

Herzlich Willkommen

Funktionsweise und Einsatz von
Widerstandsthermometern





Widerstandsthermometer



Temperaturabhängiger Widerstand

- Leitfähigkeit von Metallen basiert auf Beweglichkeit von Leitungselektronen
- Mit wachsender Temperatur schwingen die Atome des Metallgitters verstärkt und behindern die Bewegung der Leitungselektronen
- Bei einem PTC nimmt der elektrische Widerstand mit der Temperatur zu
- Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur ist nicht direkt proportional, sondern wird durch ein Polynom höherer Ordnung beschrieben

$$R(T) = R_0 (1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + C \cdot T^3 + \dots)$$

Temperaturabhängiger Widerstand

$$R(T) = R_0 (1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + C \cdot T^3 + \dots)$$

- Der Widerstand R_0 bildet den Nennwiderstand bei einer bestimmten Temperatur
- Die Koeffizienten A, B usw. hängen vom verwendeten Widerstandmaterial ab
- T ist die jeweils vorliegende Temperatur in °C

Platinwiderstände

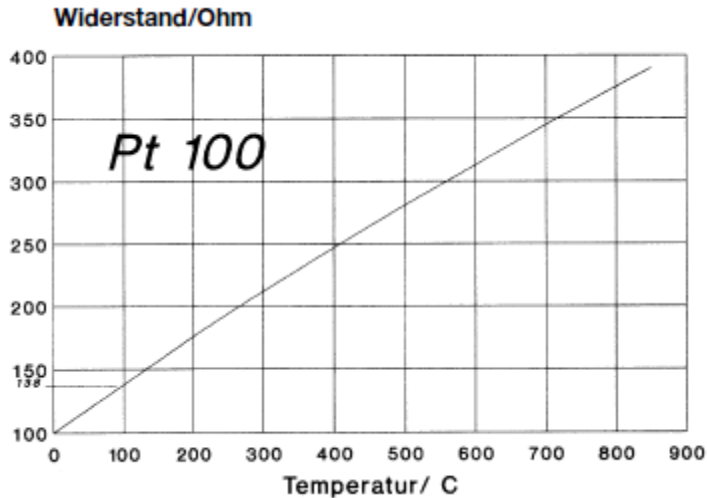
- Als Widerstandsmaterial hat sich Platin in der industriellen Messtechnik durchgesetzt
- Vorteile: Hohe chemische Beständigkeit und gute Reproduzierbarkeit der elektrischen Eigenschaften
- Eigenschaften sind in der Norm DIN EN 60 751 vollständig festgelegt
 - Für den Bereich von 0...850°C, gilt ein Polynom zweiten Grades:

$$R(T) = R_0 (1 + A \cdot T + B \cdot T^2)$$

- In DIN EN 60 751 ist ein Nennwert von 100 Ω definiert, man spricht hier vom Pt100
- Für die Koeffizienten gilt:
 $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
 $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \cdot ^\circ\text{C}^{-2}$

Platinwiderstände

- Kennlinie eines Pt100-Temperatursensors:



Grundwerte des Pt100

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100,000	100,391	100,781	101,172	101,562	101,953	102,343	102,733	103,123	103,513	103,903
10	103,903	104,292	104,682	105,071	105,460	105,849	106,238	106,627	107,016	107,405	107,794
20	107,794	108,182	108,570	108,959	109,347	109,735	110,123	110,510	110,898	111,286	111,673
30	111,673	112,060	112,447	112,835	113,221	113,608	113,995	114,382	114,768	115,155	115,541
40	115,541	115,927	116,313	116,699	117,085	117,470	117,856	118,241	118,627	119,012	119,397
50	119,397	119,782	120,167	120,552	120,936	121,321	121,705	122,090	122,474	122,858	123,242
60	123,242	123,626	124,009	124,393	124,777	125,160	125,543	125,926	126,309	126,692	127,075
70	127,075	127,458	127,840	128,223	128,605	128,987	129,370	129,752	130,133	130,515	130,897
80	130,897	131,278	131,660	132,041	132,422	132,803	133,184	133,565	133,946	134,326	134,707
90	134,707	135,087	135,468	135,848	136,228	136,608	136,987	137,367	137,747	138,126	138,506
100	138,506	138,885	139,264	139,643	140,022	140,400	140,779	141,158	141,536	141,914	142,293

- Das verwendete Platin wird gezielt mit Fremdatomen verunreinigt und erreicht somit eine bessere Langzeitstabilität
- Durch Behandlung weicht das Verhalten eines Platin-Messwiderstand von dem reinen Platins ab

Toleranzklassen

- DIN EN 60 751 definiert die folgenden Toleranzklassen:

Klasse	Grenzabweichungen
AA	$\pm(0,1+0,0017 \times t)$
A	$\pm(0,15+0,002 \times t)$
B	$\pm(0,3+0,005 \times t)$
C	$\pm(0,6+0,01 \times t)$

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

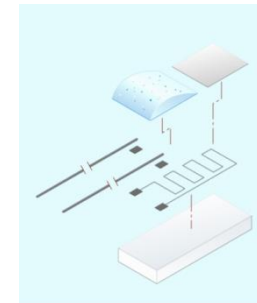
- Der größte Teil der Widerstandsthermometer wird in Klasse B ausgeliefert
- Beispiel : Bei einer Temperatur von 20°C beträgt die Grenzabweichung $\pm 0,4$ K

