

## Technische Information

# Elektrische Temperaturmessung im Heißkanal mit Thermoelementen

Diese „Technischen Info“ informiert über die Wirkungsweise eines Thermoelementes und dessen Einsatz im Heißkanal.

### Thermoelektrischer Effekt:

Das Thermoelement basiert auf dem von 1821 von Johann Seebeck beschriebenen Effekt, dass ein geringer Strom fließt, wenn zwei metallische Leiter aus unterschiedlichen Werkstoffen in Verbindung stehen und entlang der beiden Leiter ein Temperaturunterschied vorliegt. Die beiden miteinander verbundenen Leiter werden als Thermoelement bezeichnet. Die Spannung selbst hängt sowohl von den beiden Materialien als auch dem Temperaturunterschied ab.

Der thermoelektrische Effekt funktioniert dadurch, dass in jedem Metall frei Elektronen gleichmäßig verteilt sind. Befindet sich ein metallischer Leiter über die gesamte Länge auf gleicher Temperatur, so bewegen sich die Elektronen auf Grund ihrer thermischen Energie innerhalb des Kristallgitters. Nach außen zeigt der Leiter keinen Ladungsschwerpunkt – er ist neutral (Abbildung 1 oben). Wird eine Seite des Metalls erwärmt, so wird den freien Elektronen thermische Energie zugeführt und ihre mittlere Geschwindigkeit erhöht sich gegenüber dem kalten Ende des Leiters. Dadurch verschieben sich die freien Elektronen zur kalten Seite. Es entsteht am kalten Ende ein negativer Ladungsschwerpunkt (Abbildung 1 unten). Diese Verschiebung ist die Ursache für eine kleine elektrische Spannung zwischen warmer und kalter Seite.

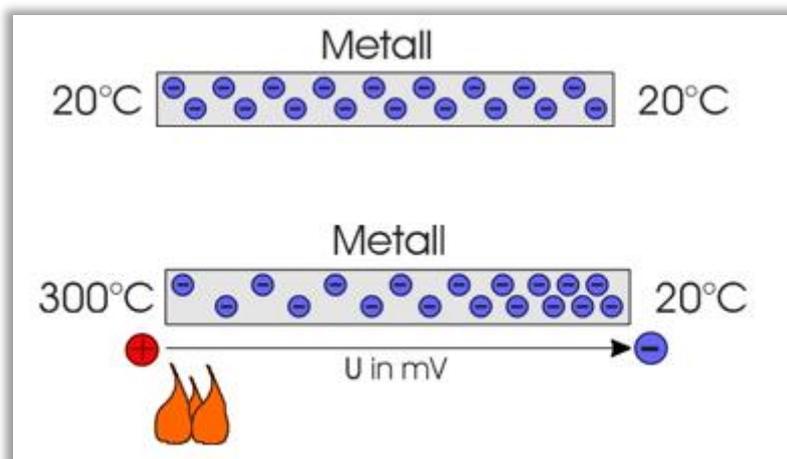


Abbildung 1: „Elektronen-Wanderung“ durch Erwärmung

Soll nun die Spannungsdifferenz zwischen dem warmen und kalten Enden des Leiters gemessen werden, muss zum Beispiel das warme Ende des Leiters mit einem elektrischen Leiter verbunden werden. Dieser Leiter wird ebenfalls dem gleichen Temperaturgefälle ausgesetzt und es bildet sich ebenfalls das gleiche dynamische Gleichgewicht. Ist der zweite Leiter aus dem gleichen Material hergestellt, so liegt ein symmetrischer Aufbau mit gleichen Ladungsschwerpunkten an den beiden offenen Enden vor. Es kann keine Spannungsdifferenz zwischen den beiden Ladungsschwerpunkten gemessen werden (Abbildung 2).

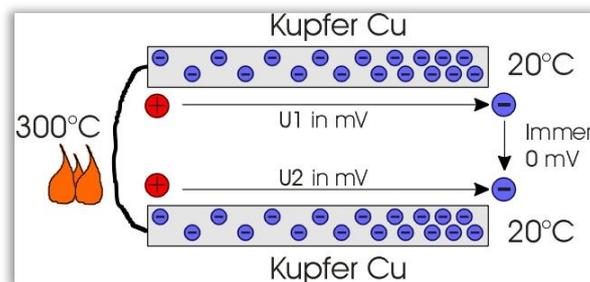


Abbildung 2: „Thermoelement“ bestehend aus zwei gleichen Metallen (Cu)

Besteht der zweite Leiter aus einem anderen Werkstoff mit einer anderen elektrischen Leitfähigkeit, so stellt sich auch ein anderes dynamisches Gleichgewicht innerhalb des Drahtes ein. Die Folge ist, dass sich an den beiden Enden der Leiter unterschiedliche Ladungsschwerpunkte ausbilden, die mit einem Spannungsmesser gemessen werden können (Abbildung 3).

