsendwert	Hierfür wird häufig die Abkürzung MEW verwendet. Ein Beispiel aus der Längenmessung soll verdeutlichen, was gemeint ist.



Abbildung 60: Messbereichsendwert MEW

Man hat hier zwei Messinstrumente (Messstäbe) mit gleicher Genauigkeit und gleicher Auflösung aber unterschiedlichem MEW.

Messbeständigkeit	Damit wird die Fähigkeit des Gerätes bezeichnet, seine Merkmale unverändert beizubehalten. Diese können sich zeitlich (Drift) oder durch andere Einflüsse (z. B. Temperatur) ändern.
-------------------	--



Abbildung 61: Messbeständigkeit

In Abbildung 61 ist als Beispiel dargestellt, wie sich bei einem Messstab die Länge durch Erwärmung ändert.

Messfehler	Beschreibt die Abweichung des Gerätes von dem tatsächlichen Wert. Siehe Fehler.
------------	---

Öffnerfunktion	Ruhestromprinzip: Schaltbedingung erfüllt – Ausgang nicht durchgeschaltet.
Platin-Temperatursensoren	<p>So werden die Sensorelemente in Form von Messwiderständen bezeichnet, die zur Temperaturmessung verwendet werden. Bekannt sind sie auch unter den Bezeichnungen Pt 100, Pt 500 oder Pt 1000 (im Text auch als Pt XY oder Pt-T abgekürzt).</p> <p>Bei diesen handelt es sich um Temperatursensoren, deren Wirkungsweise auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes, in diesem konkreten Falle des Metalles Platin (Pt), beruht. Bei Metall-Widerstands-Temperatursensoren wird die Abhängigkeit der Ladungsträgerbeweglichkeit von der Temperatur ausgenutzt. In diesem Fall verringert sie sich durch wachsende Wechselwirkung zwischen Elektronen und Gitterbausteinen mit steigender Temperatur, so dass man einen positiven Widerstands-Temperaturkoeffizienten erhält (PTC).</p> <p>Beim Pt 100-Element beträgt der Widerstandswert bei 0°C 100,000 Ω (IEC 751), worauf der Beiwert 100 beruht. Ist dieser Widerstandswert bei 0 °C 500 Ω oder 1000 Ω, so spricht man von einem Pt 500 oder Pt 1000. Je höher dieser Widerstandsänderung, um so größer ist die Widerstandsänderung pro Temperatureinheit und somit die Ansprechempfindlichkeit, so dass die Widerstandswerte von Kabelverbindungen weniger ins Gewicht fallen. Allerdings ist die Eigenerwärmung höher.</p> <p>Da Platin eine gute Reproduzierbarkeit der Messwerte garantiert, wird es den ebenfalls möglichen Metallen Nickel oder Kupfer vorgezogen. Der große theoretische Einsatzbereich von –200°C bis 1000°C wird derzeit bei den beschriebenen Sensoren von –40 °C bis 120 °C, max. 150 °C ausgeschöpft, je nach Sensorausführung.</p> <p>Vorteile der Platin-Temperatursensoren sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Präzise und langzeitstabile Messdaten über einen weiten Temperaturbereich • Einfache Weiterverarbeitung des standardisierten und linearen Ausgangssignals • Einfacher Austausch der Elementarsensoren
PPU-Kabel	Ölfeste Leitung. Nicht hydrolysebeständig, daher nicht geeignet für den dauernden Kontakt mit Wasser. Um Kabelbruch zu verhindern, dürfen die Kabel bei Temperaturen unter –10°C nicht mehr bewegt werden – Kunststoffe.
Pt	siehe Platin
PVC-Kabel	Bewährte Standardleitung. Um Kabelbruch zu verhindern, dürfen die Kabel bei Temperaturen unter –5°C nicht mehr bewegt werden. PVC-Kabel sind nicht für Dauerbetrieb in ölhaltiger Umgebung vorgesehen. Sie sind weder ozon- noch UV-beständig – Kunststoffe.
Reaktionszeit	siehe thermische Ansprechzeit
Schaltpunktgenauigkeit	Die mögliche Abweichung des eingestellten Wertes vom tatsächlichen Wert des Schaltpunktes.
Schließerfunktion	Arbeitsstromprinzip: Schaltbedingung erfüllt – Ausgang durchgeschaltet.
Schutzart	IP 65 Vollständiger Schutz gegen Berühren unter Spannung stehender Teile. Schutz gegen Eindringen von Staub. Schutz gegen Strahlwasser.