Langzeitverhalten von Widerstandsthermometern

- Das Langzeitverhalten von JUMO-Widerstandsthermometern ist angegeben mit max 0.05 %/ Jahr
- Beispiel mit PT100:
 - $0.05 \% / \text{Jahr} \times 100 \Omega = 0.05 \Omega / \text{Jahr}$
 - $1\text{K} / 0.4 \Omega \times 0.05 \Omega / \text{Jahr} = 0.125 \text{ }^\circ\text{C}$
- Es ist von einer maximalen Drift von $0.125^\circ\text{C} / \text{Jahr}$ auszugehen

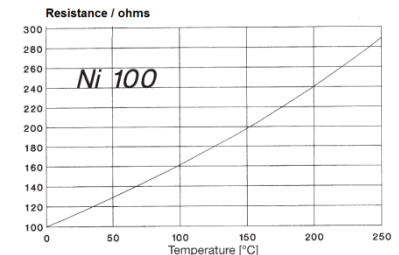
Platin-Chip-Temperatursensoren

- Bestehen im Prinzip aus einem Keramikträger auf dem eine dünne, strukturierte Platinschicht aufgebracht wurde
- Eine Glasschicht versiegelt die Platinschicht und schützt den Temperatursensor in begrenztem Maße
- Anschlussdrähte können mit allen üblichen Verbindungstechniken konfektioniert werden wie Weichlöten, Hartlöten, Crimpen, Widerstandsschweissen und Laserschweissen



Nickelwiderstände

- Einsatz in weitaus geringerem Umfang als Platin und fast doppelt so hoher Temperaturkoeffizient
- Messbereich von -60...250 °C
- Neben der Kennlinie nach DIN 43 760 (Ersatzlos zurückgezogen) existieren noch weitere herstellerspezifische Kennlinien am Markt – möglicherweise Problematisch bei Ersatzbeschaffung)
- Grenzabweichungen: $\Delta t = \pm(0,4 + 0,007 \cdot t)$ Für 0 bis 250 °C,
 $\Delta t = \pm(0,4 + 0,028 \cdot t)$ Für -60 bis 0 °C,
 $t = \text{Temperatur in } ^\circ\text{C (ohne Vorzeichen).}$
- Anwendung häufig in Heizungs-, Klima- und Lüftungsbau



Linearisierung

- Für den Eingang wird die Fühlerart “Widerstandsthermometer“ definiert
- Das Feldgerät prägt einen definierten Gleichstrom ein
- Aufgrund der abfallenden Spannung und Anwendung des Ohmschen Gesetzes, wird der Widerstand bestimmt
- Durch die Linearisierung “Pt100“, ermittelt das Gerät die zum Widerstandswert gehörende Temperatur





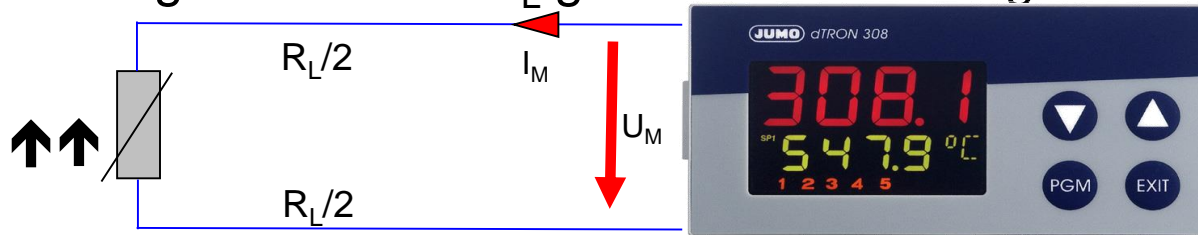
Widerstandsthermometer

Anschlussarten

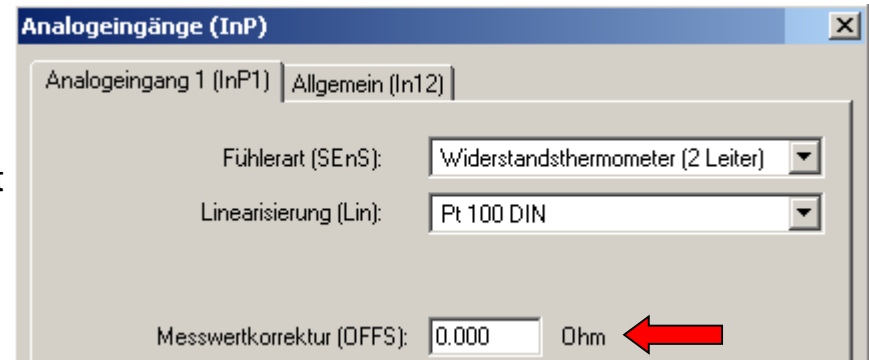


Zweileiteranschluss

- Der Leitungswiderstand R_L geht in das Messergebnis mit ein



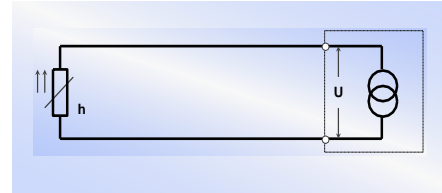
- Es wird eine zu hohe Temperatur gemessen
- Der Offset kann am Gerät oder mit dem Setupprogramm korrigiert werden
- Aber auch nach einem Nullpunktgleich nimmt der Leitungswiderstand bei wechselnder Umgebungstemperatur Einfluss auf das Messsignal



