

Kamstrups Handbuch über

Temperaturfühler für
Wärme- und Kältezähler



Temperaturfühler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Widerstandstemperaturfühler	6
2.1	Der Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem elektrischem Widerstand	6
2.2	Messverfahren und Temperaturfühlerbauformen.....	7
2.2.1	2-Leiter-Temperaturmessung	7
2.2.2	4-Leiter-Temperaturmessung	8
2.3	Arten von Widerstandselementen	9
2.4	Widerstandstabellen	10
3	Temperaturfühler für Wärme- und Kältezähler	11
3.1	2-Leiter-Temperaturfühler	11
3.1.1	Kurzer direkt eintauchender Temperaturfühler	12
3.1.2	Tauchhülsenfühler	13
3.2	4-Leiter-Temperaturfühler	14
3.2.1	ø5,8 mm Tauchhülsenfühler mit Anschlusskopf	15
3.2.2	ø6 mm Tauchhülsenfühler mit Anschlusskopf	16
4	Terminologie für Temperaturfühler in der Energiemessung	17
4.1	Reaktionszeit	17
4.2	Wärmeableitfehler	19
4.3	Qualifizierende Eintauchtiefe	20
5	Gesetzliche Anforderungen an im Handel erhältliche Temperaturfühler	21
5.1	Bauartzulassung	21
5.2	Messung und Eichung	23
5.3	Anforderungen an ein Temperaturfühlerpaar	24
5.4	Anforderungen an Temperaturfühlerkabel	25
5.5	Kennzeichnung von Temperaturfühlern und Tauchhülsen	26
6	Installation von Temperaturfühlern	28
6.1	Symmetrische Installation	28
6.2	Einbaulänge	29
6.3	Installation in großen Rohren	30
6.4	Weitere Installationsbedingungen, die sich auf die Temperaturmessung auswirken	31
6.5	Installationen mit hohen Durchflussgeschwindigkeiten und/oder einer Kombination aus hohem Druck und hoher Temperatur	32
6.6	Plombieren von Temperaturfühlern	32

Temperaturfühler

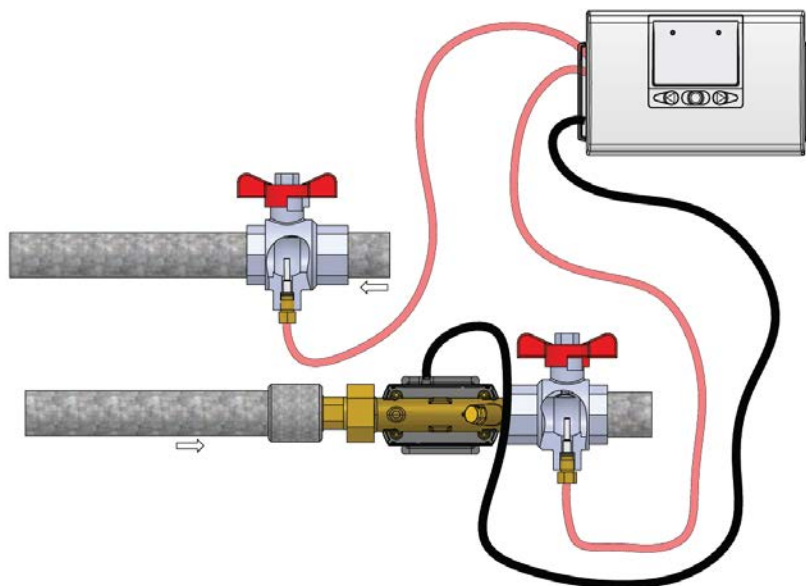
7	Zubehörteile für die Installation von Temperaturfühlern.....	34
7.1	Kugelhahn.....	34
7.2	Rohrstück (Nippel).....	34
7.3	T-Stück mit M10x1-Gewinde.....	35
7.4	11 mm Adapter für DS 38 mm Temperaturfühler.....	35
8	Anwendung von Temperaturfühlern für Kältezähler	37
8.1	Genauere Messung der Vorlauftemperatur	37
8.2	Kondensationsprobleme.....	38
9	Referenzen.....	40

1 Einleitung

Wenn mit einem Wärme- oder Kältezähler die verbrauchte Energie berechnet werden soll, muss die Temperaturdifferenz zwischen den Rohrleitungen für Vorlauf und Rücklauf gemessen werden. Die Temperaturdifferenz wird mit zwei Temperaturfühlern gemessen, und deshalb sind Temperaturfühler ein wesentlicher Bestandteil eines Wärme- oder Kältezählers. Folgerichtig werden an Temperaturfühler für Wärme- und Kältezähler eine Reihe von Anforderungen gestellt, einschließlich der Bauartzulassung, der Eichung und der ordnungsgemäßen Installation.

Dieses Handbuch bietet eine Einführung in die wichtigsten Themen über Temperaturfühler für Wärme- und Kältezähler. Nach einer Einführung in Widerstandstemperaturfühler werden in diesem Handbuch unter anderem Themen wie gebräuchliche Temperaturfühlertypen, die gesetzlichen Anforderungen an Temperaturfühler, die Installation von Temperaturfühlern und die besonderen Betriebsbedingungen für Temperaturfühler für Kältezähler behandelt.

Durch die Normung im Rahmen der EN 1434 [1] wird der Begriff „thermische Energiezähler“ zunehmend als allgemeiner Begriff sowohl für Wärme- als auch Kältezähler verwendet. Da die Begriffe „Wärmezähler“ und „Kältezähler“ weiterhin weit verbreitet sind, verwendet dieses Handbuch den Begriff „Wärme- und Kältezähler“ als einheitlichen Begriff anstelle von „thermischer Energiezähler“.



2 Widerstandstemperaturfühler

In diesem Kapitel wird die Grundlage für die Verwendung von Widerstandstemperaturfühlern erläutert, einschließlich des Zusammenhangs zwischen Temperatur und Widerstand, den Messverfahren, den Temperaturfühlerbauformen und der verwendeten Widerstände. Dieses Kapitel enthält auch Widerstandstabellen für Pt100- und Pt500-Temperaturfühler.

2.1 Der Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem elektrischem Widerstand

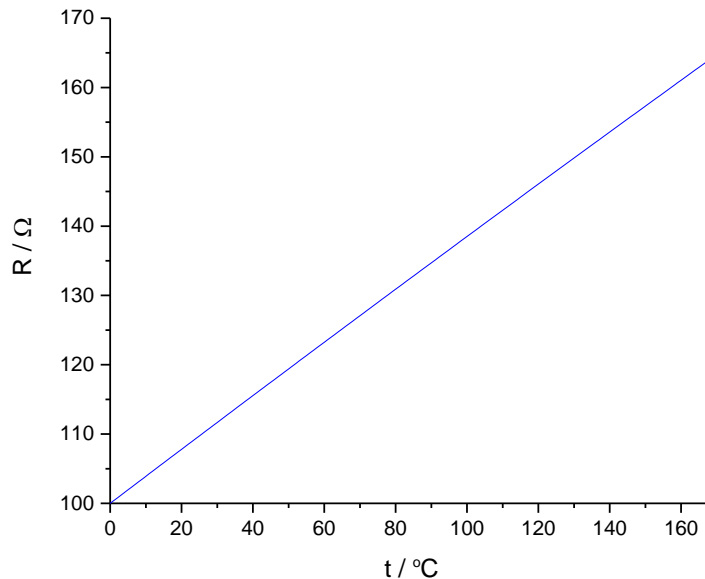


Abb. 1: Der Zusammenhang zwischen Temperatur, t , und Widerstand, R , eines Pt100-Widerstandstemperaturfühlers aus Platin, der bei 0 °C einen Widerstand von 100 Ω aufweist

Ein Widerstandstemperaturfühler aus Platin nutzt den eindeutig definierten Zusammenhang zwischen dem elektrischen Widerstand und der Temperatur beim Edelmetall Platin aus. Ein Beispiel hierfür ist in Abb. 1 dargestellt. Auf dieser Grundlage wurde eine internationale Norm, EN 60751 (DIN/IEC 751) [2], etabliert, die den Zusammenhang zwischen dem Widerstand R_t und der Temperatur t durch

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

definiert, wobei R_0 den Widerstand bei 0 °C angibt, während A und B Konstanten sind.

Die Temperatur t kann dann durch die folgende Gleichung bestimmt werden:

$$t = \frac{-R_0A + \sqrt{(R_0A)^2 - 4R_0B(R_0 - R_t)}}{2R_0B}$$

Der Nennwiderstand ist der zu erwartende Widerstand bei 0 °C. Die gebräuchlichsten Nennwiderstände für Wärme- und Kältezähler sind 100 Ω, 500 Ω und 1000 Ω. Auf Grund des Nennwiderstands und dem verwendeten Metall werden Widerstandstemperaturfühler mit Pt abgekürzt. Widerstandstemperaturfühler aus Platin mit Nennwiderständen von 100 Ω, 500 Ω und 1000 Ω werden folglich als Pt100, Pt500 bzw. Pt1000 bezeichnet.

Für einen idealen Pt100-Temperaturfühler gilt $R_0 = 100,00 \Omega$, $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ und $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$. Tabellen mit Beispielen für den Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand idealer Pt100- und Pt500-Temperaturfühler finden Sie in Abschnitt 2.4. Die genauen wahren Werte R_0 , A und B eines Temperaturfühlers variieren für jeden einzelnen Temperaturfühler und werden somit im Rahmen der gesetzlichen vorgeschriebenen Eichung eines Temperaturfühlers für einen Wärme- und Kältezähler bestimmt, siehe Abschnitt 5.2.

2.2 Messverfahren und Temperaturfühlerbauformen

In der Praxis wird bei einem Widerstandstemperturfühler ein kleiner Konstantstrom durch den Widerstand geschickt und anschließend der Spannungsabfall U gemessen. Die Größe des Platinwiderstands R kann dann unter Anwendung des Ohmschen Gesetz bestimmt werden:

$$R = \frac{U}{I}$$

Dies ist in *Abb. 2* dargestellt.

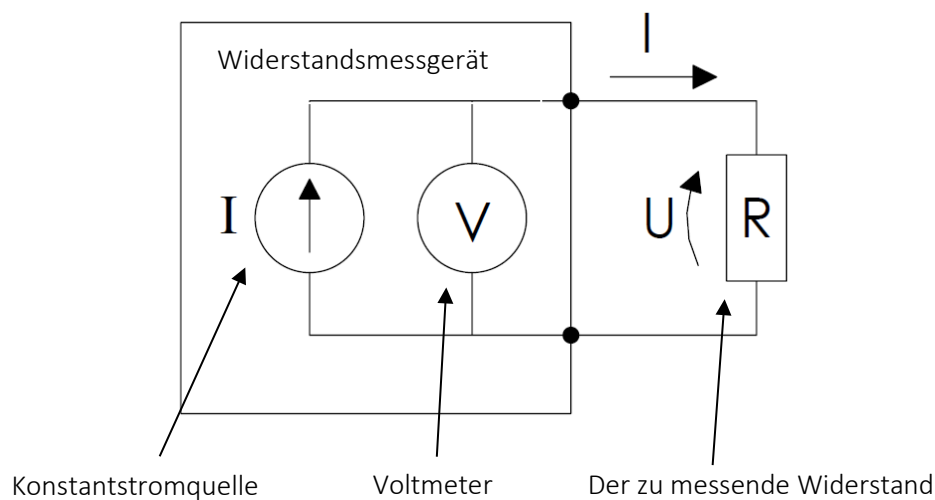


Abb. 2: Messung eines Widerstandswerts mit einer Konstantstromquelle und einem Voltmeter.

2.2.1 2-Leiter-Temperaturmessung

Wie in *Abb. 3* gezeigt wird, ist ein 2-Leiter-Temperaturfühler dadurch gekennzeichnet, dass vom Platinwiderstand zwei Leitungen zur Konstantstromquelle und zur Messung des Spannungsabfalls geführt werden. Daher gilt für einen 2-Leiter-Temperaturfühler, dass der Widerstand der elektrischen Leitungen zum gemessenen Widerstand beiträgt, da diese in Reihenschaltung mit dem Platinwiderstand stehen. Der gemessene Widerstand R_m beträgt somit

$$R_m = R + 2 \cdot R_w$$

wobei R_w der Widerstand des Einzeldrahts ist.

Temperaturfühler

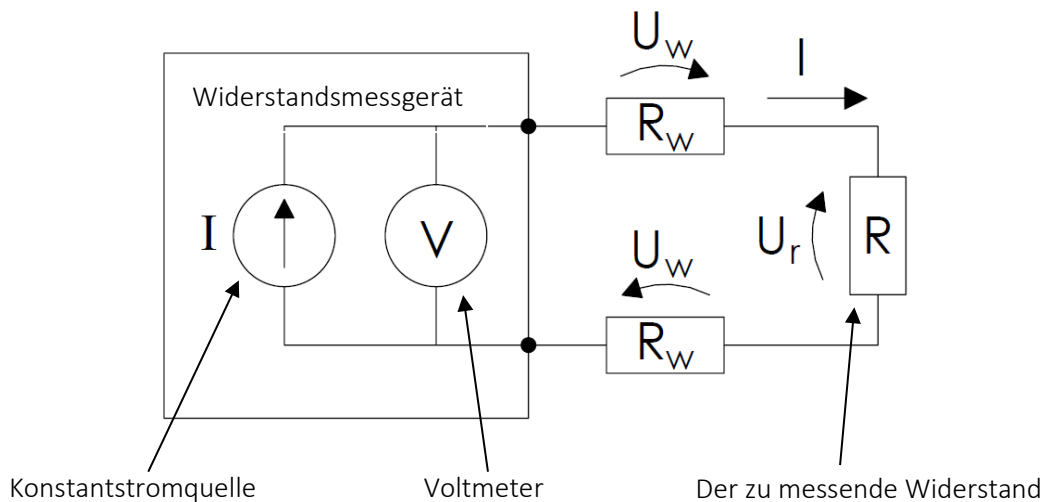


Abb. 3: Einfluss der Kabel auf den gemessenen Widerstandswert.

Da man häufig die Temperaturdifferenz zwischen zwei Temperaturfühlern mit hoher Genauigkeit bestimmen möchten, kann man den Einfluss der Kabel kompensieren, indem man voraussetzt, dass alle Kabel gleich lang sind, siehe Abschnitt 5.4.

2.2.2 4-Leiter-Temperaturmessung

Bei einem 4-Leiter-Temperaturfühler werden 4 Leitungen zum Platinwiderstand geführt, wobei 2 Leitungen an die Stromquelle und 2 Leitungen an die Messung des Spannungsabfalls angeschlossen sind, siehe Abb. 4. Mit einem hochohmigen Voltmeter wird der Spannungsabfall U über dem Platinwiderstand gemessen. Da der Strom unverändert I ist, kann der Platinwiderstand R bestimmt werden durch:

$$R = \frac{U_r}{I}$$

Dadurch wird nur der Widerstand des Temperaturfühlers gemessen, und die Temperaturmessung ist vom Widerstand der elektrischen Leitungen unabhängig.

