

A) Thermoelemente

I) Wirkungsweise.

Ein Thermoelement besteht aus dem sogenannten Thermopaar, d. h. 2 verschiedenen Leitern, die Pluschenkel und Minuschenkel genannt werden. Die Verbindungsstelle (Mefstelle) wird der zu messenden Temperatur ausgesetzt und liefert eine Thermospannung, deren Größe von den Werkstoffen der Schenkel und von der Temperatur abhängt. Sie wird üblicherweise in Millivolt (mV) angegeben.

In dem Stromkreis eines Thermoelements ist man stets gezwungen, von den Schenkeln des Thermopaars auf andere Werkstoffe überzugehen. Die Stelle, an der entweder das Meßgerät oder eine normale Zuleitung zum Meßgerät mit dem Thermoelement verbunden wird, heißt Vergleichsstelle. Dort entsteht ebenfalls eine Thermospannung, deren Höhe von der Vergleichstemperatur abhängt. Am Meßgerät wird die Differenz der Thermospannungen, die an der Mefstelle und an der Vergleichsstelle entstehen, angezeigt. Daher dient die Temperatur der Vergleichsstelle als Bezugstemperatur und muß möglichst konstant gehalten werden. Als Vergleichstemperatur wählt man für genaue Messungen $20,0^{\circ}\text{C}$ oder 0°C ; bei geringeren Ansprüchen dient die Raumtemperatur als Bezugswert. Zeigt das Meßgerät oder der Regler unmittelbar die Temperatur an, so muß der Zeiger in Ruhstellung stets auf die Vergleichstemperatur eingestellt werden.

In den meisten Fällen führt man nicht die Thermoelementschenkel selbst bis zur Vergleichsstelle, sondern verlängert sie mit einem Leiterpaar (Ausgleichsleitung), das innerhalb eines gewissen Temperaturbereichs die gleiche Thermospannung wie das zugehörige Thermopaar liefert. Dieser Bereich ist bestimmt durch die Temperatur, welche die Anschlußstelle des Thermopaars an die Ausgleichsleitung unter normalen Bedingungen annehmen kann und beträgt etwa $0 - 150^{\circ}$.

Der Schaltplan einer thermoelektrischen Temperaturmeßeinrichtung, bestehend aus Thermopaar, Ausgleichsleitung, Zuleitung und Meßgerät, ist in Abb. 1 dargestellt.

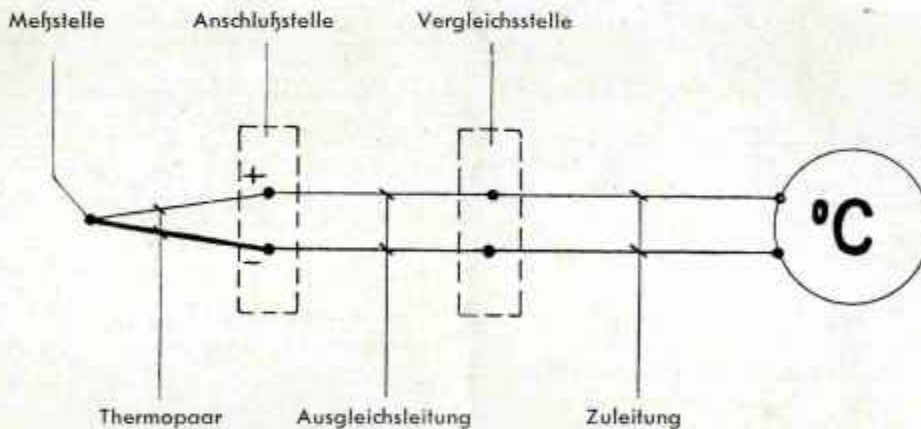
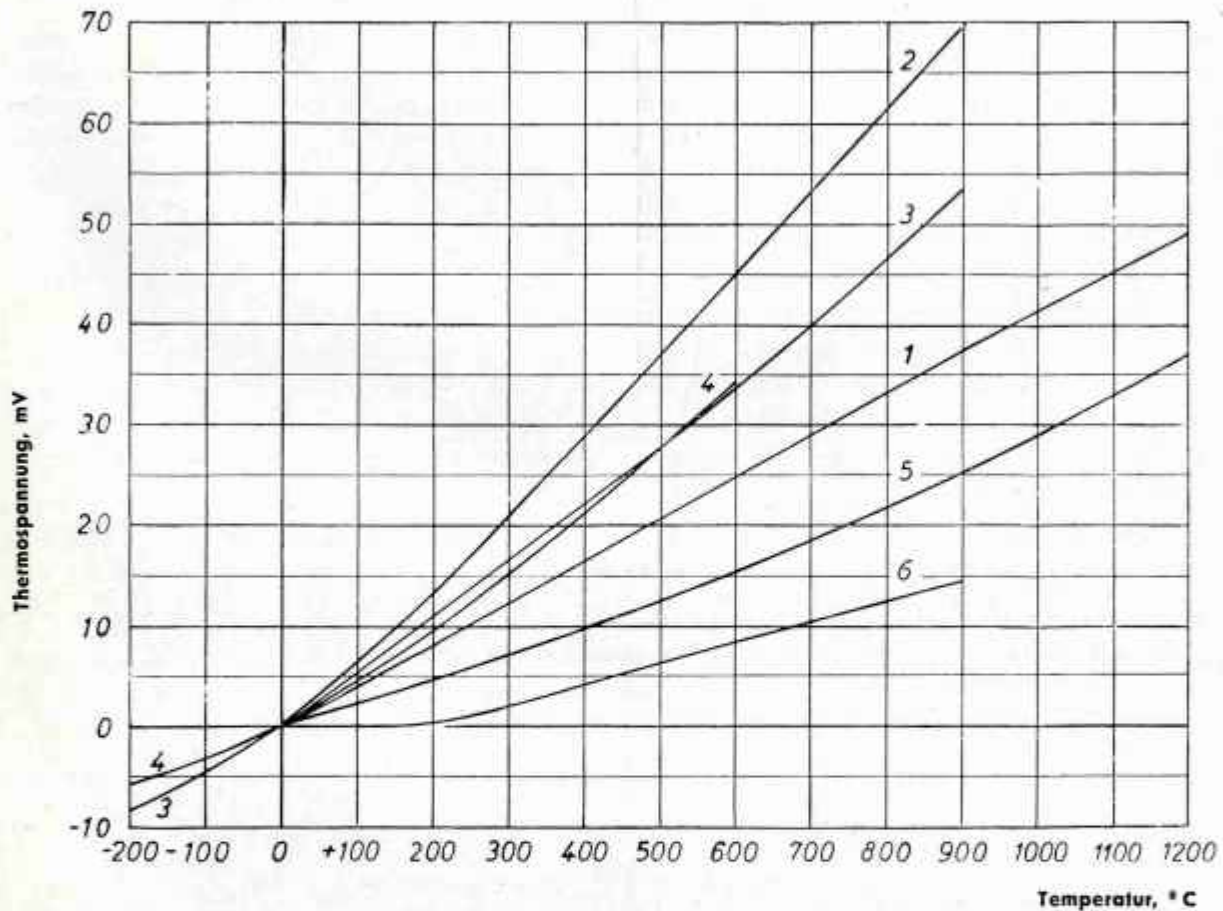