Zweileiteranschluss Pt100 – Beispiel und weitere Info

- Abweichung der Temperaturanzeige pro Meter Zuleitung

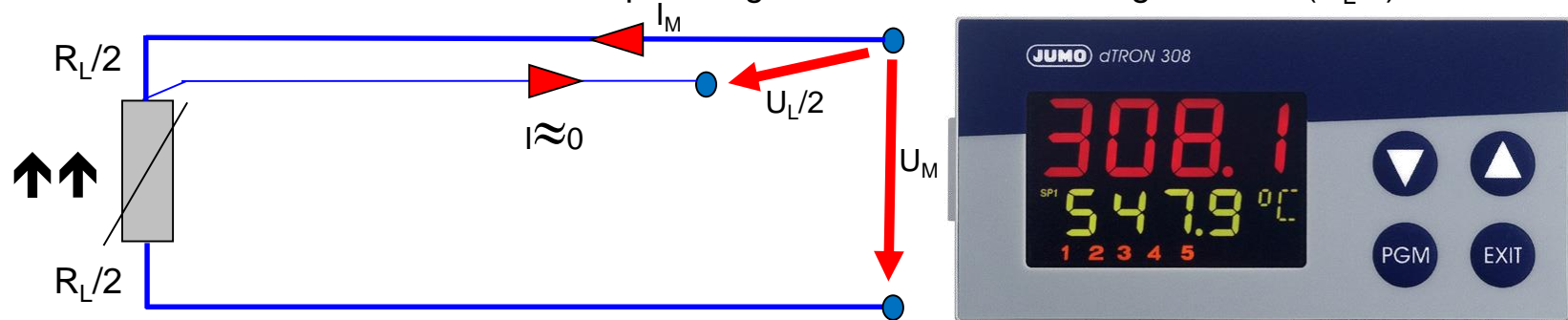
Querschnitt	R/l [mΩ/m]	ΔT [K]
0.14	253	0.66
0.22	161	0.41
0.34	104	0.27
0.5	71	0.18



- Beispiel: 20 m Zuleitung mit Querschnitt 0.22: Offset in der Anzeige bei Pt100/Pt1000: 8.2 / 0.82 K
- Auch die Leitungswiderstände im Widerstandsthermometer führen zu einer höheren Temperaturanzeige
- Deshalb alle Thermometer mit Genauigkeitsklasse besser als Klasse B, in 3 oder 4 Leiter ausführen (gemäß DIN EN 60 751)

Dreileiteranschluss

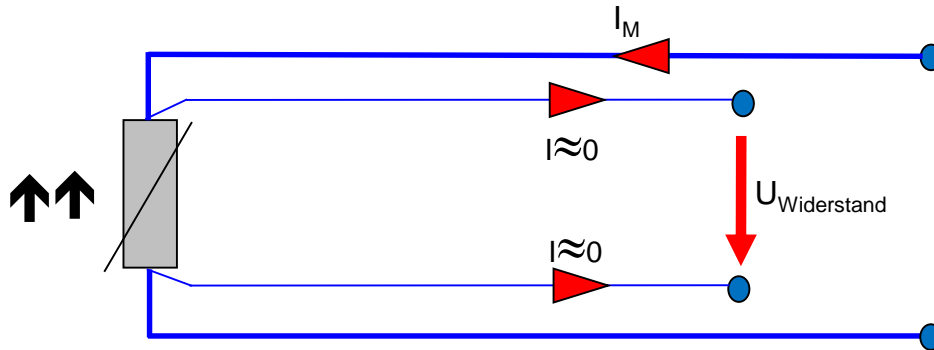
- Beim Dreileiteranschluss wird der Spannungsabfall an einem Leiter gemessen ($U_L/2$):



- Aufgrund des hohen Innenwiderstandes (Gerät) ist der Strom über den dritten Leiter ≈ 0
- Von der gemessenen Spannung U_M wird der doppelte Betrag von $U_L/2$ abgezogen
- Das Ergebnis ist der Spannungsabfall am Widerstandsthermometer
 - Der tatsächliche Widerstandswert wird ermittelt
- In der industriellen Messtechnik findet der Dreileiteranschluss am häufigsten Verwendung
- Voraussetzung für ein exaktes Ergebnis sind gleiche Widerstandswerte für die Leiter