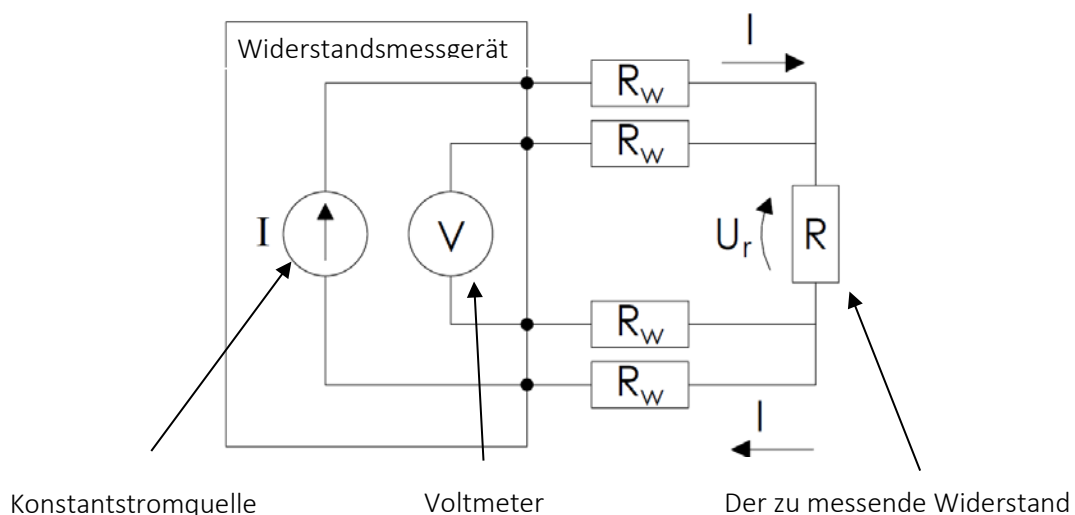


Abb. 4: Messung des Widerstandswertes nach dem 4-Leiterprinzip, bei dem die Kabel die Widerstandsmessung nicht beeinflussen.

2.3 Arten von Widerstandselementen

Für die Temperaturfühler für Wärme- und Kältezähler werden am häufigsten Dünnschichtwiderstände verwendet. Dies liegt unter anderem daran, dass Dünnschichtwiderstände kostengünstig herzustellen sind, wenig Platz benötigen und sehr schnell auf Temperaturänderungen reagieren. Die häufigste Lösung ist ein Dünnschichtwiderstand, der auf eine Platine (PCB) montiert ist. Beispiele für diese Lösungen finden Sie in *Abb. 5*. Diese Lösung hat mehrere Vorteile. Erstens kann sie in Serie hergestellt werden, wodurch die Kosten gesenkt werden. Zweitens werden auf derselben Platine zwei Lötunkte platziert, auf denen die zwei Drähte für einen 2-Leiter-Temperaturfühler direkt gelötet werden können. Damit ist die Herstellung von 2-Leiter-Temperaturfühlern sehr effizient durchführbar. Dünnschichtwiderstände, die auf einer Platine montiert sind, können in der Regel bis zu einer Temperatur von 150 °C verwendet werden, was für die meisten Anlagen ausreichend ist.

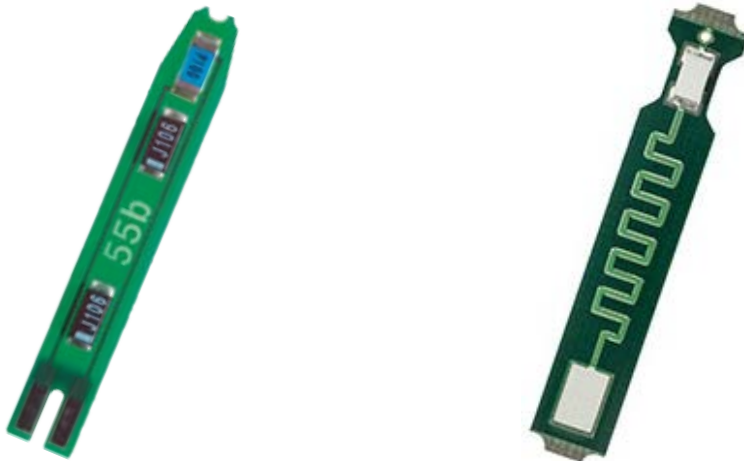


Abb. 5: Dünnschichtwiderstände, die auf einer Platine (PCB) montiert sind [3,4].

Wenn der Temperaturfühler bei einer höheren Temperatur verwendet werden soll, z. B. 180 °C, werden Dünnschichtwiderstände verwendet, die auf einem Keramikelement montiert sind, siehe *Abb. 6*.



Abb. 6: Dünnschichtwiderstände, die auf einem Keramikelement montiert sind [4,5].

Temperaturfühler

2.4 Widerstandstabellen

Pt100										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,000	100,391	100,781	101,172	101,562	101,953	102,343	102,733	103,123	103,513
10	103,903	104,292	104,682	105,071	105,460	105,849	106,238	106,627	107,016	107,405
20	107,794	108,182	108,570	108,959	109,347	109,735	110,123	110,510	110,898	111,286
30	111,673	112,060	112,447	112,835	113,221	113,608	113,995	114,382	114,768	115,155
40	115,541	115,927	116,313	116,699	117,085	117,470	117,856	118,241	118,627	119,012
50	119,397	119,782	120,167	120,552	120,936	121,321	121,705	122,090	122,474	122,858
60	123,242	123,626	124,009	124,393	124,777	125,160	125,543	125,926	126,309	126,692
70	127,075	127,458	127,840	128,223	128,605	128,987	129,370	129,752	130,133	130,515
80	130,897	131,278	131,660	132,041	132,422	132,803	133,184	133,565	133,946	134,326
90	134,707	135,087	135,468	135,848	136,228	136,608	136,987	137,367	137,747	138,126
100	138,506	138,885	139,264	139,643	140,022	140,400	140,779	141,158	141,536	141,914
110	142,293	142,671	143,049	143,426	143,804	144,182	144,559	144,937	145,314	145,691
120	146,068	146,445	146,822	147,198	147,575	147,951	148,328	148,704	149,080	149,456
130	149,832	150,208	150,583	150,959	151,334	151,710	152,085	152,460	152,835	153,210
140	153,584	153,959	154,333	154,708	155,082	155,456	155,830	156,204	156,578	156,952
150	157,325	157,699	158,072	158,445	158,818	159,191	159,564	159,937	160,309	160,682
160	161,054	161,427	161,799	162,171	162,543	162,915	163,286	163,658	164,030	164,401
170	164,772	165,143	165,514	165,885	166,256	166,627	166,997	167,368	167,738	168,108
180	168,478	168,848	169,218	169,588	169,958	170,327	-	-	-	-

Tabelle 1: Pt100, IEC 751 Amendment 2-1995-07

Pt500										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	500,000	501,954	503,907	505,860	507,812	509,764	511,715	513,665	515,615	517,564
10	519,513	521,461	523,408	525,355	527,302	529,247	531,192	533,137	535,081	537,025
20	538,968	540,910	542,852	544,793	546,733	548,673	550,613	552,552	554,490	556,428
30	558,365	560,301	562,237	564,173	566,107	568,042	569,975	571,908	573,841	575,773
40	577,704	579,635	581,565	583,495	585,424	587,352	589,280	591,207	593,134	595,060
50	596,986	598,911	600,835	602,759	604,682	606,605	608,527	610,448	612,369	614,290
60	616,210	618,129	620,047	621,965	623,883	625,800	627,716	629,632	631,547	633,462
70	635,376	637,289	639,202	641,114	643,026	644,937	646,848	648,758	650,667	652,576
80	654,484	656,392	658,299	660,205	662,111	664,017	665,921	667,826	669,729	671,632
90	673,535	675,437	677,338	679,239	681,139	683,038	684,937	686,836	688,734	690,631
100	692,528	694,424	696,319	698,214	700,108	702,002	703,896	705,788	707,680	709,572
110	711,463	713,353	715,243	717,132	719,021	720,909	722,796	724,683	726,569	728,455
120	730,340	732,225	734,109	735,992	737,875	739,757	741,639	743,520	745,400	747,280
130	749,160	751,038	752,917	754,794	756,671	758,548	760,424	762,299	764,174	766,048
140	767,922	769,795	771,667	773,539	775,410	777,281	779,151	781,020	782,889	784,758
150	786,626	788,493	790,360	792,226	794,091	795,956	797,820	799,684	801,547	803,410
160	805,272	807,133	808,994	810,855	812,714	814,574	816,432	818,290	820,148	822,004
170	823,861	825,716	827,571	829,426	831,280	833,133	834,986	836,838	838,690	840,541
180	842,392	844,241	846,091	847,940	849,788	851,635	-	-	-	-

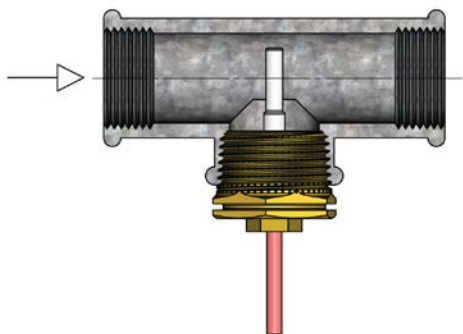
Tabelle 2: Pt500, IEC 751 Amendment 2-1995-07

3 Temperaturfühler für Wärme- und Kältezähler

In diesem Kapitel werden die am häufigsten verwendeten Temperaturfühler für Wärme- und Kältezähler beschrieben. In der Praxis wird eine große Vielfalt von Temperaturfühlern für Wärme- und Kältezähler verwendet, und die Auswahl des Temperaturfühlers hängt in der Regel von der Anlage ab, in die der Wärme- oder Kältezähler installiert werden soll. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen einem direkt eintauchenden Temperaturfühler, der einen direkten Kontakt mit der strömenden Flüssigkeit hat, und einem Tauchhülsenfühler, bei dem eine Tauchhülse, die typischerweise aus Edelstahl gefertigt wurde, in die strömende Flüssigkeit eingetaucht wird und der Temperaturfühler anschließend in der Tauchhülse montiert wird.

Abbildung 7 zeigt einen direkt eintauchenden Temperaturfühler und einen Tauchhülsenfühler. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist dieses Kapitel in einen Abschnitt über die am häufigsten verwendeten 2-Leiter-Temperaturfühler und einen Abschnitt über 4-Leiter-Temperaturfühler unterteilt.

Direkt eintauchender Temperaturfühler



Tauchhülsenfühler

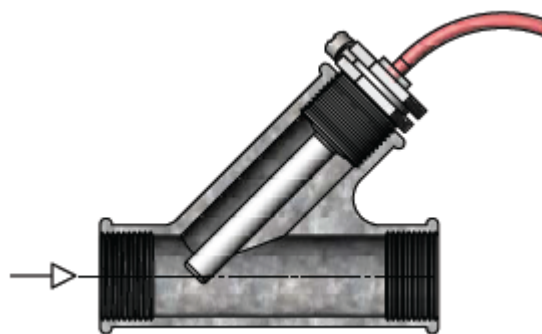


Abb. 7: Abbildung eines direkt eintauchenden Temperaturfühlers und eines Tauchhülsenfühlers.

3.1 2-Leiter-Temperaturfühler

Im Vergleich zu 4-Leiter-Temperaturfühlern werden 2-Leiter-Temperaturfühler bei Wärme- und Kältezählern mit Abstand am häufigsten verwendet. Dies liegt am niedrigeren Preis für einen 2-Leiter-Temperaturfühler und das damit verbundene 2-Leiter-Rechenwerk. Da ein 2-Leiter-Temperaturfühlerpaar gleich lange Kabel haben muss, siehe Abschnitt 5.4, wird ein 2-Leiter-Temperaturfühler in der Regel werkseitig im Rechenwerk montiert, während ein 4-Leiter-Temperaturfühler davon abweichend in der Regel erst bei der Montage des Wärme- oder Kältefühlers an das Rechenwerk angeschlossen wird. Im folgenden Abschnitt werden die häufigsten Typen von 2-Leiter-Temperaturfühlern beschrieben.

Temperaturfühler

3.1.1 Kurzer direkt eintauchender Temperaturfühler

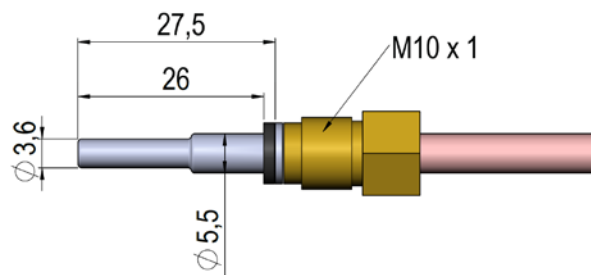


Abb. 8: Kurzer direkt eintauchender DS 27,5 mm Temperaturfühler

Der kurze direkt eintauchende Temperaturfühler wurde gemäß dem europäischen Standard für Wärmezähler EN 1434-2 [1] entwickelt. Die häufigste Variante hat eine Eintauchtiefe von 27,5 mm und wird deshalb DS 27,5 mm genannt, wobei DS die Abkürzung für „Direct short“ ist. Ebenso ist eine Variante für 38 mm Eintauchtiefe mit der Bezeichnung DS 38 mm erhältlich. Der DS 27,5 mm Temperaturfühler ist in *Abb. 8* dargestellt. Die Anwendungsmöglichkeiten für DS 27,5 mm und DS 38 mm Temperaturfühler sind in *Tabelle 3* aufgeführt. Der kurze direkt eintauchende Temperaturfühler zeichnet sich durch eine sehr kurze Reaktionszeit aus, siehe Abschnitt 4.1, da die Spitze des Temperaturfühlers einen relativ kleinen Durchmesser von 3,6 mm hat und ein direkter Kontakt zur strömenden Flüssigkeit besteht. Deshalb ist er der bevorzugte Temperaturfühler für Wärme- und Kältezähler, die in DN 15 bis DN 40-Anlagen verwendet werden. Insbesondere bei Zählern, die in Fernwärmeeinheiten installiert sind, hat die Auswahl eines kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlers einen großen Einfluss auf die genaue Energiemessung aufgrund der schnellen Temperaturänderungen durch einen Fernwärmetauscher.

DN	DS 27,5 mm	DS 38 mm
15	X	
20	X	
25	X	
32		X
40		X

Tabelle 3: Anwendungsmöglichkeiten für DS 27,5 mm und DS 38 mm Temperaturfühler .