Je nach Anforderung und zu messendem Temperaturbereich können unterschiedliche Thermopaare (Material-Kombinationen) zum Einsatz kommen. In der Heißkanaltechnik wird üblicherweise **Eisen (Fe)** und **Kupfer-Nickel (CuNi/Konstantan)** eingesetzt. Diese Kombination - kurz auch als „FeCuNi“ bezeichnet – eignet sich für einen Temperaturbereich von - 40°C bis + 750°C.

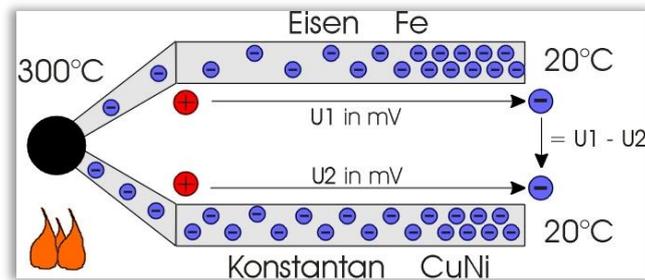


Abbildung 3: Thermoelement aus Eisen – Konstantan (FeCuNi)

Damit die Thermospannung einen Stromfluss bewirken kann, müssen die beiden Metalle jedoch am anderen Ende ebenfalls miteinander verbunden werden, sodass ein geschlossener Stromkreislauf entsteht. Daher bildet sich auch an der zweiten Verbindungsstelle eine Thermospannung. Um die Temperatur in [°C] ablesen zu können, muss zusätzlich die absolute Temperatur an den „kalten Enden“ gemessen werden. Die temperaturabhängigen Signale werden ausschließlich über die Legierung der eingesetzten Metalle bestimmt. Der Drahtquerschnitt oder die Länge haben keinen Einfluss.

Die durch den thermoelektrischen Effekt verursachte Spannung ist sehr gering und beträgt nur wenige Mikrovolt pro Kelvin. Thermoelemente werden daher im Allgemeinen nicht zur Messung im Bereich von -30 bis +50°C verwendet, da hier der Unterschied zur Vergleichsstellentemperatur zu gering ist, um ein störungssicheres Messsignal zu erhalten. Auch lässt sich keine „absolute“ Thermospannung angeben, sondern immer nur die Differenz der den zwei Temperaturen zugeordneten Thermospannungen.

Als Bezugstemperatur wird die weitestgehend stabile Raumtemperatur am Regelgerät zugrunde gelegt. Diese ist für alle Zonen identisch.

Das in der Heißkanaldüse oder im Werkzeug integrierte Thermoelement stellt nur einen Teil des kompletten Thermopaars dar. Bis zur Vergleichsstelle (Raumtemperatur) sind die beiden Schenkel des Thermopaars in **Eisen (Fe)** und **Konstantan (CuNi)** auszuführen. Dies gilt auch für die Ausgleichsleitung. Die Ausgleichsleitung vom Werkzeug zum Regler ist Bestandteil des kompletten Thermopaars (Abbildung 4).

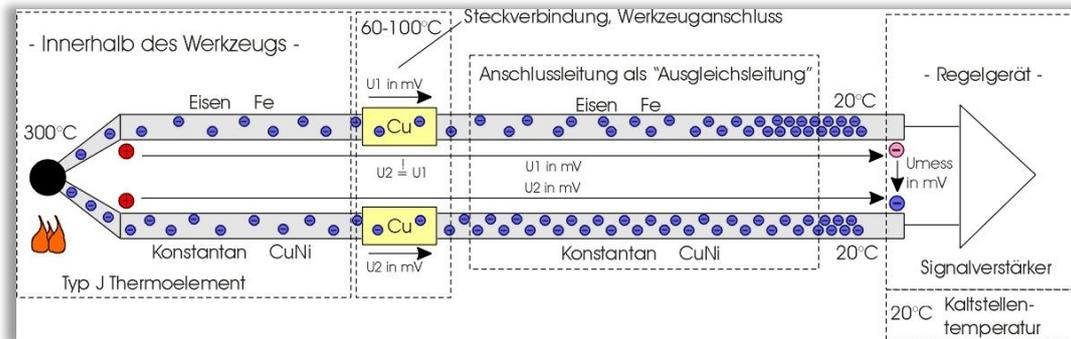


Abbildung 4: Thermoelement mit Stecker und Ausgleichsleitung

Es dürfen immer nur Ausgleichsleitungen aus dem gleichen Material wie das Element selbst (bzw. mit den gleichen thermoelektrischen Eigenschaften) eingesetzt werden.