Vierleiteranschluss

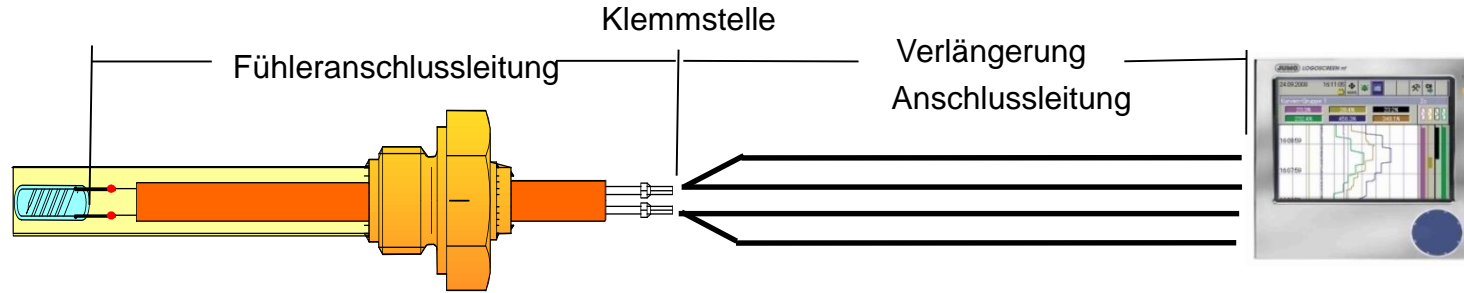
- Beim Vierleiteranschluss wird der Spannungsabfall direkt am Widerstandsthermometer bestimmt:



- Mit dem Spannungsabfall am Widerstandsthermometer und dem Messstrom, kann direkt der Widerstandswert ermittelt werden
- Die Widerstandswerte der Zuleitungen und der Klemmstellen können variieren
- Der Vierleiteranschluss bringt die kleinste Messungenauigkeit mit sich

Information zum Anschluss

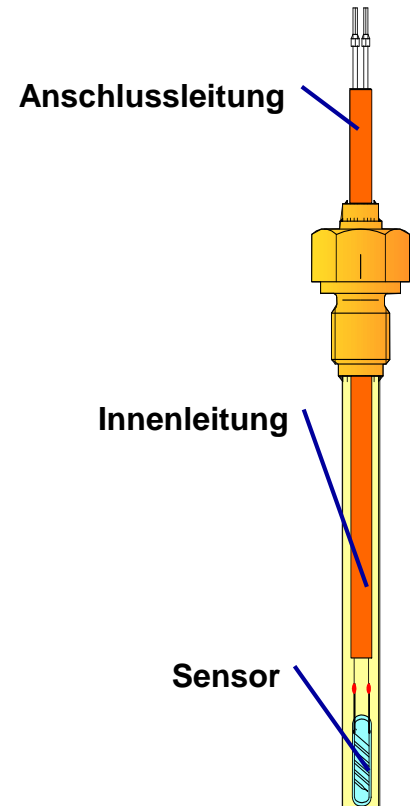
- Der Dreileiter-/ Vierleiteranschluss muss nicht generell bis zum Sensor erfolgen



- Beispiel: Die Fühleranschlussleitung besteht aus zwei Adern
- Die Verbindungsleitung Feldgerät - Temperaturfühler ist in Vierleiteranschluss ausgeführt
- Bis zur Klemmstelle entsteht kein Messfehler durch den Anschluss
- Die Fühleranschlussleitung ist nicht in die Kompensation mit einbezogen, der Einfluss ist jedoch relativ gering (kurze Leitungslänge und kleiner Temperaturkoeffizient)

Einfluss der Zuleitungen

- **Gesamtwiderstand besteht aus den Widerständen**
 - des Temperatursensors
 - der Innenleitung
 - der Anschlussleitung
- **Die Grundwertreihe gilt nur für den Temperatursensor**
 - Sensor einschließlich der Anschlussdrähte (10 bis 30 mm)
 - Grundwertreihe bezieht Innenleitung nicht mit ein
 - Toleranz bezieht sich auf Sensor
- **Bei Zweileiterschaltung**
 - Korrektur des Leitungswiderstandes, ansonsten systematisch höhere Temperaturanzeige

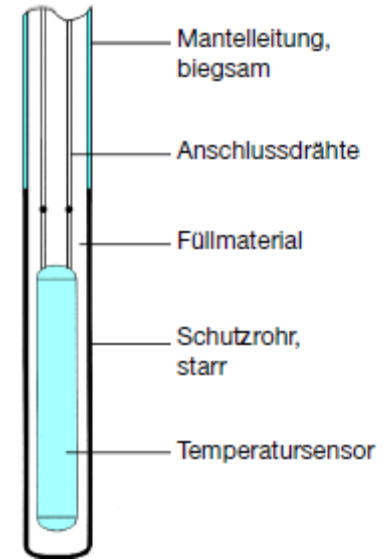




Ausführung von Widerstandsthermometern

Mantel-Widerstandsthermometer (902210)

- Basieren auf mineralisolierter Mantelleitung aus Edelstahl
- Innenleitungsdrähte aus Kupfer in gepresstem, feuerfestem Magnesiumoxid eingebettet
- Temperatursensor in Schutzrohr aus Edelstahl eingebaut
- Schutzrohr und Mantelleitung miteinander verschweißt
- Durchmesser bereits ab 1,9 mm
- kurze Ansprechzeiten ($t_{0,5}$ ab 1,2 s), hohe Messgenauigkeit
- Durch erschütterungsfesten Aufbau lange Lebenszeit
- Temperaturmessung an schwer zugänglichen Messstellen (kleinster Biegeradius: 5x äußerer Durchmesser)
- **Für Messungen von Temperaturen bis zu 600°C**



Widerstandsthermometer mit B-Kopf jeweils als Einschraub- und Einsteck-Wth.