3.1.2 Tauchhülsenfühler

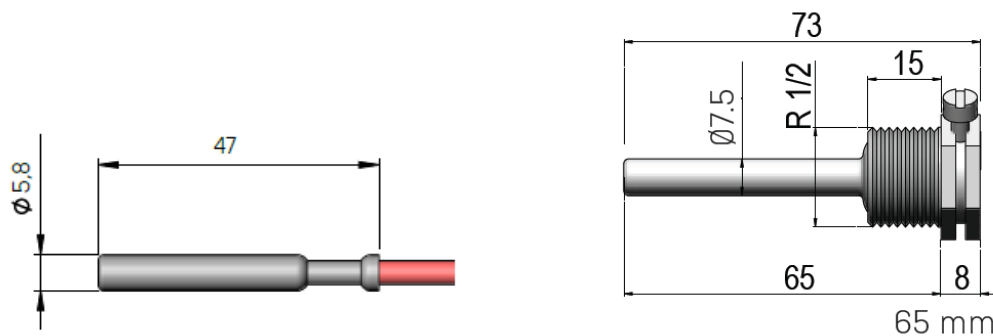


Abb. 9: $\varnothing 5,8$ mm Tauchhülsenfühler mit entsprechender 65 mm Tauchhülse.

In Abb. 9 ist ein Beispiel für einen Tauchhülsenfühler und eine entsprechende Tauchhülse aus Edelstahl dargestellt. Der große Vorteil bei der Montage eines Temperaturfühlers in einer Tauchhülse besteht darin, dass der Temperaturfühler später ausgetauscht werden kann, ohne dass das Wasser abgelassen werden muss. Tauchhülsenfühler werden deshalb am häufigsten in Verbindung mit größeren Zählern, z. B. in einem Verteilnetz, eingesetzt. Ein in einer Tauchhülse montierter Tauchhülsenfühler hat den Nachteil, dass die Gesamtmasse größer ist und er deshalb langsamer auf Temperaturänderungen reagiert, was einen Einfluss auf die gemessene Wärmeenergie haben kann. Weitere Informationen zur Reaktionszeit finden Sie im Abschnitt 4.1.

Der in Abb. 9 abgebildete Temperaturfühler hat einen Durchmesser von $\varnothing 5,8$ mm. Weiterhin werden auch Tauchhülsenfühler mit den Durchmessern $\varnothing 5,0$ mm, $\varnothing 5,2$ mm und $\varnothing 6,0$ mm für Wärme- und Kältezähler verwendet. In diesem Zusammenhang sollte darauf hingewiesen werden, dass die verwendete Tauchhülse einen Innendurchmesser aufweisen muss, der dem Durchmesser des Tauchhülsenfühlers entspricht. In der Praxis wird dies dadurch erreicht, dass der Tauchhülsenfühler und die Tauchhülse für den gemeinsamen Einsatz zugelassen sein müssen.

Tauchhülsenfühler mit einem Durchmesser von $\varnothing 5,0$ mm und $\varnothing 5,2$ mm können in der Regel als direkt eintauchende Temperaturfühler verwendet werden, wenn sie zusammen mit einer Überwurfmutter montiert werden, z. B. in einem Kugelhahn, siehe Abb. 10. Dies bietet bei der Installation eine große Flexibilität, da der Temperaturfühler sowohl als direkt eintauchender Temperaturfühler als auch als Tauchhülsenfühler installiert werden kann.

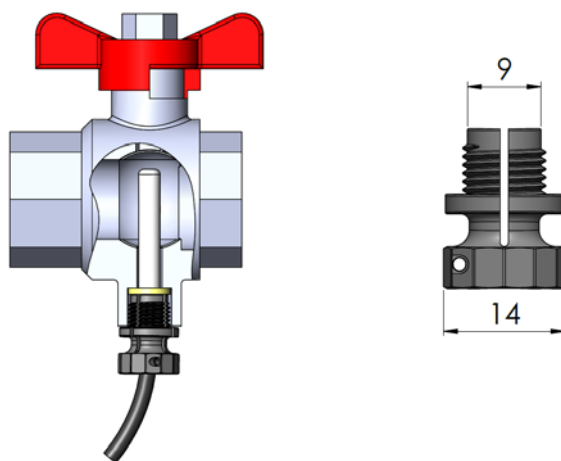


Abb. 10: $\varnothing 5,2$ mm Temperaturfühler mit Überwurfmutter aus einem Kunststoffverbundwerkstoff, der in einem Kugelhahn montiert ist.

3.2 4-Leiter-Temperaturfühler

Im Gegensatz zu 2-Leiter-Temperaturfühlern gilt für 4-Leiter-Temperaturfühler, dass der Widerstand des Kabels die Temperaturmessung nicht beeinflusst, siehe Abschnitt 2.2.2. Dies bedeutet, dass eine genauere Temperaturmessung mit 4-Leiter-Temperaturfühlern erreicht werden kann. Deshalb werden 4-Leiter-Temperaturfühler typischerweise in Großanlagen eingesetzt, wo eine genauere Temperaturmessung bessere Möglichkeiten zur Optimierung der Betriebsbedingungen und folglich der Produktionskosten bietet. Gleichzeitig bieten 4-Leiter-Temperaturfühler auch bei der Optimierung der Kabelführung eine große Flexibilität, da bei 4-Leiterfühlern die Kabel nicht gleich lang sein müssen. Da es in großen Anlagen erforderlich ist, den Temperaturfühler ohne Unterbrechung des Wasserflusses austauschen zu können, werden 4-Leiter-Temperaturfühler hauptsächlich als Tauchhülsenfühler eingesetzt. Im folgenden Abschnitt werden die häufigsten Typen von 4-Leiter-Temperaturfühlern beschrieben.

3.2.1 $\varnothing 5,8$ mm Tauchhülsenfühler mit Anschlusskopf

Der $\varnothing 5,8$ mm Tauchhülsenfühler mit Anschlusskopf besteht aus einem austauschbaren Temperaturfühlereinsatz, auf den ein 2-adriger $\varnothing 5,8$ mm Tauchhülsenfühler gelötet ist. Der Temperatursensoreinsatz ist in einer Edelstahltauchhülse mit Anschlusskopf montiert, siehe *Abb. 11*. Der Anschlusskopf ist bewusst außerhalb der Rohrinsolierung platziert und deshalb leicht zugänglich. Der Anschluss eines 4-Leiterkabels erfolgt durch Einstecken des Kabels durch die PG-Kopplung und Anschluss der 4 Drähte an die Anschlussklemme am Temperaturfühlereinsatz.

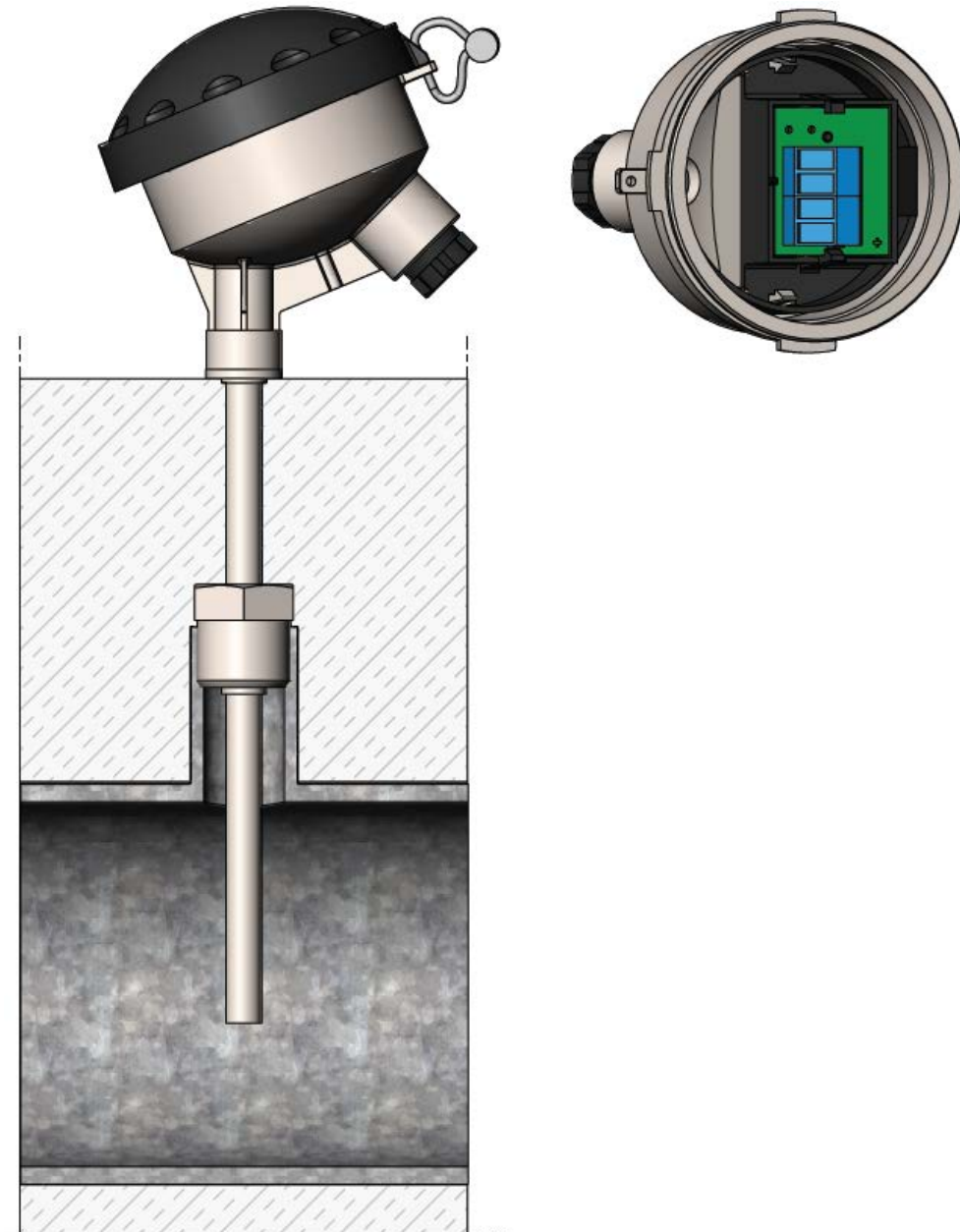


Abb. 11: $\varnothing 5,8$ mm Tauchhülsenfühler mit Anschlusskopf

Temperaturfühler

3.2.2 $\varnothing 6$ mm Tauchhülsenfühler mit Anschlusskopf

Im Gegensatz zur $\varnothing 5,8$ mm Tauchhülse mit Anschlusskopf ist für eine 6 mm Tauchhülse mit Anschlusskopf zu beachten, dass der Temperaturfühler und die Tauchhülse vollständig getrennt werden müssen, wie in *Abb. 12* dargestellt ist. Für diesen Temperaturfühler sind sowohl der Durchmesser als auch die Länge in der Norm EN 1434-2 [1] definiert. Der Anschlusskopf ist in mehreren Ausführungen erhältlich und eine der häufigsten Bauformen ist der in *Abb. 12* dargestellte Anschlusskopf, der aus Aluminium besteht und als Typ DIN Form B definiert ist. Dieser Temperaturfühler ist auch mit einem Dünnschichtwiderstand erhältlich, das auf ein Keramikelement montiert ist, weshalb er bei Temperaturen von bis zu 180 Grad eingesetzt werden kann, siehe Abschnitt 2.3. Für Durchflüsse bis zu 3 m/s wird eine geschweißte Edelstahltauchhülse mit einem Durchmesser von 8 mm an der Spitze verwendet. Bei Durchflüssen oberhalb von 3 m/s wird eine Edelstahltauchhülse verwendet, die einen Durchmesser von 10 mm an der Spitze aufweist, siehe *Abb. 12*, und aus einem Metallstück gedreht ist. Weitere Informationen über das Auswählen von Tauchhülsen bei hohen Durchflüssen und/oder hohen Temperaturen finden Sie in Abschnitt 6.5.

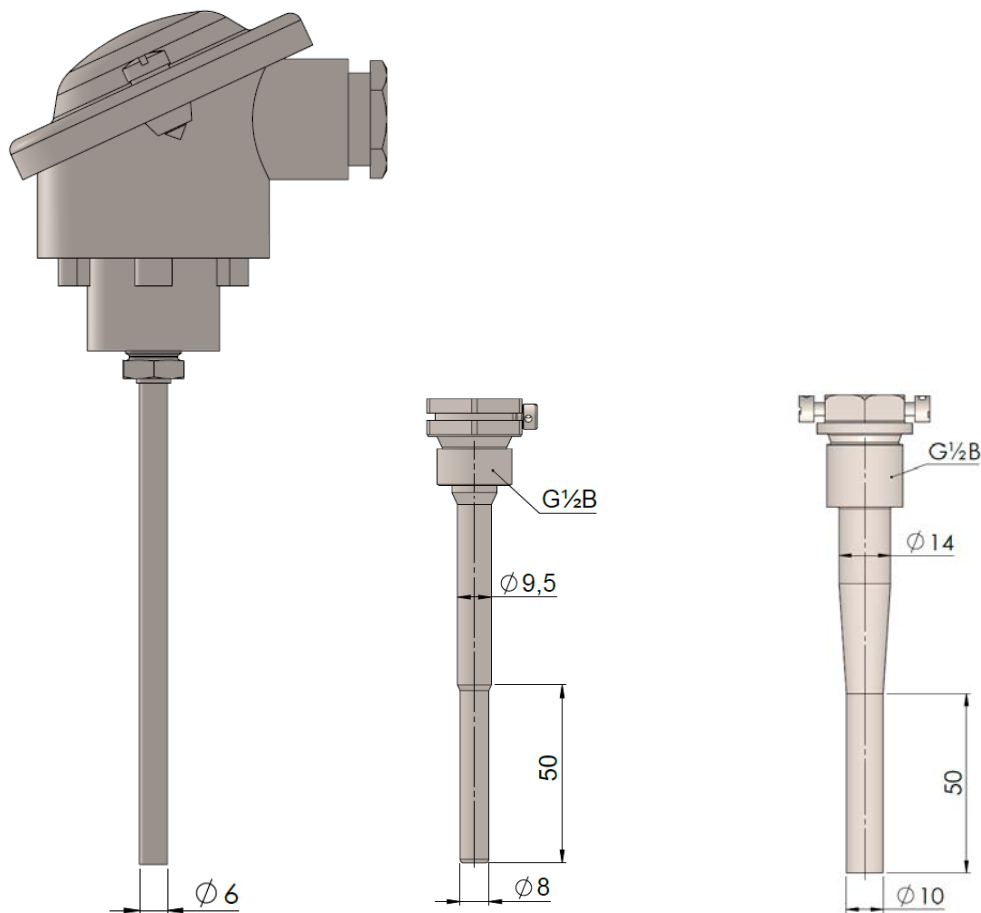


Abb. 12: $\varnothing 6$ mm Tauchhülsenfühler mit Anschlusskopf und dazu passenden Tauchhülsen.