IP 67

Vollständiger Schutz gegen Berühren unter Spannung stehender Teile. Schutz gegen Eindringen von Staub. Schutz beim Eintauchen unter festgelegten Bedingungen: 1 m Wassertiefe und 30 min. Dauer.

Schutzisolierung

Der Schutz beruht nicht nur auf der Basisisolierung, sondern darauf, dass eine doppelte oder eine verstärkte Isolierung so angebracht wird, dass sie die Bedingungen der Schutzisolierung erfüllt.

Schutzklassen und Bemessungsisolationsspannung

Schutzklasse 1: Geräte mit Schutzleiteranschluss

Schutzklasse 2: Geräte mit Schutzisolierung

Schutzklasse 3: Geräte zum Anschluss an Kleinspannung mit sicherer Trennung

Spannungsversorgung nach EN 50178, PELV, SELV

Schutzrohr

Während z.B. in der Drucksensorik das Sensorelement direkt mit dem Medium in Verbindung stehen muss, kann der Temperatursensor in eingeschweißte oder eingeschraubte Schutzrohre eingeschoben werden, die auch während des Sensorwechsels eine Abdichtung des Mediums gegenüber der Umgebung sicherstellen. Diese Schutzrohre können an die Anforderungen der jeweiligen Industriesparte wie z.B. Korrosionsbeständigkeit, hygienegerechte Gestaltung usw. von Oberfläche und Materialzusammensetzung her optimal angepasst werden.

Damit die Mediumstemperatur vom Schutzrohr auf das Sensorelement übergehen kann, müssen sich diese in gutem thermischen Kontakt befinden. Ein Luftspalt dazwischen würde den Wärmeübergang behindern. Luft wirkt für Wärme isolierend (vgl. auch den Strömungssensor). Um unter allen Betriebsbedingungen kurze Reaktionszeiten auf Grund optimierter Wärmeleitfähigkeit sicherzustellen, muss eine Wärmeleitpaste „zwischen geschaltet“ werden.

Selektion

Nach DIN EN 60751 können die Pt-T in die Genauigkeitstoleranzklassen A, B, 1/3 B unterteilt werden. Ifm verwendet Sensoren der gebräuchlichsten Klasse B (teilweise auch A).

Signalverarbeitung

Die Signalaufbereitung im Messgerät intern geschieht zunehmend digital. Dagegen gibt es noch meist analoge Ausgänge. Der Anteil am gesamten Markt ist jedoch noch gering, verglichen mit mechanischen Temperaturschaltern. Es gibt für Temperatursensoren oder Temperaturmessgeräte kein einheitliches Bussystem. Zur Konfiguration, Parametrierung usw. gibt es zwar ein verbreitetes Protokoll, das HART-Protokoll, das auch bei Drucksensoren verwendet wird. Daneben werden aber auch herstellerspezifische Protokolle oder zum Beispiel auch ein Protokoll für die RS 232 verwendet. Das Interesse speziell von Anwendern in der Prozesstechnik z. B. für die Fernparametrierung ist groß. Es gibt natürlich Möglichkeiten der Ankoppelung an einen Feldbus, das kann aber im Einzelfall relativ teuer sein. Außerdem sind die gängigen Bus-Systeme erst nach und nach für den Betrieb im EX-Bereich zugelassen.

Spannungsabfall

Spannungsverlust, der bei maximalem Laststrom am Schaltausgang des Temperatursensors entsteht.

Stabilität des Nullsignals

Besonders bei mechanischen Geräten kann diese problematisch sein.