- Ausführungen von Kopfthermometern für Messtemperaturen von bis zu 600°C



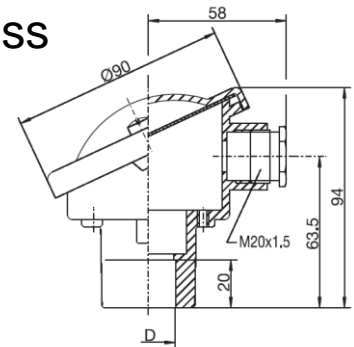
Einschraub- und Einsteckwiderstandsthermometer

- Einschraubthermometer bei Forderung nach druckdichtem Abschluss
- Platzierung meist direkt in Prozess, aber auch in Schutzhülse
- Einsteckthermometer, wenn kein druckdichter Abschluss notwendig
- Platzierung meist direkt in Prozess, aber auch in Schutzhülse (dann druckdicht durch Schutzhülse)
- Abbildungen Einschraub- und Einschweiss-schutzhülsen (lieferbar mit unterschiedlichen Innengewinden oder mit Innenbohrung)



B-Anschlussköpfe

- Die Köpfe sind genormt in der DIN EN 50446
- Vielzahl von Messumformern möglich
- Nennmaß des Durchmessers der Bohrung zur Aufnahme des Schutzrohres:
15 mm bzw. Gewinde M24 x 1,5
- Schutzart: IP65
- Form B mit der größten Verbreitung aus Aluminium-Druckguss
 - Form B 15 mit Bohrung 15 mm
 - Form B mit M24 x 1,5 Gewinde



Widerstandsthermometer mit B-Kopf Austauschbarer Messeinsatz (siehe TB 90.9727)

- Fertig konfektionierte Einheiten, bestehend aus Temperatursensor im Einsatzrohr und Anschlusssockel
- Widerstandsthermometer mit B Kopf (902020, 902120 und später erwähnte 902820) verfügen über einen austauschbaren Messeinsatz
- Als Einfach- oder Doppeleinsatz
- Ausführung in Zwei-, Drei-, oder Vierleiterschaltung
- Bodenplatte des Einsatzrohres stößt bündig auf Bodenplatte des Schutzrohres, durch Federn sichergestellt
- Mit Messumformer lieferbar

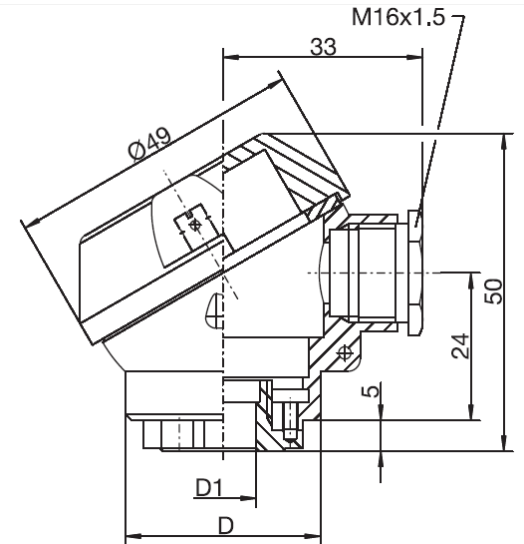


Aufbau von Widerstandsthermometern ohne Messeinsatz

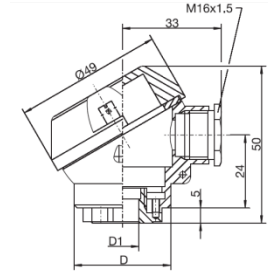
- Temperatursensor wird - eingebettet in Aluminiumoxid oder Wärmeleitpaste - direkt ins Schutzrohr eingebracht
- Nach Einbau wird der Anschlusssockel im Anschlusskopf montiert und die Zuleitung verlötet
- Späterer Austausch des Sensors ist nicht mehr möglich

Widerstandsthermometer mit J-Kopf

- Einschraub- und Einsteck-Wth (902030 und 902130)
- Schutzart IP65
- Ausführung mit Messumformer (dTRANS T03 J)



Messumformer für J-Anschlusskopf (707030)



dTRANS T03 J

- Zweidrahtmessumformer (4...20 mA)
- Anschluss von Widerstandsthermometern in Zweileitertechnik

Widerstandsthermometer mit Anschlussleitung

- Verzicht auf Messeinsatz und Anschlusskopf
- Temperatursensor direkt mit Anschlussleitung verbunden und in das Schutzrohr eingesetzt
- Zur Zugentlastung wird das Schutzrohr am Ende z.T. mehrfach eingerollt oder gedrückt
- Maximale Messtemperatur ergibt sich in erster Linie durch die Temperaturbeständigkeit des Mantel- und Isoliermaterials der Anschlussleitung
- JUMO liefert Kabelfühler für die Messung von bis zu 400°C