4 Terminologie für Temperaturfühler in der Energiemessung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Begriffe für Temperaturfühler erläutert, die für die Energiemessung verwendet werden, einschließlich der Begriffe Reaktionszeit, Wärmeleitfehler und qualifizierende Eintauchtiefe.

4.1 Reaktionszeit

Die Reaktionszeit eines Temperaturfühlers ist ein Maß dafür, wie schnell ein Temperaturfühler auf eine bestimmte Temperaturänderung reagiert. Besonders für Wärmezähler, die in Fernwärmeeinheiten mit Leitungswasser-Wärmetauscher montiert werden, ist eine kurze Reaktionszeit wichtig, da in diesem Fall häufige und kurzfristige Temperaturänderungen auftreten. Wenn in diesem Anwendungsfall ein Temperaturfühler mit langer Reaktionszeit verwendet wird, misst der Wärmezähler einen zu niedrigen Verbrauch im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch.

Die Reaktionszeit $\tau_{0,5}$ ist als die Zeit definiert, die der Temperaturfühler benötigt, um die Hälfte einer vorgegebenen Temperaturänderung zu erkennen. In *Abb. 13* wird ein Beispiel dafür dargestellt, wie ein kurzer direkt eintauchender Temperaturfühler auf eine Temperaturänderung von $t_1=23\text{ °C}$ auf $t_2=33\text{ °C}$ reagiert. Die Temperaturänderung beginnt zum Zeitpunkt von τ_1 , und zum Zeitpunkt von τ_2 wurde die Hälfte der Temperaturänderung erkannt. Die Reaktionszeit $\tau_{0,5}$ kann deshalb durch folgende Berechnung bestimmt werden:

$$\tau_{0,5} = \tau_2 - \tau_1$$

Im Beispiel in *Abb. 13* wird die Reaktionszeit $\tau_{0,5}$ des betroffenen kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlers auf den Wert 1,7 s bestimmt.

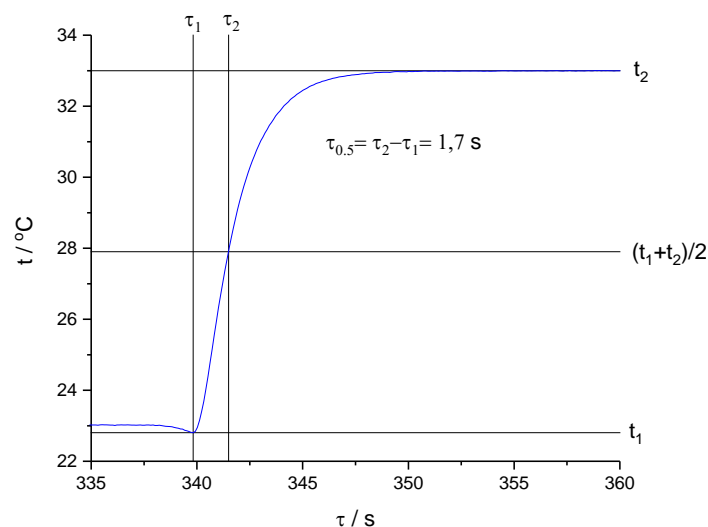


Abb. 13: Messung der Reaktionszeit eines kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlers

Temperaturfühler

In der Praxis wird die Reaktionszeit gemessen, indem der Temperaturfühler in ein kaltes temperaturgeregeltes Wasserbad eingebracht wird, das normalerweise die gleiche Temperatur wie die Umgebung hat, z. B. 23 °C., Anschließend wird der Temperaturfühler schnell in ein wärmeres temperaturgeregeltes Wasserbad mit einer Temperatur von beispielsweise 33 °C umgesetzt. Auf diese Weise erfährt der Temperaturfühler eine Temperaturänderung von 10 K. Dies ist in *Abb. 14* dargestellt.

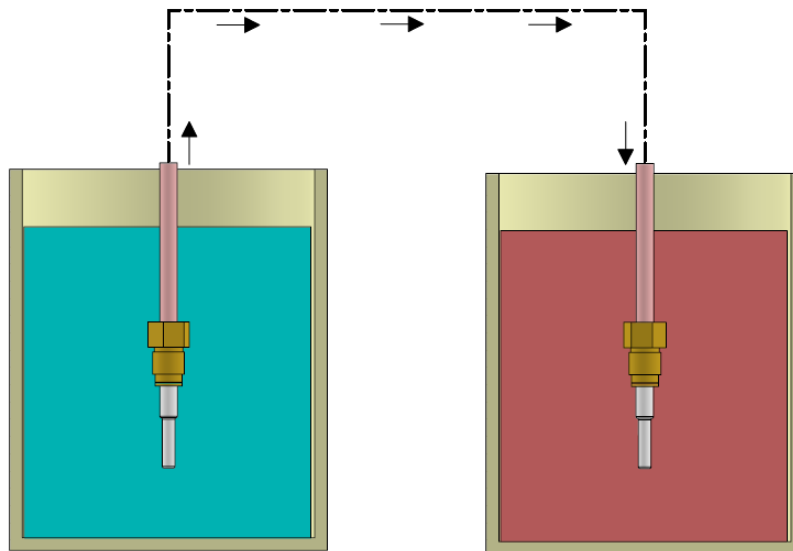


Abb. 14: Darstellung einer Einrichtung zur Messung der Reaktionszeit eines Temperaturfühlers, bei dem der Temperaturfühler von einem temperaturgeregelten Wasserbad in ein anderes temperaturgeregeltes Wasserbad umgesetzt wird. Der Temperaturunterschied zwischen den beiden Bädern beträgt normalerweise 10 K.

Zunächst wird die Reaktionszeit für alle Temperaturänderungen als konstant angenommen. Bei einem signifikanten Wärmeableitfehler, siehe Abschnitt 4.2, wird die Reaktionszeit von der Umgebungstemperatur so beeinflusst, dass eine höhere Reaktionszeit zu beobachten ist, wenn Temperaturänderungen zu einem deutlich höheren Temperaturanstieg gegenüber der Umgebungstemperatur führen. Ebenso ist bei einem Temperaturabfall von relativ hoher Temperatur auf einen Wert in der Nähe der Umgebungstemperatur eine kürzere Reaktionszeit zu beobachten.

Die Reaktionszeit eines Temperaturfühlers hängt von seiner Bauform ab. Grundsätzlich haben direkt eintauchende Temperaturfühler typischerweise eine kurze Reaktionszeit, da sie einen direkten Kontakt mit der Flüssigkeit haben, während die Reaktionszeit für einen Tauchhülsenfühler länger ist. In *Tabelle 4* werden die typischen Reaktionszeiten für eine Reihe von Temperaturfühlern aufgelistet, die für Wärme- und Kältezähler verwendet werden.

	Reaktionszeit
Kurzer direkt eintauchender DS 27,5 mm Temperaturfühler	2 s
∅5,2 mm direkt eintauchender Temperaturfühler mit montierter Überwurfmutter	3 s
∅5,8 mm Tauchhülsenfühler montiert in einer 65 mm Tauchhülse	8 s
∅6 mm Tauchhülse mit Anschlusskopf montiert in einer 85 mm Standardtauchhülse	12 s
∅6 mm Tauchhülse mit Anschlusskopf montiert in einer 120 mm verstärkten Tauchhülse	16 s

Tabelle 4: Typische Reaktionszeiten sowohl für direkt eintauchende Temperaturfühler als auch für in Tauchhülsen montierte Tauchhülsenfühler

4.2 Wärmeableitfehler

Wärme- und Kältezähler messen im Idealfall die tatsächliche Temperatur des Wassers in der Vorlauf- bzw. in der Rücklaufrohrleitung. Bei Wärmezählern sind die Temperaturen sowohl im Vorlauf als auch im Rücklauf höher als die Umgebungstemperatur. Wie in *Abb. 15* gezeigt wird, kann diese Temperaturdifferenz zu einer Wärmeableitung in die Umgebung führen, die auch als Wärmeableitfehler bezeichnet wird. Die Wärmeableitung in die Umgebung führt dazu, dass der Temperaturfühler nicht die tatsächliche Temperatur im Inneren des Rohrs misst. Grundsätzlich ist der Temperaturfühler so ausgelegt, dass der Wärmeableitfehler minimiert wird. Aufgrund seiner größeren Masse weist ein Tauchhülsenfühler jedoch normalerweise einen größeren Wärmeableitfehler auf als ein direkt eintauchender Tauchhülsenfühler. Im Allgemeinen weist ein langer Temperaturfühler einen kleineren Wärmeableitfehler auf als ein vergleichbarer kürzerer Temperaturfühler, da ein größerer Anteil des langen Temperaturfühlers in die Flüssigkeit eingetaucht ist, siehe Abschnitt 4.3. Der größte Wärmeableitfehler tritt deshalb bei der Verwendung von Tauchhülsenfühlern in kurzen Tauchhülsen mit einer Länge von 35 bis 50 mm auf, und diese Tauchhülsen können daher in der Regel nur in einem Temperaturbereich zugelassen werden, der unterhalb des Höchstwertes von 150 Grad liegt, für den Temperaturfühler normalerweise zugelassen werden.

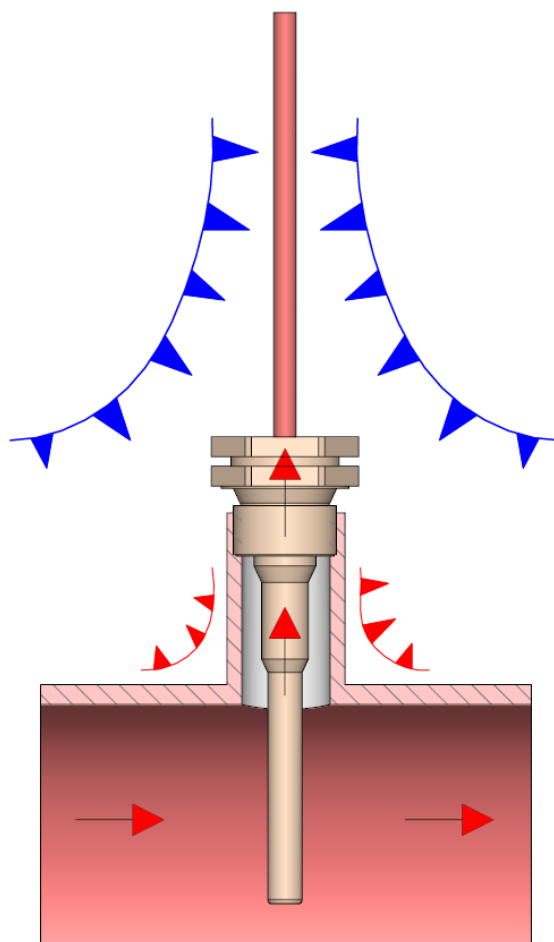


Abb. 15: Darstellung des Wärmeableitfehlers bei einer Temperaturmessung aufgrund der Wärmeableitung in die Umgebung.

4.3 Qualifizierende Eintauchtiefe

Die qualifizierende Eintauchtiefe ist ein Maß dafür, wie viele Millimeter der Temperaturfühler in die Flüssigkeit eingetaucht werden muss, um sicherzustellen, dass die Wärmeableitung vom Temperaturfühler maximal einen Wärmeableitfehler von 0,1 K bei 85 °C verursacht. Die Größe des Wärmeableitfehlers wird dadurch bestimmt, dass im ersten Schritt zwei Temperaturfühler in ein temperaturgeregeltes Wasserbad eingetaucht werden, sodass sie zunächst vollständig von Wasser umgeben sind und deshalb die gleiche Temperatur messen. Anschließend wird ein Temperaturfühler teilweise aus dem Wasserbad herausgezogen, während der andere Temperaturfühler noch vollständig in das Wasser eingetaucht ist, siehe *Abb. 16*. Aufgrund des Wärmeableitfehlers des nur teilweise eingetauchten Temperaturfühlers werden die beiden Temperaturfühler jetzt zwei unterschiedliche Temperaturen messen. Der Wärmeableitfehler wird durch die Messung der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Temperaturfühlern ermittelt. Die qualifizierende Eintauchtiefe eines bestimmten Temperaturfühlers hängt von der Bauform des Temperaturfühlers ab. Ein kurzer direkt eintauchender DS 27,5 mm Temperaturfühler mit einem Außendurchmesser von 3,6 mm hat beispielsweise eine geringere qualifizierende Eintauchtiefe als ein Tauchhülsenfühler mit einem Durchmesser von 5,8 mm. Wie in Abschnitt 3.1.1 näher beschrieben wird, beinhaltet die Norm EN 1434 eine Reihe von Konstruktionsanforderungen für einen kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühler, einschließlich der Festlegung, dass die qualifizierende Eintauchtiefe den Wert von 20 mm nicht überschreiten darf.

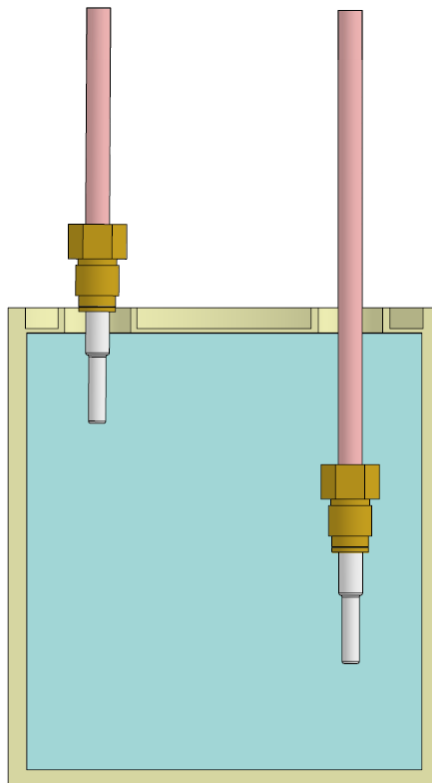


Abb. 16: Die qualifizierende Tauchtiefe wird durch den Vergleich der Messungen an zwei Temperaturfühlern ermittelt, die vollständig und teilweise in das Wasser eingetaucht sind.

Die Differenz zwischen den beiden Temperaturfühlern darf 0,1 K nicht überschreiten.

5 Gesetzliche Anforderungen an im Handel erhältliche Temperaturfühler

Für Temperaturfühler, die für Wärme- und Kältezähler vertrieben werden, gilt ein breites Spektrum von gesetzlichen Anforderungen. Die Ursache hierfür ist, dass Wärme- und Kältezähler für die Abrechnung zwischen zwei Marktteilnehmern verwendet werden. In diesem Kapitel werden die wichtigsten gesetzlichen Anforderungen erläutert, einschließlich der Bauartzulassung, der Messung und Eichung sowie die Anforderungen an Temperaturfühlerpaare, Kabel und Kennzeichnungen.