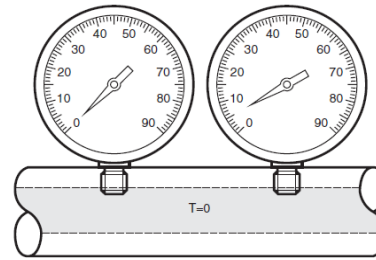


Abbildung 62: Stabilität des Nullsignals

Störspannungen, Schutz gegen	Um Funktionsbeeinträchtigungen durch zu hohe Spannungsspitzen, die im Extremfall auftreten können zu vermeiden, empfehlen wir, die Anschlussleitungen der Temperatursensoren getrennt von anderen Leitungen (z.B. Motor-, Magnet- oder Ventilleitungen usw.) zu verlegen. In besonders schwierigen Fällen kann die Verlegung abgeschirmter Leitungen notwendig werden. Im Zweifelsfall wenden Sie sich bitte an unsere Techniker.
Stromaufnahme	Der Strom, der zur Eigenversorgung des Temperatursensors dient. Der im Datenblatt angegebene Wert gilt für das durchgeschaltete Geräte ohne Last.
Strombelastbarkeit / Dauer	Ist der Strom, mit dem der Schaltausgang des ifm-Temperatursensors im Dauerbetrieb belastet werden kann. Die Geräte haben Kurzschlusschutz, sind überlastfest und verpolungssicher. Im Falle eines Kurzschlusses wird der Endtransistor sofort gesperrt. Nach Aufheben des Kurzschlusses ist das Gerät wieder betriebsbereit.
Systemtemperatur	Die Temperatur des Messmediums, die auf den Temperatursensor einwirkt.
Temperaturkennlinie	Wird der elektrische Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur als Kurve aufgetragen, erhält man die Temperaturkennlinie. Bei den Pt-Ts ist diese Kurve in guter Näherung eine Gerade, speziell im Bereich von 0 100 °C. siehe auch: Abweichung von der Kennlinie und 3.3
Temperaturkoeffizient	<p>Koeffizient, der die Temperaturabhängigkeit einer physikalischen oder chemischen Größe beschreibt. Für die Messtechnik von Bedeutung ist in unserem Zusammenhang der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands (TK_R). Bei Platin-Temperatursensoren nimmt der elektrische Widerstand mit ansteigender Temperatur zu, weshalb man hier von einem positiven Temperaturkoeffizienten des Platinmetallwiderstandes spricht (PTC). Mathematisch ist das die Steigung der Kennlinie.</p> <p>Den in der Norm (IEC 751) definierten mittleren Temperaturkoeffizienten α für den Temperaturbereich zwischen 0 und 100 °C, erhält man, indem man die Differenz der Widerstandswerte bei 100 °C und 0 °C bildet und diese dann durch 100 und den Widerstandswert bei 0°C dividiert. Als Formel:</p> $\alpha = (R_{100}-R_0)/(100^{\circ}\text{C} \times R_0)$ <p>Beim Pt-T ist der mittlere Temperaturkoeffizient α eine gute Näherung für den realen Temperaturkoeffizient. Dieser Koeffizient gibt ja die Steigung der Kennlinie an. Diese ist aber beim Pt-T in diesem Temperaturbereich annähernd eine Gerade.</p> <p>siehe auch: Abweichung von der Kennlinie und 3.3</p>

Thermische Ansprechzeit	Die thermische Ansprechzeit ist die Zeit, die ein Pt-T benötigt, bis er auf eine stufenförmige Temperaturänderung mit einer Widerstandsänderung reagiert, die einem bestimmten prozentualen Anteil der Temperaturänderung entspricht. Die DIN EN 60751 empfiehlt die Anwendung der Zeiten für eine 50%- und 90%-ige Änderung. T_{05} und T_{09} sind in den Datenblättern für Wasser- und Luftströme von 0,4 bzw. 1,0 m/s angegeben. Man erhält die gleichen Ansprechzeiten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Medien, weil die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität unterschiedlich sind. Bei anderen Medien können diese Zeiten mit den Wärmeübergangszahlen nach VDI/VDE 3522 ermittelt werden (siehe auch Ansprechzeit). Das genaue zeitliche Verhalten wird durch die Übergangsfunktion beschrieben (siehe 3.3, Abbildung 19).
Toleranzklassen	Die Pt-T haben bestimmte Arbeitstemperaturbereiche mit einer bestimmten Abweichung von der idealen Kennlinie. Deshalb werden bestimmte Genauigkeitstoleranzklassen festgelegt, wobei die von ifm eingesetzten Pt-Ts nach DIN EN 60751 in der marktüblichen Klasse B, wofür gilt: $\Delta t = \pm(0,3 + 0,005/t)$.
Umgebungstemperatur	Temperaturbereich der Umgebung, in dem ein sicheres Funktionieren des Temperatursensors gewährleistet ist.
Verpolungsfest	Ein interner Schutz bewahrt den Temperatursensor bei Vertauschen der Anschlussleitungen vor Zerstörung.
Vibrationsfestigkeit	Die Temperatursensoren sind nach DIN / IEC 68-2-6 im Frequenzbereich von 10 - 2000 Hz geprüft und sind vibrationsfest bis 20 g.
Wärmeleitpaste	siehe Schutzrohr
Werkstoffe	Gehäusewerkstoffe im Kontakt mit Medium. Die Werkstoffe der Temperatursensoren sind mit großer Sorgfalt für eine größtmögliche Bandbreite von industriellen Anwendungen ausgelegt. Bei kritischen Applikationen muss die Beständigkeit der Werkstoffe überprüft werden.
Wiederholgenauigkeit	Die mögliche Abweichung des Wertes des Schaltpunktes bei zwei aufeinander folgenden Messungen unter gleichen Bedingungen. Damit wird beschrieben, welche Abweichungen sich vom einmal angezeigten Wert ergeben können, wenn die Temperatur nach Schwankungen wieder auf ihren Normalwert, im Beispiel 30 °C, geht.