Widerstandsthermometer mit Anschlussleitung



PVC -5...80° C
grau

TPE-U -40...90° C
lichtgrau

Silikon -50...180° C
rotbraun

PTFE -190...260° C
weiß

Glasseide (umflochten
mit Edelstahl)
-50...400° C

Ausführungen Widerstandsthermometer

- Einsteck-Wth. mit Anschlussltg. für die Solarthermie (902153)



Widerstandsthermometer für Wärmezähler HEATtemp

- Einschraub-Wth mit Anschlusskopf für Direkteinbau (902424)
- Einschraub.Wth mit Anschlussleitung für Direkteinbau (902425)
- Einsteck-Wth mit Anschlusskopf für Tauchhülse (902434)
- Einsteck-Wth mit Anschlussleitung für Tauchhülse (902435)



Ausführungen Widerstandsthermometer

- Raum-, Außen- und Kanalfühler (902520)
- Anlege-Widerstandsthermometer (902550)
- Anlege-Widerstandsthermometer (902550) in Ausführung für die Rohrmontage





"Mehr" als Widerstandsthermometer

Sender für Wtrans-System



- Sender T01.Gx: Einsatz für Umgebungstemperatur bis 85°C
- Sender T02.Gx: Einsatz für Umgebungstemperatur bis 125°C
- Sender T02.Gx: Einsatz im Ex-Bereich

- Versionen mit geradem Schutzrohr oder als Mantel-WTH:
wTRANS-Sender T0x.G1
- Version mit M12-Steckeranschluss:
wTRANS-Sender T0x.G2

- Empfänger wTRANS-System für bis zu 16 Sender

Für das wTRANS-System sind weiterhin Sender für die Messgrößen Druck, Feuchte und CO₂ lieferbar

Sender zur Messung von T, rF und CO₂





Danke für Ihre Aufmerksamkeit.



Herzlich Willkommen

Informationen zu elektrischen Thermometern





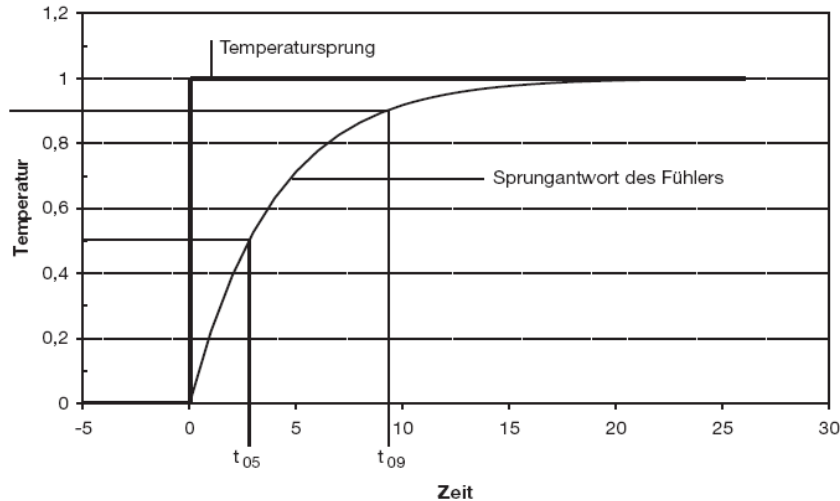
Übergangsfunktion

Übergangsfunktion

- Abhängigkeit des Ansprechverhalten in erster Linie vom thermischen Widerstand und vom thermischen Speichervermögen
- Erreichung kurzer Ansprechzeiten durch kleine Temperaturfühler und gut wärmeleitende Materialien (Kupfer und Eisen sind vergleichsweise gut wärmeleitend, Edelstahl und Keramik dagegen nicht)
- Überbrückung von Luftspalten zwischen Schutzrohr und Messeinsatz durch Wärmeleitpaste und Metalloxidpulver
- Verwendung möglichst dünnwandiger Schutzrohre (soweit mechanisch zulässig)
- Übergangsfunktion wird infolge eines Temperatursprungs aufgenommen
- Nach DIN EN 60751 und VDI 3522 werden zum Vergleich folgende Messbedingungen empfohlen: Wasser, $(0,4 \pm 0.05 \text{ m/s})$ und Luft $(3,0 \pm 0.3 \text{ m/s})$

Übergangsfunktion

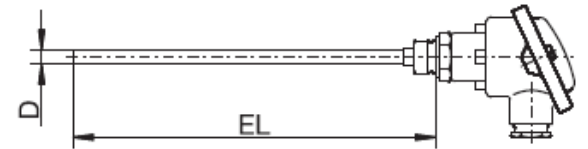
- Vorgabe eines Temperatursprunges
- Nach der Zeit t_{05} liegen 50% der Änderung am Sensor vor
- Nach der Zeit t_{09} liegen 90% der Änderung am Sensor vor



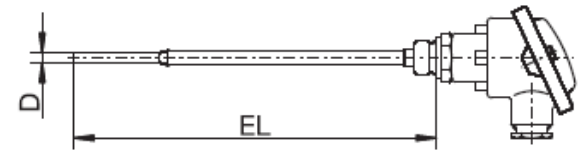
Abgesetztes Schutzrohr

- Zur Verbesserung der Ansprechgeschwindigkeit existieren viele Thermometerausführungen mit abgesetztem Schutzrohr. Beispiel:
Etemp B