5.1 Bauartzulassung

In den meisten EU- und EWR-Ländern ist es gesetzlich vorgeschrieben, dass Temperaturfühler für Wärmezähler eine Bauartzulassung besitzen müssen, bevor sie für die gesetzliche Abrechnung verwendet werden können. Die Bauartzulassung erfolgt auf Grundlage der EU-Vorschrift Messgeräte-Richtlinie (MID), 2014/32/EU, die auf EU-Ebene die Regeln für Messgeräte festlegt, die für die gesetzliche Abrechnung verwendet werden sollen. Im Vergleich zur Vergangenheit, in der jedes Land eine nationale Zulassung erteilt hat, ist es heute nur noch erforderlich, eine einzige MID-Zulassung zu erhalten, mit der die Temperaturfühler in allen EU- und EWR-Ländern für die gesetzliche Abrechnung verwendet werden können. In jedem teilnehmenden Land wurde eine benannte Stelle ernannt, die zur Ausstellung von MID-Zulassungen berechtigt ist. Bei Temperaturfühlern wird der Großteil der MID-Zulassungen entweder durch die FORCE Certification in Dänemark, die PTB in Deutschland oder das BEV in Österreich erteilt.

Um eine Bauartzulassung zu erhalten, müssen die Temperaturfühler unter anderem der harmonisierten Version der Norm EN 1434 entsprechen. Dies wird in einer Reihe von Typprüfungen ermittelt, die ebenfalls auf Grundlage der Norm EN 1434-4 [1] definiert sind. Beispiele für Typprüfungen sind die Ermittlung der Reaktionszeit und der qualifizierenden Eintauchtiefe, siehe die Abschnitte 4.1 und 4.3.

Kältezähler sind nicht Teil der MID-Richtlinie und deshalb gelten für Kältezähler, die für die Abrechnung verwendet werden, keine gemeinsamen europäischen Richtlinien. Mehrere Länder haben deshalb nationale Bauartzulassungen für diesen Bereich eingeführt, darunter Dänemark, Deutschland, Österreich und die Schweiz. Die Anforderungen für die nationale Kältezählerzulassung sind von Land zu Land unterschiedlich, aber eine allgemeine Eigenschaft ist, dass die Temperaturfühler für Kältezähler der Norm EN 1434 entsprechen müssen. In einigen Bereichen enthält die Norm EN 1434 einige erweiterte Anforderungen für Temperaturfühler, die für Kältezählern verwendet werden sollen. Zum Beispiel müssen Temperaturfühler für die Verwendung mit Kältezählern einem erweiterten Typprüfungsprogramm unterzogen werden, um sicherzustellen, dass die Temperaturfühler in der Lage sind, die spezifischen Herausforderungen der Betauung zu bewältigen, die in Kältezähleranlagen auftreten kann.


	
EU-Type Examination Certificate Measuring Instrument Directive	
Certificate number: DK-0200-MI004-036 Issued by FORCE Certification A/S, Denmark EU-notified body number 0200	
<p>In accordance with The Danish Safety Technology Authority's statutory order no. 1382 of November 25, 2016 with later amendments which implements the Directive 2014/32/EU of the European Parliament and Council of February 26, 2014 on measuring instruments (MID) and later amendments.</p>	
Issued to:	Kamstrup A/S Industrivej 28, Stilling DK-8660 Skanderborg
Type of instrument:	Temperature sensor pair
Type designation:	Pt500 DS-cable, Pt500 PL-cable with pockets, Pt500 PL with pockets (with connection head)
Valid until:	2025-05-26
Number of pages:	9, including appendix
Date of issue:	2019-06-21
Version:	2 This new version of DK-0200-MI004-036 is issued due to addition of new pocket variants. The previous certificate is withdrawn.
Approved by	Processed by
 Michael Møller Nielsen Certification Manager	 Lars Poder Examiner
<p>The conformity markings may only be affixed to the above type approved equipment. The manufacturer's Declaration of Conformity may only be issued and the notified body identification number may only be affixed on the instrument when the production/product assessment module (D or F) of the Directive is fully complied with and controlled by a written inspection agreement with a notified body. This EU-type examination certificate may not be reproduced except in full, without written permission by FORCE Certification A/S.</p>	
FORCE Certification references: TASK No. 119-29031.01 and 0200-MID-06816	
<small>FORCE Certification A/S · Park Allé 345 · 2605 Brøndby · Denmark · Tel +45 43 25 01 77 · Fax +45 43 25 00 10 · info@forcecertification.com · www.forcecertification.com 1161-1-2-en-en</small>	
<small>Page 1 of 9</small>	

Abb. 17: Beispiel einer MID-Zulassung für Temperaturfühler, die von FORCE Certification ausgestellt wurde.

5.2 Messung und Eichung

Ein Temperaturfühler muss bei drei verschiedenen Prüftemperaturen gemessen werden, bevor R_0 , A und B (siehe Abschnitt 2.1) ermittelt werden können. Die Anforderungen an die drei Prüftemperaturen sind in EN 1434 beschrieben. Wenn ein Temperaturfühler für den Temperaturbereich von 2...150 °C verwendet werden soll, wird er normalerweise bei 10 °C, 75 °C und 140 °C in speziellen temperaturgeregelten Wasserbädern geprüft, die für diesen Zweck konstruiert wurden. In jedem temperaturgeregelten Wasserbad wird ein Referenzthermometer angebracht, das die Temperatur t_i im Wasserbad misst. Dann wird der Widerstandswert R_i des Temperaturfühlers gemessen. Durch Messung in drei verschiedenen Wasserbädern ergeben sich die drei Widerstandswerte R_1 , R_2 , R_3 und die drei entsprechenden Temperaturen t_1 , t_2 , t_3 . R_0 , A und B können dann durch Lösen der folgenden 3 Gleichungen mit 3 Unbekannten ermittelt werden:

$$R_1 = R_0 \cdot (1 + A \cdot t_1 + B \cdot t_1^2)$$

$$R_2 = R_0 \cdot (1 + A \cdot t_2 + B \cdot t_2^2)$$

$$R_3 = R_0 \cdot (1 + A \cdot t_3 + B \cdot t_3^2)$$

Ein Temperaturfühler zur Wärme- oder Kältemessung darf, wie in EN 1434-5 [1] beschrieben, um nicht mehr als 2 K von einem idealen Temperaturfühler abweichen. Wenn R_0 , A und B für einen bestimmten Temperaturfühler bestimmt wurden, wird im nächsten Schritt für die Eichung eine Korrekturrechnung durchgeführt, um sicherzustellen, dass der Temperaturfühler diese Anforderung erfüllt. Ein Beispiel für eine solche Eichberechnung finden Sie in *Abb. 18*.

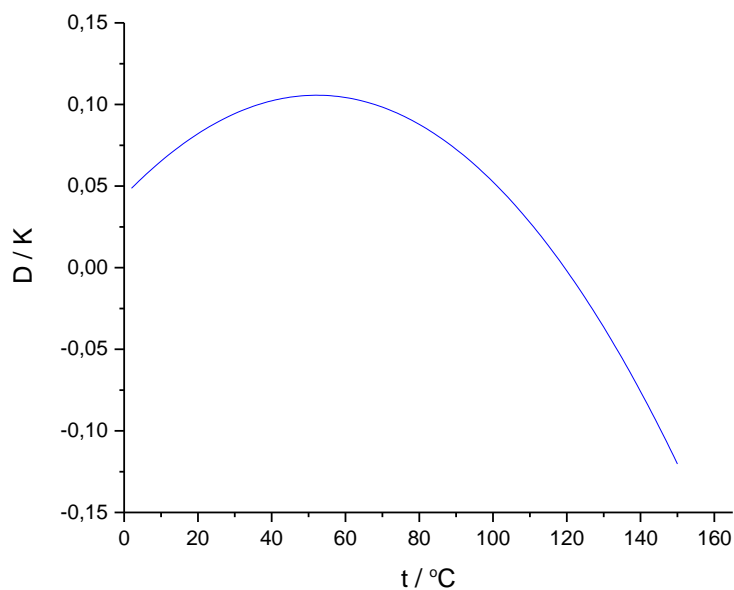


Abb. 18: Beispiel für eine Korrekturrechnung eines Pt500-Temperaturfühlers, bei der die Abweichung D von einem idealen Pt500-Temperaturfühler für alle Temperaturen t im Temperaturbereich 2-150 °C ermittelt wird.

Wie in EN 1434 beschrieben wird, wird anschließend geprüft, ob der Temperaturfühler einen hinreichenden Isolationswiderstand aufweist. Damit soll sichergestellt werden, dass kein elektrischer Nebenschluss innerhalb des Temperaturfühlers vorhanden ist.

5.3 Anforderungen an ein Temperaturfühlerpaar

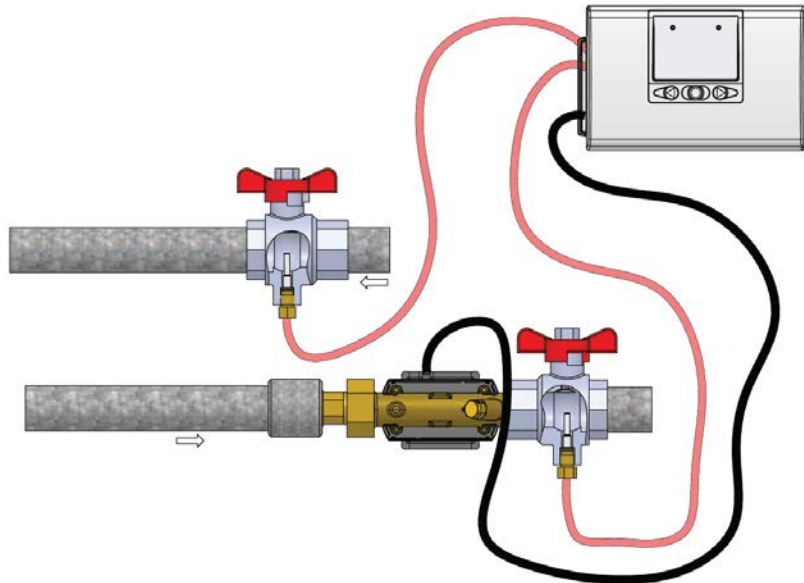


Abb. 19: Typische Installation eines Wärme- oder Kältezählers, bei der zwei Temperaturfühler im Vorlauf und. im Rücklauf installiert sind.

Wie in Abb. 19 dargestellt wird, ist es für eine genaue Energieberechnung erforderlich, dass die Temperaturdifferenz zwischen der Vorlauftemperatur und der Rücklauftemperatur gemessen wird. Deshalb werden sehr strenge Anforderungen an die Abweichungen zwischen den beiden Temperaturfühlern in einem vorgegeben Temperaturfühlerpaar gestellt. Die Abweichung in Prozent der Temperaturdifferenz, E_t , ist in der Norm EN 1434 definiert und darf maximal folgenden Wert aufweisen:

$$E_t = \pm \left(0,5 + 3 \frac{\Delta\theta_{min}}{\Delta\theta} \right)$$

wobei $\Delta\theta$ die anzuwendende Temperaturdifferenz und $\Delta\theta_{min}$ die kleinste zulässige Temperaturdifferenz ist.

Nach der MID-Richtlinie muss $\Delta\theta_{min}$ mindestens 3 K betragen, weshalb in der Regel für $\Delta\theta_{min}$ der Wert 3 K genommen wird.

In Tabelle 5 wird die maximal zulässige Abweichung zwischen den beiden Temperaturfühlern für eine Reihe ausgewählter Temperaturdifferenzen bei $\Delta\theta_{min} = 3$ K aufgelistet.

Temperaturdifferenz $\Delta\theta$	Maximal zulässige Abweichung %	Maximal zulässige Abweichung K
3 K	3,5 %	0,105 K
6 K	2,0 %	0,120 K
9 K	1,5 %	0,135 K
15 K	1,1 %	0,165 K
30 K	0,8 %	0,24 K
60 K	0,65 %	0,39 K

Tabelle 5: Die maximal zulässige Abweichung zwischen den beiden Temperaturfühlern für eine Reihe von Temperaturdifferenzen

Bei der Paarung eines bestimmten Temperaturfühlerpaars werden mehrere Berechnungen durchgeführt, um sicherzustellen, dass jedes Temperaturfühlerpaar die in der Norm EN 1434 definierten Grenzwerte für die Abweichung zwischen den beiden Temperaturfühlern erfüllt. Bei den Pt500-Temperaturfühlern von Kamstrup beträgt die prozentuale maximale Abweichung zwischen den beiden Temperaturfühlern typischerweise:

$$E_t = \pm \left(0,4 + \frac{4}{\Delta\theta} \right)$$

Dadurch ergibt sich die folgende maximale typische Abweichung für die Pt500-Temperaturfühler von Kamstrup:

Temperaturdifferenz $\Delta\theta$	Maximale typische Abweichung %	Maximale typische Abweichung K
3 K	1,7 %	0,052 K
6 K	1,1 %	0,064 K
9 K	0,84 %	0,076 K
15 K	0,67 %	0,10 K
30 K	0,53 %	0,16 K
60 K	0,47 %	0,28 K

Tabelle 6: Maximale typische Abweichung zwischen zwei Pt500-Temperaturfühlern von Kamstrup verschiedene Temperaturdifferenzen.

5.4 Anforderungen an Temperaturfühlerkabel

Wie in Abschnitt 2.2.1 gezeigt wird, gilt für 2-Leiter-Temperaturfühler, dass der Widerstand des Kabels die gemessene Temperatur beeinflusst. Die Norm EN 1434 beschreibt daher eine Reihe von Anforderungen an die Fühlerkabel, die für 2-Leiter-Temperaturfühler verwendet werden, um eine möglichst genaue Energieberechnung zu erreichen. Erstens müssen die Kabel gleich lang sein, da unterschiedliche Kabellängen einen Fehler bei der Berechnung der Temperaturdifferenz verursachen. Weiterhin beschreibt die EN 1434, dass die Längen der Fühlerkabel nicht nachträglich verändert werden dürfen.

Der Widerstand der Temperaturfühlerkabel ändert sich mit der Temperatur, was zu einem gravierenden Fehler bei der Messung der Temperaturdifferenz führen kann, falls bestimmte Randbedingungen wie lange Kabel und kleine Kabelquerschnitte vorliegen. In der Praxis sind die Drähte im Temperaturfühlerkabel als Kabellitze ausgeführt und der Kabelquerschnitt ist die Fläche der Kupferdrähte. Deshalb wurden in der EN 1434 Anforderungen an die maximale Kabellänge für eine bestimmte Kombination aus Kabelquerschnitt und Nennwiderstand eingeführt, wie in *Tabelle 7* dargestellt wird.

Kabelquerschnitt	Max. Kabellänge für Pt100	Max. Kabellänge für Pt500
0,22 mm ² / 0,25 mm ²	2,5 m	12,5 m
0,50 mm ²	5,0 m	25,0 m
0,75 mm ²	7,5 m	37,5 m
1,50 mm ²	15,0 m	75,0 m

Tabelle 7: Anforderungen in der Norm EN 1434 für Temperaturfühlerkabel, die für 2-Leiter-Temperaturfühler verwendet werden sollen.