Abbildung 63: Wiederholgenauigkeit

Das Beispiel, Abbildung 63, ist nicht besonders realistisch. Bei mechanischen Geräten muss man mit größeren Abweichungen rechnen.

Zerstörungsbereich	Der Zerstörungsbereich ist der Bereich, in dem beim Sensor bleibende Veränderungen seiner messtechnischen Eigenschaften auftreten und der Sensor auch mechanisch zerstört werden kann. Er beginnt am Ende des Messbereiches.
--------------------	--

Normen und Zulassungen

Schaltgeräte der ifm electronic werden nach den geltenden Normen und Vorschriften entwickelt, gefertigt und geprüft. Sie entsprechen den zur Zeit gültigen und zutreffenden IEC-Publikationen, EN-Normen oder DIN VDE-Vorschriften, speziellen länderspezifischen Vorschriften sowie diversen Werksnormen von Kunden. Gleichzeitig werden bei Neuentwicklungen, Änderungen und Überarbeitungen bestehender Produkte die neuesten Normentwürfe auf europäischer und internationaler Basis berücksichtigt. Das Qualitätswesen und QS-Management der ifm electronic entspricht den zur Zeit geltenden und in Zukunft zu erwartenden hohen internationalen Anforderungen. Dieses Qualitätssicherungssystem gewährleistet die Entwicklung und Fertigung von Geräten auf einem qualitativ hohen Niveau.

Elektromagnetische Verträglichkeit

Gemäß der EG-Richtlinie (89/336 EWG) zur elektromagnetischen Verträglichkeit (kurz EMV-Richtlinie) werden Anforderungen an die Fähigkeit von elektrischen und elektronischen Apparaten, Anlagen, Systemen oder Bauteilen gestellt, in der vorhandenen elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten. Diese Anforderungen werden in den gerätebezogenen Normen und Vorschriften spezifiziert.

- Störaussendung: EN 55011
- Die im Katalog enthaltenen Geräte entsprechen der Klasse B.
- Störfestigkeit: IEC 1000-4-1/EN 61000-4-1
- Elektromagnetische Verträglichkeit von Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen in der industriellen Prozesstechnik: IEC 1000-4-2/EN 61000-4-2
- Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität: IEC 1000-4-3/EN 61000-4-3
- Störfestigkeit gegen elektromagnetische Felder: IEC 1000-4-4/EN 61000-4-4
- Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen (Burst): IEC 1000-4-6/EN 61000-4-6
- Störfestigkeit gegen induzierte leitungsgebundene Störungen: Prüfschärfegrade nach EN 50082-2
- Fachgrundnorm Störfestigkeit

Qualität nach Norm

Das Qualitätswesen und QS-Management der ifm electronic entspricht den zur Zeit geltenden und in Zukunft zu erwartenden hohen internationalen Anforderungen. Dieses Qualitätsmanagementsystem gewährleistet die Entwicklung und Fertigung von Geräten auf einem qualitativ hohen Niveau. Gleichzeitig erklären wir hiermit die Konformität der Geräte mit den Sicherheitsbestimmungen der EG-Niederspannungsrichtlinie 73/23 EWG vom 19.02.1973. Aufgrund des weltweiten Vertriebs und für den international tätigen Kunden liegen – da wo notwendig – länderspezifische Zulassungen vor und werden weiter durchgeführt und ergänzt (z.B. Kanada, U.S.A., Japan, Schweiz).