Dort, wo die Ausgleichsleitung mit einem anderen Material verbunden wird, entsteht die Vergleichsstelle bzw. ein neues Thermoelement.

**Dies führt zu einer falschen Temperaturmessung und somit zu einem falschen Regelverhalten der Heißkanaldüse / Verteiler. Eine Verlängerung mit Kupferleitung oder Ausgleichsleitung eines anderen Typs ist somit nicht zulässig!**

Wird eine Steckverbindung aus einem anderen Metall (Messinginserte) in das Thermopaar eingefügt, kann eine zusätzliche Thermospannung innerhalb dieses Steckers entstehen. Es ist darauf zu achten, beide Schenkel eines Thermopaars über identische, benachbarte Steckverbinder zu kontaktieren. Die Umgebungstemperatur beider Kontakte sollte möglichst gleich sein. Je massiver die Steckverbindung ausgelegt ist, umso geringer ist die Temperaturdifferenz innerhalb des Messingkontaktes.

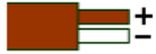
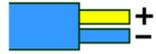
Die Thermoelemente sind hinsichtlich der Thermospannung und deren Toleranz weltweit (IEC 584) und nach europäischem Recht (DIN EN 60584-1) genormt: Nach den genannten Normen wird das Thermoelement bestehend aus FeCuNi als Typ J bzw. L bezeichnet.

Die korrekte Auswahl des Thermoelementes im Regelgerät ist zu beachten. Wird ein anderer Thermofühler-Typ ausgewählt, kann es durch die unterschiedlichen Fühler-Kennlinien zu Temperaturabweichungen kommen.

In der Tabelle 1 werden die möglichen Materialkombinationen für Thermoelemente dargestellt.

Element	Typ	Mantel	Plus	Minus	Maximale Temperatur [°C]	Bemerkung
<b>Cu-CuNi</b>	T	Braun	Braun	Weiß	350	<b>Geringe Verbreitung</b>
Fe-CuNi	J	Schwarz/ <b>Blau</b>	Schwarz/ <b>Rot</b>	Weiß/ <b>Blau</b>	<b>750</b>	Starke Verbreitung,
<b>NiCr-CuNi</b>	K	Grün	Grün	Weiß	700	<b>Geringe Verbreitung; hohe Thermospannung</b>
<b>Ni-CrNi</b>	N	Rosa	Rosa	Orange	1000	<b>Im Bereich von 800-1000°C oft eingesetzt.</b>
<b>NiCrSi-NiSi</b>	E	Violett	Violett	Weiß	1300	<b>Wenig verbreitet; kann teilweise edlere Elemente ersetzen</b>
<b>Pt10Rh-Pt</b>	S	Orange	Orange	Weiß	1500	<b>Hohe Kosten; sehr gute Langzeitkonstanz</b>
<b>Pt30Rh-Pt6Rh</b>	R	<b>Orange</b>	<b>Orange</b>	<b>Weiß</b>	<b>1700</b>	<b>Hohe Kosten; geringste Thermospannung</b>

Tabelle 1: Thermoelemente nach IEC 584-1

					
Kennbuchstabe / Element	DIN IEC 584 EN 60 584	DIN 43710	NFC 42-324	BS 4937	ANSI 96.1
<b>T</b> Cu-CuNi					
<b>U</b> Cu-CuNi					
<b>J</b> Fe-CuNi					
<b>L</b> Fe-CuNi					
<b>E</b> NiCr-CuNi					
<b>K</b> NiCr-Ni					
<b>K</b> NiCr-Ni					
<b>K</b> NiCr-Ni					
<b>N</b> NiCrSi-NiSi					
<b>R</b> <b>S</b> PtRh13-Pt PtRh10-Pt					
<b>B</b> PtRh30-Pt					

Quelle: Plöger Sensor GmbH

Tabelle 2: Farbkennzeichnung für Thermoelemente (Anschlussfarben und Leitungskennzeichnung)

Weitere Informationen zum Thema „Elektrische Temperaturmessung“ können zum Beispiel den Unterlagen der Thermofühler-Hersteller (z. B. [www.jumo.de](http://www.jumo.de); [www.tuerk-hillinger.com](http://www.tuerk-hillinger.com)) entnommen werden.

Die Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über technische Hintergründe informieren.