Temperaturfühler

Bei 4-Leitertemperaturfühlern brauchen die Kabel jedoch nicht gleich lang sein, da der Widerstand der Kabel die Temperaturmessung nicht beeinflusst. Ebenso werden die gleichen Anforderungen an eine maximale Kabellänge für eine bestimmte Kombination aus Kabelquerschnitt und Nennwiderstand nicht gestellt. Die maximale Kabellänge hängt jedoch vom verwendeten Rechenwerk ab (z. B. aus EMV-Gründen). Die Rechenwerke MULTICAL® 603 und MULTICAL® 803 sind für den Anschluss von 4-Leiterkabeln mit bis zu 100 m Länge zugelassen, z. B. vom Typ 4 x 0,25 mm².

5.5 Kennzeichnung von Temperaturfühlern und Tauchhülsen

Da die Temperaturfühler und ihre Tauchhülsen für die gesetzliche Abrechnung verwendet werden, gibt es eine Reihe von Anforderungen an die ordnungsgemäße Kennzeichnung. Je nach Zulassung gibt es unterschiedliche Anforderungen an die Kennzeichnung, und deshalb hängt die richtige Kennzeichnung immer von den genauen Details der Zulassung ab. Die folgenden Beispiele für die Kennzeichnung der Temperaturfühler und Tauchhülsen sind daher nur als Beispiele zu betrachten, die die am häufigsten verwendeten Aufkleber für die Kennzeichnung von Temperaturfühlern und Tauchhülsen beschreiben.

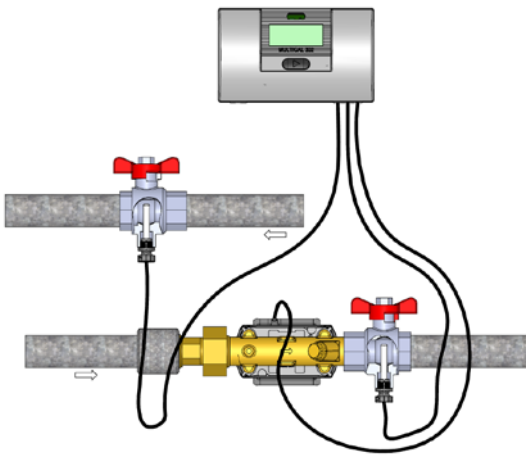
<p>Zulassung</p> <p>Maximale zulässige Druckstufe</p> <p>Nennwiderstand</p> <p>Nenndurchmesser</p> <p>Jahr der Eichung</p> <p>Art der Eichung</p>	<p>Beispiel für die Kennzeichnung eines kurzen direkten eintauchenden Temperaturfühlers</p> <div data-bbox="437 353 1046 517" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>DK-0200 MI004-036 Type: 65-00-0F0-XXX S/N: PN25 θ: 2°C...150°C kamstrup Pt500 $\Delta\theta$: 3K...140K DK-8660</p> </div> <p>Beispiel für die Kennzeichnung eines Tauchhülsenfühlers</p> <div data-bbox="437 775 1046 938" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>DK-0200 MI004-036 Type: 65-00-0A0-XXX S/N: Pt 500 θ: 2°C...150°C kamstrup D:ø5.8 $\Delta\theta$: 3K...140K DK-8660</p> </div> <p>Beispiel für die Eichmarke für MID Modul D</p> <div data-bbox="517 1216 967 1361" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>CE M19 0200</p> </div>	<p>Typnummer</p> <p>Seriennummer</p> <p>Herstellerlogo und Postanschrift</p> <p>Zulässiger Temperaturbereich</p> <p>Zulässiger Differenztemperaturbereich</p> <p>Registrierung der benannten Stelle, die die Prüfstelle genehmigt hat</p>
<p>Maximale zulässige Druckstufe</p> <p>Max. Betriebstemperatur</p> <p>Typnummer</p>	<p>Beispiel für die Kennzeichnung der Fühlertauchhülse</p> <div data-bbox="528 1581 959 2056" style="text-align: center;"> </div>	<p>Postanschrift</p> <p>Nenninnendurchmesser</p> <p>Länge der Tauchhülse</p>

6 Installation von Temperaturfühlern

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die Installation von Temperaturfühlern erläutert, wobei der Schwerpunkt auf den Installationsbedingungen liegt, die eine korrekte Temperaturmessung sicherstellen.

6.1 Symmetrische Installation

Symmetrische Installation



Asymmetrische Installation

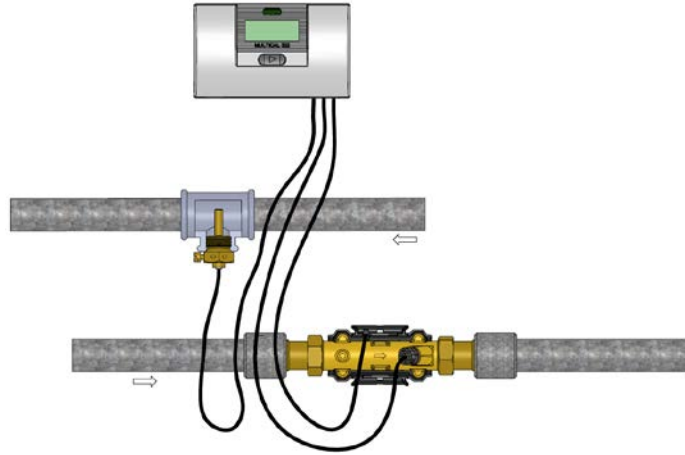


Abb. 20: Beispiele für eine symmetrische Installation und eine asymmetrische Installation.

Bei der Installation von Temperaturfühlern ist es sehr wichtig, dass die Temperaturfühler sowohl im Vorlauf als auch im Rücklauf in gleicher Weise installiert werden. Dies wird als symmetrischer Installation bezeichnet. Ein Beispiel hierfür wird in *Abb. 20* gezeigt, wo zwei $\varnothing 5,2$ mm Temperaturfühler mit Überwurfmüttern aus Kunststoff-Verbundwerkstoff in zwei Kugelhähnen montiert sind. Ein Beispiel für eine asymmetrische Installation ist hingegen, dass ein Temperaturfühler als direkt eintauchender Temperaturfühler beispielsweise im Durchflusssensor installiert ist, während der andere Temperaturfühler in einer Tauchhülse installiert ist. Bei einer symmetrischen Installation wird sichergestellt, dass zwischen den Messeigenschaften der beiden Temperaturfühler kein Unterschied besteht und somit eine genaue Temperaturdifferenz berechnet wird. Eine asymmetrische Installation führt zu zwei unterschiedlichen Fehlern, die jeweils die Messeigenschaften beeinflussen. Erstens wird die Reaktionszeit eines ausgewählten Temperaturfühlers deutlich vergrößert, wenn er nicht als direkt eintauchender Temperaturfühler, sondern in einer Tauchhülse installiert wird, und bei der asymmetrischen Installation gibt es einen deutlichen Unterschied in den Reaktionszeiten der beiden Temperaturfühler, was zu Fehlern bei der Bestimmung der Temperaturdifferenz führt. Zweitens hat ein Temperaturfühler, der in einer Tauchhülse installiert ist, einen deutlich höheren Wärmeableitfehler als ein direkt eintauchender Temperaturfühler. Dies hat Auswirkungen auf die vom Temperaturfühler gemessene Temperatur. Wenn beide Temperaturfühler in einer Tauchhülse installiert sind, ist der Fehler an beiden Temperaturfühlern vergleichbar und liegt innerhalb der für die genaue Messung der Temperaturdifferenz festgelegten Grenzen. Wenn ein Temperaturfühler jedoch in einer Tauchhülse und der andere Temperaturfühler als direkt eintauchender Temperaturfühler installiert ist, liegt ein bedeutender Wärmeableitfehler an einem Temperaturfühler und ein niedrigerer Wärmeableitfehler am direkt eintauchenden Temperaturfühler vor. Dies führt in der Regel dazu, dass die Abweichung der gemessenen Temperaturdifferenz größer ist als die definierten Grenzwerte vorgeben, siehe Abschnitt 5.3.

Eine weit verbreitete Installationsmethode besteht aus der Installation eines Temperaturfühlers im Durchflusssensor und des anderen Temperaturfühlers in einem Kugelhahn oder einem Rohrstück (Nippel). Da beide Temperaturfühler als direkt eintauchende Temperaturfühler installiert sind, gilt diese Installationsmethode als messtechnisch richtige Installation, siehe *Abb. 21*.

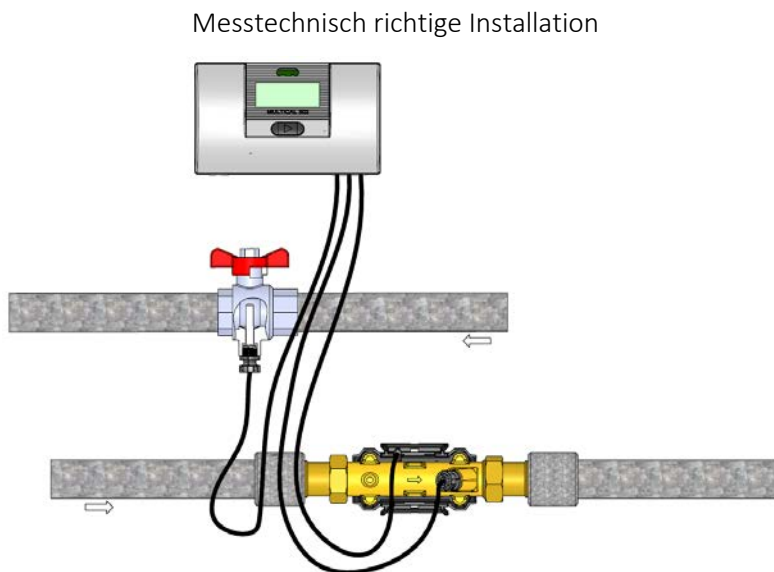


Abb. 21: Beispiel für eine messtechnisch richtige Installation.

6.2 Einbaulänge

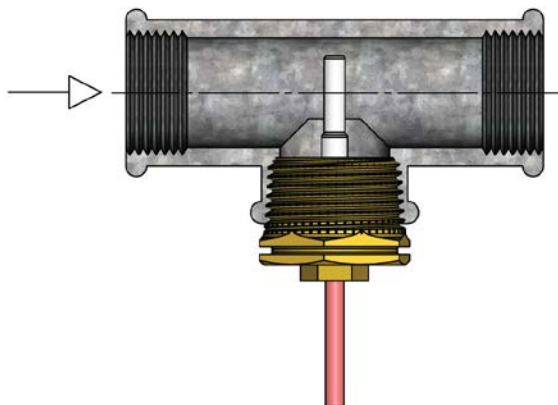


Abb. 22: Beispiel für die richtige Installation des kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlers.

Basierend auf dem Abschnitt über die qualifizierende Eintauchtiefe ist es wichtig zu berücksichtigen, dass der Temperaturfühler für die bestmögliche Messung richtig im Rohr positioniert sein muss. Bei der Installation eines DS 27,5 mm Temperaturfühlers in kleinen Röhren wie z. B. DN15 und DN20 ist zu beachten, dass der Temperaturfühler so weit wie möglich in das Rohr eingesetzt werden muss, um die in der Zulassung angegebenen Anforderungen an die qualifizierende Eintauchtiefe einzuhalten. Ein Beispiel hierfür ist in *Abb. 22* dargestellt.

Temperaturfühler

Bei größeren Rohrdurchmessern besteht ein höheres Risiko für Schichtenbildung im Inneren des Rohres, und deshalb wird empfohlen, den Temperaturfühler so weit wie möglich in der Mitte des Rohres zu positionieren. Beachten Sie bei der Installation in einem Winkel von beispielsweise 90 Grad, dass der Temperaturfühler relativ weit in die Rohrleitung eingeschoben werden muss, bevor Sie sicher sein können, dass der Temperaturfühler die richtige Temperatur misst. Ein Beispiel die eine richtige Installation in einem Winkel von 90 Grad finden Sie in *Abb. 23*.

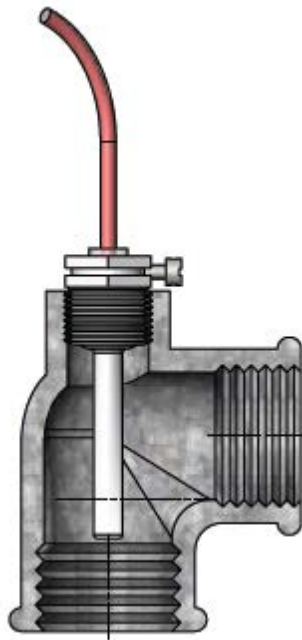


Abb. 23: Beispiel für die richtige Installation des Tauchhülsenfühlers in einem 90-Grad-Winkel.

6.3 Installation in großen Rohren

Normalerweise wird in jedem Rohr nur ein Temperaturfühler verwendet, was sich auf die Annahme stützt, dass die Temperatur im Rohr ziemlich gleichmäßig ist. In großen Rohren, z. B. oberhalb von DN100, können Schichtbildungen im Rohr auftreten. Die Schichtbildung wird durch heißes Wasser verursacht, das nach oben steigt. Besonders bei hohen Temperaturen und niedrigen Durchflussraten verursacht die Schichtbildung große Probleme. Bei Schichtbildung ist die Temperatur im Rohr nicht mehr gleichmäßig, und deshalb ist ein einzelner Temperaturfühler wahrscheinlich nicht mehr repräsentativ für die Durchschnittstemperatur im Rohr. In solchen Fällen kann die Temperaturmessung verbessert werden, indem vier Temperaturfühler verwendet werden, die in einer Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung verbunden sind, wie in *Abb. 24* gezeigt wird. Durch die Kombination von Reihen- und Parallelschaltung haben die vier Temperaturfühler in Summe den gleichen Nennwiderstand, als ob nur ein Temperaturfühler verwendet würde. Wenn die vier Temperaturfühler wie in *Abb. 24* positioniert sind, messen sie aufgrund der Schichtbildung vier verschiedene Temperaturen, aus denen sich aufgrund der Kombination der Reihen- und Parallelschaltung eine repräsentativere Durchschnittstemperatur ergibt.