902023/10
JUMO Etemp B
Einschraub-Widerstandsthermometer
mit Anschlusskopf Form B
und durchgehendem Schutzrohr



902023/11
JUMO Etemp B
Einschraub-Widerstandsthermometer
mit Anschlusskopf Form B
und abgesetztem Schutzrohr
(bei \varnothing 6 mm auf \varnothing 3,8 mm/bei \varnothing 8 mm auf \varnothing 6 mm)

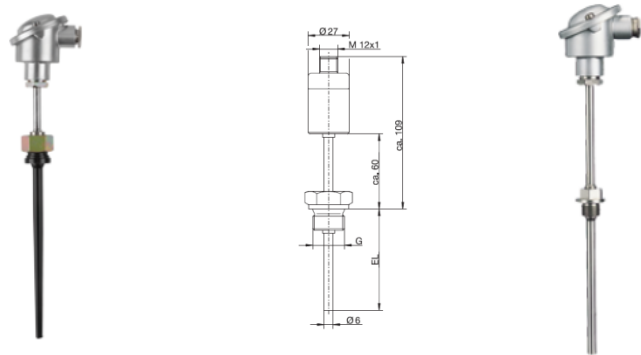


Ansprechzeiten verschiedener Ausführungsformen

Thermometerart	Durchmesser	Luft 1,0 m/s		Wasser 0,4 m/s	
		t _{0,5/s}	t _{0,9/s}	t _{0,5/s}	t _{0,9/s}
Messeinsatz mit Thermoelement nach DIN 43735	6mm	40 - 60	150 - 180	0,3 - 0,8	1,0 - 1,5
	8mm	45 - 70	160 - 200	0,4 - 1,0	2,0 - 5,0
im Schutzrohr nach DIN 43772 Form 2	9mm	80 - 100	280 - 350	6 - 8	25 - 40
Form 3	11mm	100 - 120	320 - 400	7 - 9	30 - 50
Form 4	24mm	320 - 400	900 - 1200	10 - 20	60 - 120
mit keramischem Schutzrohr nach DIN 43724	11mm	100 - 150	320 - 500		
	15mm	180 - 300	500 - 800		
Mantelthermoelement Messstelle isoliert	3mm	20 - 25	70 - 90	0,4 - 0,6	1,0 - 1,2
Mantelthermoelement Messstelle isoliert	1,5mm	8 - 12	28 - 40	0,11 - 0,18	0,35 - 0,5

Elektrische Thermometer mit Halsrohr

- Schutz des Thermometerkopfes vor zu großer Hitze (Schutz der Anschlussleitung und der Messumformer)
- Verwendung bei Einsatz von Dämmung (Oberseite des Kopfes ragt aus Dämmung heraus)

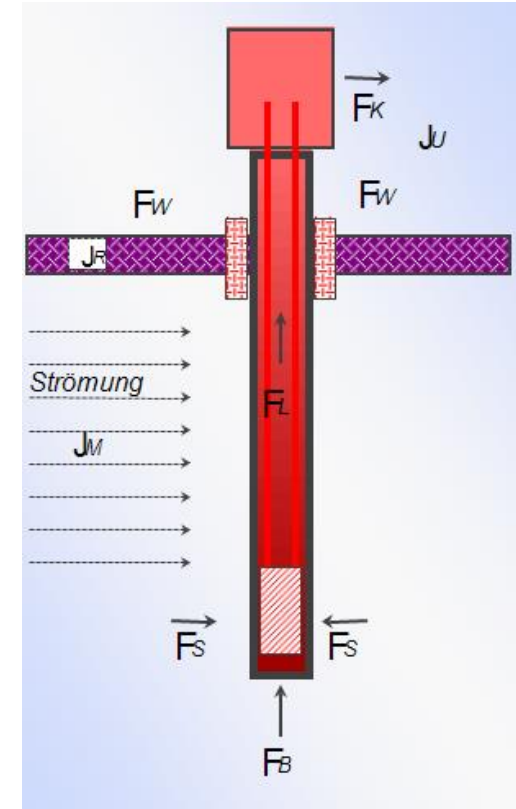




Wärmeableitfehler

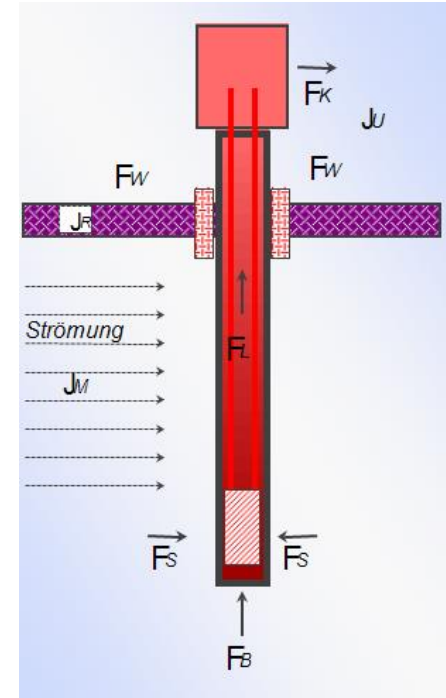
Wärmeableitfehler

- Sensor ist einer niedrigeren Temperatur ausgesetzt als Mediumstemperatur
- Wärmestrom in Thermometer und Abkühlung/Erwärmung des Sensors