6.2 Typenschlüssel



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
T	N	-	0	1	3	K	B	B	R	1	2	-	K	F	P	K	G	/	US	
Stelle	Bezeichnung																			Inhalt
1	Sensorprinzip																			T = Temperatursensor
2	Anzeige / Bauform																			B = Balken LED N = numerische Anzeige (Display) R = Remote Sensor mit numerischer Anzeige S = Sensor mit Kabel T = Sensor mit Steckverbindung Y = Sonderschlüssel Z = Sonderschlüssel
3	Frei																			
4-6	Fühlerlänge																			Fühlerlänge in mm (bei Bauform TN, TT) Kabellänge in mm (bei Bauform TS)
7	Meßeinheit																			C = °C F = °F K = Kombiniert °C und °F
8	Temperaturbereich / Meßprinzip																			B = -40°C bis 125°C / PT1000 C = -40°C bis 150°C / PT1000 D = Auswerteinheit für PT100 / PT1000
9	Bauform / Gehäuse																			B = zylindrisches Metallgehäuse, V2A; Prozeßanschluß V2A D = zylindrisches Metallgehäuse V2A; Prozeßanschluß V4A E = zylindrisches Metallgehäuse V4A; Prozeßanschluß V4A K = zylindrisches Metallgehäuse V4A; Prozeßanschluß V4A; Kabel
10	Gewindeart des Prozeßanschlusses																			D = Zylindrische Gehäuse M = metrisches Gewinde N = NPT-Gewinde P = PT-Gewinde (entspricht DIN 2999) R = Rohrgewinde S = Sägewinde U = UNF-Gewinde
11-12	Gewindegröße und Durchmesser																			(M)xx = Durchmesser in mm (N)14 = NPT-Gewinde 1/4" (P)3/8 = PT 3/8 (R)01 = Rohrgewinde 1" (R)14 = Rohrgewinde 1/4" (R)12 = Rohrgewinde 1/2" (R)3/4 = Rohrgewinde 3/4" (S)30 = Sägewinde S30x2 (U) = UNF-Gewinde 7/16" (D)10 = 10mm Durchmesser (D)08 = 8mm Durchmesser (D)06 = 6mm Durchmesser
13	Frei																			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
T	N	-	0	1	3	K	B	B	R	1	2	-	K	F	P	K	G	/	US	
14	Ausgangsart																			A = Analogausgang 4-20mA B = Analogausgang 0-10V C = Analogausgang 0-20mA D = Analogausgang 1-10V F = Fenster H = Hysterese einstellbar K = Kombiniert (analog 4-20 mA / binär) L = Kombiniert (analog 0-10 V / binär) M = Kombiniert (analog 4-20 mA, 0-10V wählbar / binär) Q = 2 x binär R = 3 x binär S = 4 x binär
15	Schaltfunktion																			- = ohne F = Ausgangsfunktion programmierbar S = Schließer O = Öffner
16	Ausgangssystem																			B = Halbleiterausgang bei AC und AC/DC D = Dreileiter (Analog) N = Halbleiterausgang minusschaltend P = Halbleiterausgang positivschaltend Z = Zweileiter (Analog)
17	Kurzschlußschutz																			K = mit Kurzschlußschutz O = ohne Kurzschlußschutz V = Verpolungsschutz
18	Anschlußspannung																			A = Allstrom (AC/DC) G = Gleichspannung (DC) W = Wechselspannung (AC)
19	Schrägstrich																			
20	Optionen																			US = mit US-Steckverbindung SS = mit SS-Steckverbindung LS = mit LS-Stecker CSA = CSA-Zulassung E = Zellendichtung EPDM N = Zellendichtung NBR P = Zellendichtung PTFE, PZA-Dichtung FPM (VITON) V = Zellendichtung FPM (Viton)

ENDE