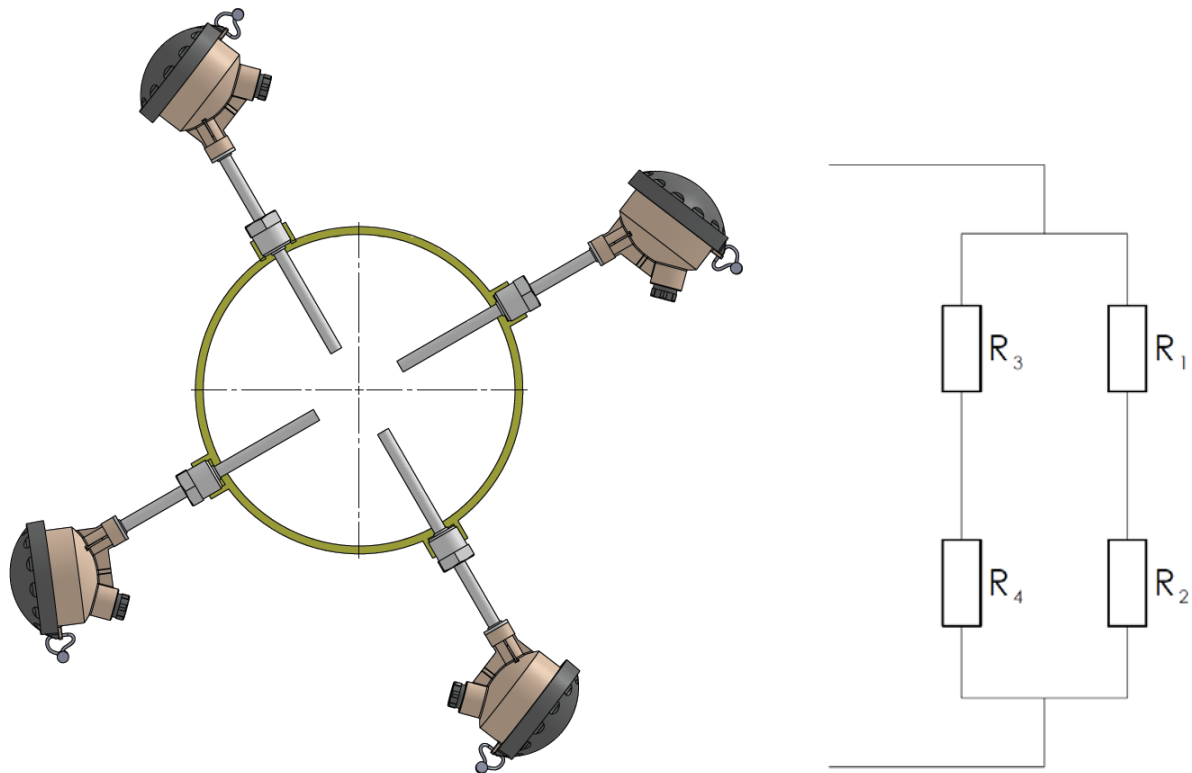


Abb. 24: Beispiel für eine Installation, bei der eine repräsentativere Durchschnittstemperatur durch die Verwendung von vier verschiedenen Temperaturfühlern erzielt wird, die durch eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung miteinander verbunden sind.

6.4 Weitere Installationsbedingungen, die sich auf die Temperaturmessung auswirken

Eine genauere Temperaturmessung wird erreicht, indem die Wärmeableitung an die Umgebung begrenzt wird, da die Wärmeableitung einen Fehler bei der Temperaturmessung verursacht. Die Wärmeableitung an die Umgebung kann durch eine Isolierung der Temperaturfühler begrenzt werden. Wenn Sie sich zur Isolierung der Temperaturfühler entscheiden, sollten Sie beachten, dass beide Temperaturfühler in vergleichbarer Weise isoliert werden, da die Isolierung nur eines einzelnen Temperaturfühlers im Gegenteil dazu führen kann, einen zusätzlichen Fehler bei der Messung der Temperaturdifferenz hervorzurufen. Bei Tauchhülsevenfühlern kann die Reaktionszeit durch die Verwendung von Wärmeleitpaste in der Tauchhülse verkürzt werden. Da die Wärmeleitpaste zu einer deutlichen Verkürzung der Reaktionszeit führt, ist es wichtig, dass in beiden Tauchhülsevenfühlern dieselbe Menge an Wärmeleitpaste verwendet wird. Im Laufe der Zeit trocknen die meisten Wärmeleitpasten aus. Deshalb kann die Verwendung von Wärmeleitpaste dazu führen, dass der Temperaturfühler aufgrund der ausgehärteten Wärmeleitpaste zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr aus der Tauchhülse entfernt werden kann. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die Verwendung von Wärmeleitpaste aufgrund des hohen Einflusses auf die Temperaturmessung durch die nationale Gesetzgebung geregelt werden kann. Beispielsweise musste man die Erfahrung machen, dass die Wärmeleitpaste in einigen Ländern nicht erlaubt ist.

6.5 Installationen mit hohen Durchflussgeschwindigkeiten und/oder einer Kombination aus hohem Druck und hoher Temperatur

Als Tauchhülsen für Temperaturfühler dürfen geschweißte Tauchhülsen nur bei Durchflussgeschwindigkeiten bis zu 3 m/s verwendet werden. Bei höheren Durchflussgeschwindigkeiten gibt es Beispiele für geschweißte Tauchhülsen, die zerbrochen sind, wahrscheinlich weil die Tauchhülse ihrer charakteristischen Resonanzfrequenz ausgesetzt wurde. Bei Durchflussgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/s wird eine aus einem Metallstück gedrehte und verstärkte Tauchhülse empfohlen, siehe Abschnitt 3.2.2. In *Tabelle 8* wird der Durchfluss aufgelistet, der einer Durchflussgeschwindigkeit von 3 m/s entspricht. Wenn ein höherer Durchfluss als der in der Tabelle angegebene Wert verwendet wird, wird empfohlen, eine verstärkte Tauchhülse zu verwenden, die aus einem Metallstück gedreht wurde. Ebenso wird empfohlen, aus einem Metallstück gedrehte und verstärkte Tauchhülsen für Anlagen mit einer Kombination aus hohem Druck und hoher Temperatur zu verwenden, z. B. in PN40-Anlagen, in denen eine gebrochene Tauchhülse ein hohes Verletzungsrisiko darstellt.

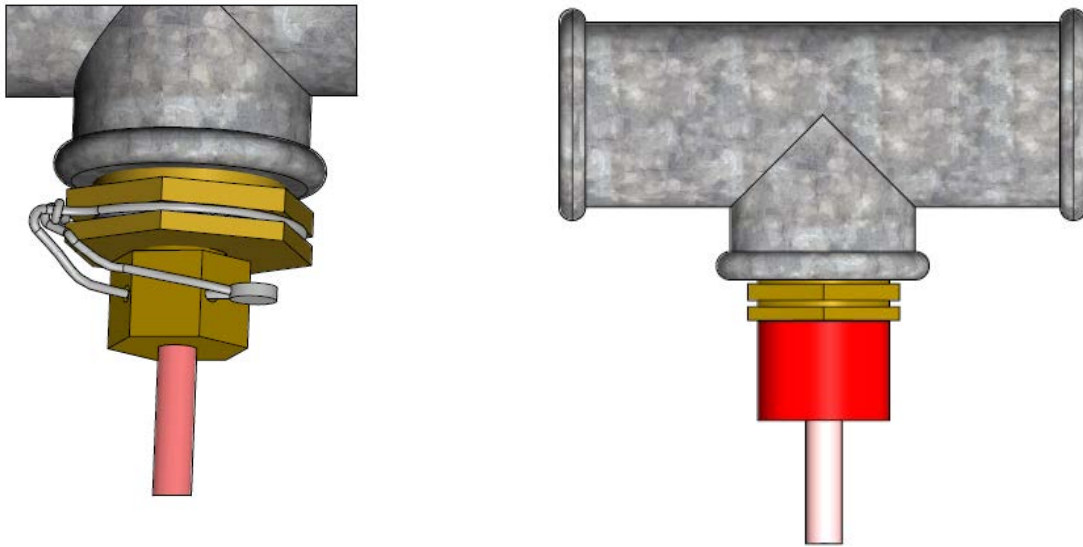
Nenn Durchmesser des Rohres [DN]	Durchfluss [m ³ /h]	Durchfluss [L/h]
50	21	21195
65	36	35820
80	54	54259
100	85	84780
125	132	132469
150	191	190755
200	339	339120
250	530	529875
300	763	763020

Tabelle 8: Durchfluss für ausgewählte Rohrdurchmesser bei einer Durchflussgeschwindigkeit von 3 m/s.

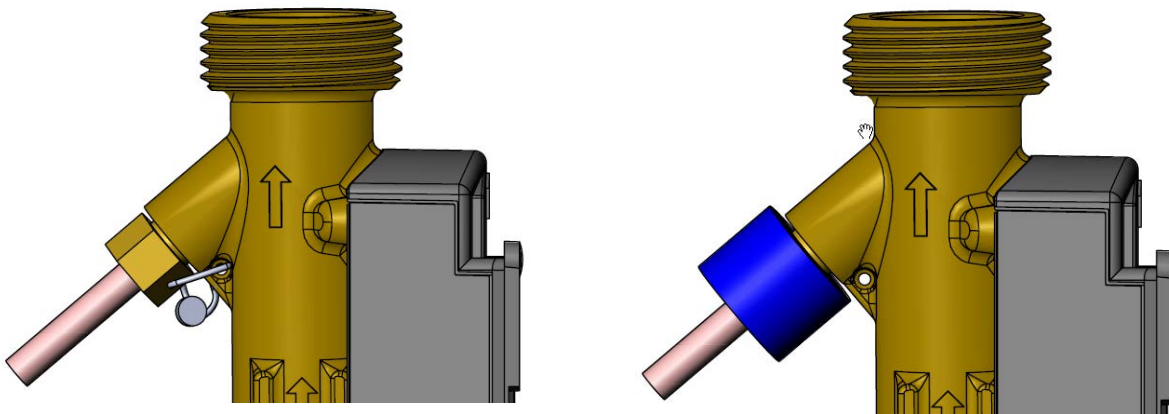
6.6 Plombieren von Temperaturfühlern

Wie in Abschnitt 6.2 beschrieben wird, hängt eine genaue Temperaturmessung von einer hinreichenden Einbaulänge des Temperaturfühlers ab. Um sicherzustellen, dass nach einer ordnungsgemäßen Installation keine weiteren Änderungen an der Anlage vorgenommen werden, wird die Anlage oft plombiert. Dies erfolgt in der Regel über einen Draht, der zum Schluss plombiert wird, und der als Plombendraht bezeichnet wird. Für kurze direkt eintauchende Temperaturfühler können auch sogenannte Plombierschellen verwendet werden, die die Messingüberwurfmutter umschließen. Die Plombierschellen sind sowohl in roter Ausführung erhältlich, mit der ein im Vorlauf montierter Temperaturfühler plombiert wird, als auch in blauer Ausführung, mit der ein im Rücklauf montierter Temperaturfühler plombiert wird. Eine Reihe von Beispielen für das Plombieren sowohl mit Plombendraht als auch mit Plombierschellen sind in *Abbildung 25* dargestellt.

Beispiele für das Plombieren eines kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlers, der in einem Rohrstück (Nippel) montiert ist



Beispiele für das Plombieren eines kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlers, der in einem Durchflusssensor montiert ist



Beispiele für das Plombieren des Tauchhülsenfühlers



Abb. 25:
Mehrere Beispiele für das Plombieren von Temperaturfühlern, entweder mit Plombendraht oder mit Plombierschellen.

7 Zubehörteile für die Installation von Temperaturfühlern

In diesem Kapitel werden einige der am häufigsten verwendeten Arten von Zubehörteilen für die Installation von kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlern beschrieben, einschließlich Kugelhähne, Rohrstücke (Nippel), T-Stücke und 11 mm Adapter für DS 38 mm Temperaturfühler.

7.1 Kugelhahn

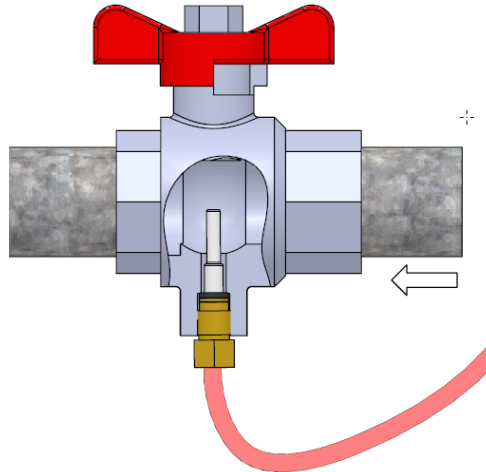


Abb. 26: Kurzer direkt eintauchender DS 27,5 mm Temperaturfühler montiert in einem Kugelhahn.

Durch die Installation eines Kugelhahns mit M10x1-Einsatz für einen Temperaturfühler kann ein kurzer direkt eintauchender Temperaturfühler eingesetzt werden, ohne die Anlage zu entleeren. Der Kugelhahn wird durch Drehen des Griffs betätigt, wodurch der Wasserdurchfluss während der Installation durch ein kugelförmiges Ventil vorübergehend blockiert wird. Die Installation von Temperaturfühlern in einem Kugelhahn hat auch den Vorteil, dass der Temperaturfühler so weit wie möglich optimal innerhalb der strömenden Flüssigkeit platziert werden kann.

7.2 Rohrstück (Nippel)

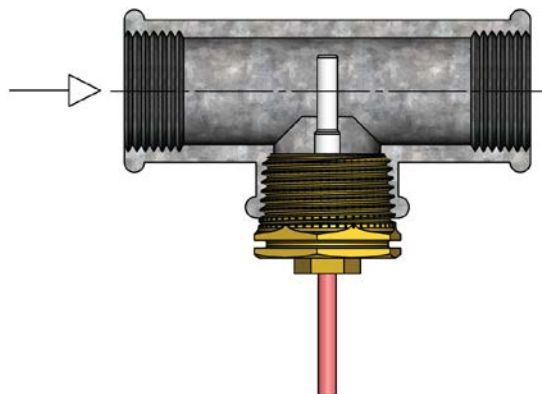


Abb. 27: Kurzer direkt eintauchender DS 27,5 mm Temperaturfühler montiert mit Nippel in einem T-Stück.

Eine häufig benutzte Lösung für die Installation von kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlern ist der Einsatz eines Messingnippels mit z. B. R $\frac{1}{2}$ - oder R $\frac{3}{4}$ -Gewinde, der in einem dazu passenden T-Stück installiert ist. Für Nippel mit konischen Gewinden verwenden Sie eine Packschnur oder ein Teflonband, um die erforderliche Dichtheit zu erhalten, während gerade Gewindenippel normalerweise eine Kupferdichtung verwenden.