Wärmeableitfehler, Abhängigkeit

- Messmedium (wärmetechnische Eigenschaften und Strömungsgeschwindigkeit)
- Temperaturunterschied Messmedium – Umgebungstemperatur
- Eintauchtiefe Temperaturfühler in Messmedium
- Verwendung einer Tauchhülse
- Konstruktion des Temperaturfühlers (Material Schutzrohr, Füllmaterial, Sensorgröße, Innenleiter-Querschnitt und elektrische Kontaktierung Sensor)



Kein Wärmeableitfehler bei Raumfühlern





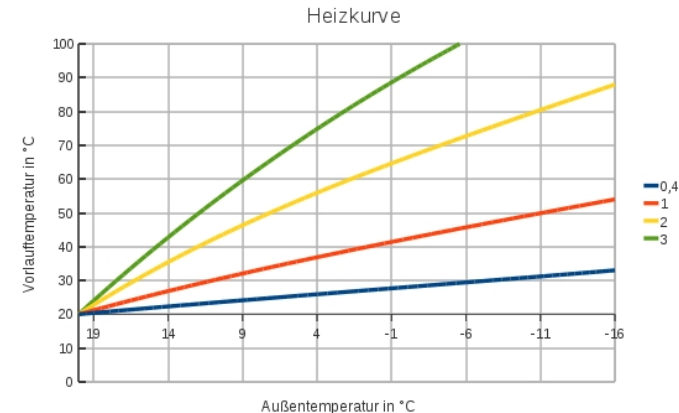
Hinweise zur Platzierung der Temperaturfühler

Hinweise zur Platzierung der Temperaturfühler

- Repräsentativen Messplatz wählen
 - Beispiel: Fühler im Bereich des Fensters - Raum wird überheizt
- Insbesondere bei Belüftungsanlagen: Fühler nicht im Bereich der Tür platzieren (gegenseitige Beeinflussung der Regelkreise)
- Bei Luftheizungen Fühler nicht im Bereich des Luftauslasses platzieren (Im Winter - Raum zu kalt; Im Sommer – Raum zu warm)
- Für eine angenehme Raumtemperatur muss in jedem Raum ein Temperaturfühler und für jeden Raum ein Stellventil für den Heizkreis vorhanden sein

Hinweise zur Regelung – Die Heizkurve

- Heizkurve zum Energiesparen und für eine konstante Temperatur im Raum
- Bei zu hoher Vorlauftemperatur höherer Energieverbrauch
- Weiterhin bei Fußbodenheizung:
 - Fußboden wird bis zum Schließen des Stellventiles auf zu hohe Temperatur gebracht
 - Als Folge wird der Raum überheizt und es entstehen große Temperaturschwankungen





Messumformer

Messumformer für B-Anschlussköpfe



dTRANS T01

- Zweidrahtmessumformer (4...20 mA)
- Anschluss Widerstandsthermometer und Thermoelementen
- Ex-Ausführung
- Version mit HART-Schnittstelle



dTRANS T03 B

- Versionen als Zwei- oder Dreidrahtmessumformer
- Anschluss Widerstandsthermometer
- Zur Konfiguration wird das PC-Interface USB/ SPI-Umsetzer verwendet (nicht PC-Interface USB-TTL-Umsetzer)



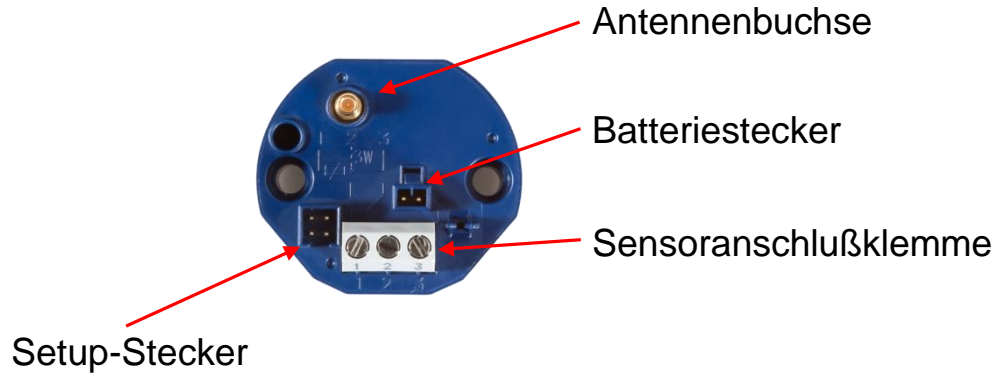
dTRANS T05 B

- Zweidrahtmessumformer
- Anschluss Widerstandsthermometern und Thermoelementen



Messumformer für B-Anschlussköpfe

Kurzübersicht



Wtrans B

- Funkmessumformer
- Anschluss Widerstandsthermometern und Thermoelementen
- Max. 16 Funkmessumformer senden Temperaturmesswerte zu einer Empfangseinheit

Empfänger wTRANS-System für bis zu 16 Sender:

Für das wTRANS-System sind weiterhin Sender für die Messgrößen Druck, Feuchte und CO₂ lieferbar





Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