7.3 T-Stück mit M10x1-Gewinde

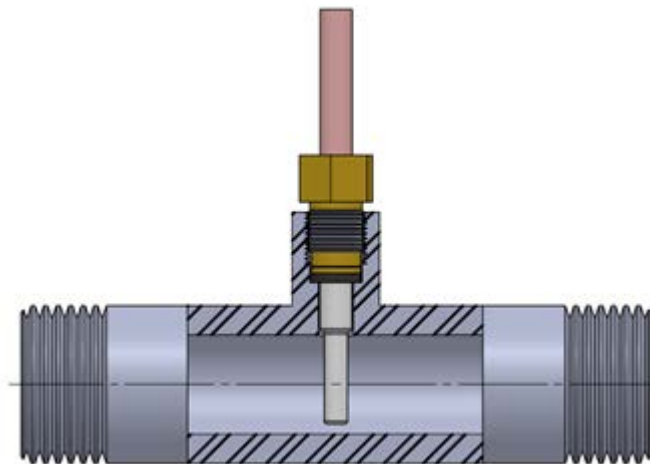


Abb. 28: Kurzer direkt eintauchender DS 27,5 mm Temperaturfühler montiert im T-Stück mit M10x1-Gewinde.

Die Installation eines kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlers in einem T-Stück mit M10x1-Gewinde wird in der Regel verwendet, wenn Sie den Durchflusssensor so positionieren möchten, dass er beispielsweise im Vorlauf anstelle des Rücklaufs eingebaut wird. In diesem Fall ist ein T-Stück mit M10x1-Gewinde eine gute und praktische Auswahl, um eine neue Stelle für die Installation des Temperaturfühlers zu finden, der nicht im Durchflusssensor installiert ist.

7.4 11 mm Adapter für DS 38 mm Temperaturfühler

Wie in *Tabelle 3* gezeigt wird, kann ein DS 27,5 mm Temperaturfühler in DN15- bis DN25-Anlagen verwendet werden und kann ein DS 38 mm Temperaturfühler in DN32- und DN40-Anlagen verwendet werden. Durch die Installation eines 11 mm Adapters auf einem DS 38 mm Temperaturfühler kann ein DS 38 mm Temperaturfühler auch in kleinen Anlagen von DN15 bis DN25 verwendet werden, siehe *Tabelle 9*. Dies kann besonders bei alten Anlagen von Bedeutung sein, in denen eine nachträglicher Umbau/eine Neuisolierung dazu geführt hat, dass das Vorlaufrohr DN40 und das Rücklaufrohr DN25 ist.

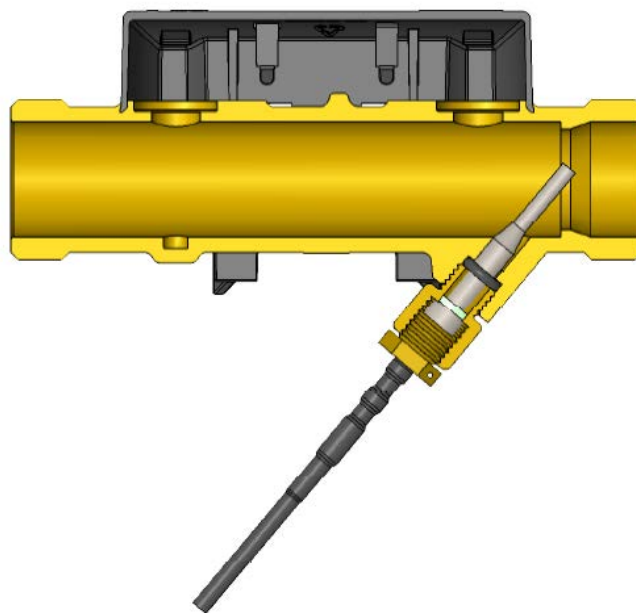


Abb. 29: Kurzer direkt eintauchender DS 38 mm Temperaturfühler montiert mit 11 mm Adapter in einem Durchflusssensor.

Temperaturfühler

DN	DS 27,5 mm	DS 38 mm	DS 38 mm mit 11 mm Adapter
15	X		X
20	X		X
25	X		X
32		X	
40		X	

Tabelle 9: Übersicht über die Verwendung von kurzen direkt eintauchenden Temperaturfühlern, mit und ohne 11 mm Adapter.

8 Anwendung von Temperaturfühlern für Kältezähler

Grundsätzlich werden die gleichen Temperaturfühler sowohl für Wärme- als auch für Kältezähler verwendet. In diesem Kapitel betrachten wir einige der besonderen Bedingungen, die bei der Verwendung von Temperaturfühlern für Kältezähler zu beachten sind.

8.1 Genaue Messung der Vorlauftemperatur

Im praktischen Einsatz in der Fernkühlung wird dem Kunden oft eine bestimmte Vorlauftemperatur von beispielsweise 6 °C garantiert. Da die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf für die Berechnung des Energieverbrauchs verwendet wird, werden die beiden Temperaturfühler in einem Temperaturfühlerpaar im Wesentlichen so angefertigt, dass eine genaue Messung der Temperaturdifferenz erreicht wird, siehe Abschnitt 5.3.

Die absolute Temperatur, d. h. die vom einzelnen Temperaturfühler gemessene Temperatur, die für die Überprüfung der geforderten 6 °C Vorlauftemperatur verwendet wird, darf nach der Norm EN 1434 bis zu 2 K abweichen. Wenn diese Abweichung am Temperaturfühler dazu führt, dass die tatsächliche Temperatur des zugeführten Fernkältewassers in der Praxis über 6 °C liegt, selbst wenn der Kältezähler 6 °C anzeigt, erhält der Kunde nicht das versprochene Produkt. Wenn die tatsächliche Temperatur des gelieferten Fernkältewassers unter 6 °C liegt, selbst wenn der Zähler 6 °C anzeigt, werden unnötige Ressourcen für die Versorgung mit Fernkältewassers verwendet, welches kälter ist als die erforderlichen 6 °C. Ist dem Kunden also eine bestimmte Vorlauftemperatur von beispielsweise 6 °C garantiert, ist darauf zu achten, dass die Abweichung der gemessenen Vorlauftemperatur möglichst gering ist.

Die Abweichung von der absoluten Temperatur wird durch mehrere Faktoren verursacht. Erstens hat der Platinwiderstand, der im Temperaturfühler verwendet wird, eine Abweichung vom idealen Platinwiderstand gemäß EN 60751. Normalerweise wird ein Platinwiderstand der Klasse B verwendet, für den die folgende Abweichung definiert ist:

$$\pm (0,3 + 0,005 \times T) \text{ K}$$

wobei T die Temperatur ist.

	Klasse B
Anforderung an maximale Abweichung	$\pm (0,3 + 0,005 \times T) \text{ K}$
Abweichung bei $T=0 \text{ °C}$	$\pm 0,3 \text{ K}$
Abweichung bei $T=20 \text{ °C}$	$\pm 0,4 \text{ K}$

Tabelle 10: Berechnung der zulässigen Abweichung für einen Temperaturfühler der Klasse B nach EN 60 751.

Wie aus der *Tabelle 10* zu entnehmen ist, beträgt die maximale Abweichung des Platinelements bis zu $\pm 0,4 \text{ K}$, wenn es in Fernkälteanlagen verwendet wird. Zusätzlich zum Platinelement hat das Rechenwerk selbst auch eine Unsicherheit für die Temperaturmessung und diese beträgt normalerweise $\pm 0,2 \text{ K}$.

Der letzte Faktor, der die absolute Temperaturmessung beeinflussen kann, ist das Kabel des Temperaturfühlers. Die Ursache hierfür ist, dass das Kabel einen Widerstand beinhaltet, der den Summenwiderstand des gesamten Temperaturfühlers erhöht. Bei einem Pt500-Temperaturfühler wird die gemessene absolute Temperatur bei Verwendung eines $0,25 \text{ mm}^2$ Kabels um max. $0,08 \text{ K}$ pro laufendem Meter des Kabels erhöht. Dies bedeutet, dass die gemessene Temperatur eines Pt500-Temperaturfühlers mit 5 m Kabel um $0,4 \text{ K}$ erhöht wird. Bei 4-Leiter-Temperaturfühlern erhöht das Kabel den gemessenen Widerstand nicht, siehe Abschnitt 2.2.2. Dieser Unterschied unterstreicht die häufigere Verwendung von 4-Leiterfühlern bei Kältezählern. Bei Pt100-Temperaturfühlern wird jedoch die gemessene absolute Temperatur bei Verwendung eines $0,25 \text{ mm}^2$ Kabels um $0,4 \text{ K}$ pro laufendem Meter des Kabels erhöht. Deshalb wird nicht empfohlen, Pt100-Temperaturfühler für die Kältemessung zu verwenden.

Temperaturfühler

Wenn die oben genannten Faktoren zusammengezählt werden, ergibt sich bei 2-adrigen Pt500-Temperaturfühlern mit 5 m Kabel eine absolute Abweichung typischerweise zwischen +1,0 K und -0,2 K und bei 4-adrigen Pt500-Temperaturfühler typischerweise zwischen -0,6 K und +0,6 K.

Die Rechenwerke MULTICAL® 403, MULTICAL® 603 und MULTICAL® 803 sind mit einer Offsetanpassung erhältlich, die eine absolute Temperatureinstellung von bis zu $\pm 0,99$ K im Rechenwerk ermöglicht. Da die obigen Abweichungen von der absoluten Temperatur während der Eichung der Temperaturfühler ermittelt werden, führt die Verwendung der Offsetanpassung zu einer Verringerung der absoluten Abweichung auf normalerweise weniger als $\pm 0,1$ K. Da sowohl die Vorlauf- als auch die Rücklauf-temperatur um denselben Wert angepasst werden, wirkt sich die Offsetanpassung nicht auf die Berechnung der Höhe des Energieverbrauchs aus.

8.2 Kondensationsprobleme

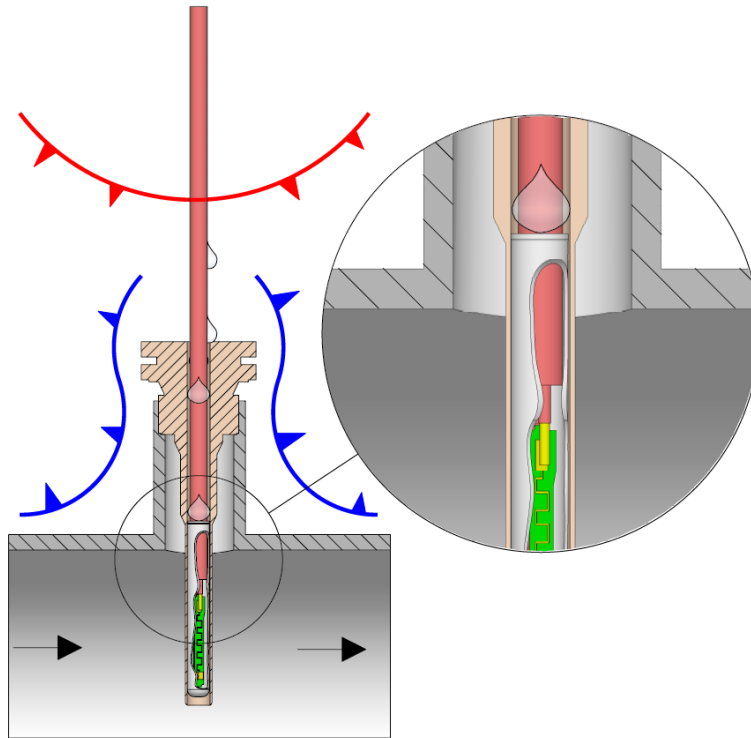


Abb. 30: Eindringen von Kondenswasser in einen Tauchhülsefühler.

Wenn heiße Luft mit relativ hoher Luftfeuchtigkeit mit einer kalten Oberfläche in Kontakt kommt, wird die Luft abgekühlt, und die Feuchtigkeit in der heißen Luft kondensiert auf der kalten Oberfläche. In der Fernkälte, bei der Wasser mit beispielsweise 5 bis 15 °C normalerweise in den Fernkälterohren zirkuliert, welches also deutlich kälter als die Umgebung ist, ist deshalb aus der praktischen Anwendung von Kältezählern bekannt, dass durch die Kondensation Probleme entstehen können. Dies gilt auch für Temperaturfühler, bei denen das Eindringen von Wasser in den Temperaturfühler zum Ausfall des Temperaturfühlers führen kann. Dieses Problem wird in *Abb. 30* dargestellt.

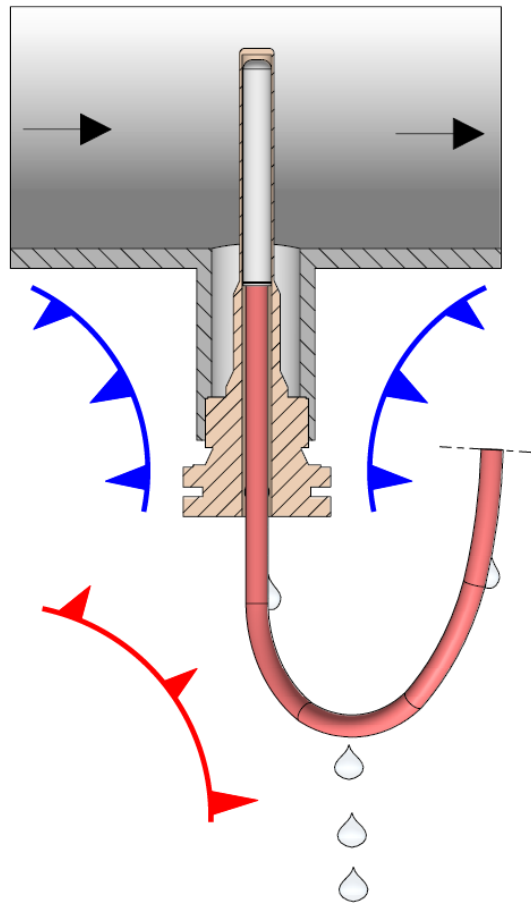


Abb. 31: Richtige Installation eines Temperaturfühlers für die Verwendung bei Kältemessungen, in denen durch die Schwerkraft das Eindringen von Kondensation verhindert wird.

Kondensationsprobleme können minimiert werden, indem die Temperaturfühler von unten montiert werden, wodurch die Schwerkraft dafür sorgt, dass beispielsweise das in einer Tauchhülse gebildete Wasser ablaufen kann. Diese Lösung für das Kondensationsproblem ist in *Abb. 31* dargestellt.

9 Referenzen

- [1] <https://webshop.ds.dk/Default.aspx?ID=120&q=Varmem%C3%A5lere>
- [2] <https://standards.globalspec.com/std/1199183/en-60751>
- [3] <https://www.jumo.de/products/temperature/temperature-sensors/thin-layer/906122/platinum-chip-temperature-sensors-of-smd-design-type-on-epoxy-pcb-according-to-din-en-60751-pcse---pcsm-design-type-906122.html?parentId=2917>
- [4] https://www.heraeus.com/en/hne/sensor_products/sensors.aspx
- [5] <https://www.jumo.de/products/temperature/temperature-sensors/thin-layer/906121/platinum-chip-temperature-sensors-with-connection-wires-according-to-din-en-60751-pca-design-type-906121.html?parentId=2917>