Abb. 1

Das OAL-Thermoelement liefert erst bei Temperaturen über 150° eine nennenswerte Thermospannung. Da die an der Vergleichsstelle entstehende Spannung gleich ist der Thermospannung des Thermopaars bei der Vergleichstemperatur, ist bei diesem Element also eine Schwankung der Vergleichstemperatur zwischen 0 und 150° ohne Einfluß auf die Temperaturmessung. Daher kann man die Vergleichsstelle unmittelbar an den Anschlußkopf des Thermoelements verlegen und auf die Verlängerung der Thermoelementschenkel durch Ausgleichsleitung bis an eine Stelle konstanter Temperatur verzichten. Eine Einstellung des Nullpunktes des Anzeigegerätes auf die Raumtemperatur erübrigt sich gleichfalls. Die Skala des Anzeigegerätes erhält überdies eine sehr günstige Form: Der Bereich von $0 - 150^{\circ}$ tritt praktisch nicht in Erscheinung, so daß die ganze Skalenlänge für die Teilung von etwa $200 - 800^{\circ}$ ausgenutzt werden kann.

II) Werkstoffe für Thermoelemente.

1. Eigenschaften. In Tabelle 1 geben wir eine Übersicht über die Thermospannungen der von uns hergestellten Werkstoffe. In Abb. 2 wird die Abhängigkeit der Thermospannung von der Temperatur dargestellt.



- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1: Vacoplus — Vacominus | 4: Kupfer — Thermo-Konstantan |
| 2: Vacoplus — Thermo-Konstantan | 5: Chromnickel B — Vacominus |
| 3: Thermo-Eisen — Thermo-Konstantan | 6: OAL-Element |

Abb. 2

Die Thermospannungsreihen der Elemente Nickelchrom — Nickel (Vacoplus — Vacominus), Thermo-Eisen — Thermo-Konstantan und Kupfer — Thermo-Konstantan und ihre zulässigen Abweichungen sind genormt (DIN 43710). Durch eine waagerechte Linie ist in Tabelle 1 für jedes Element die Temperaturgrenze bei Dauerbenutzung angegeben. Werden Thermoelemente bei wesentlich höheren Temperaturen benutzt, so tritt zu der rascheren Zerstörung infolge Verzunderung die Gefahr einer bleibenden Änderung der Thermospannung. Diese beruht auf verschieden starker Oxydation der einzelnen Legierungsbestandteile, woraus eine Änderung der Zusammensetzung folgt.

Tabelle 1

Thermospannungen und zulässige Abweichungen in Millivolt						
Material	1 Vacoplus Vacominus	2 Vacoplus Thermo- Konstantan	3 Thermo-Eisen Thermo- Konstantan	4 Kupfer*) Thermo- Konstantan	5 Chromnickel B*) Vacominus	6 OAL-Element
Norm- bezeichnung (DIN 43 710)	NiCr-Ni	—	Fe-Konst.	Cu-Konst.	—	—
— 200° C — 100° — 50°			— 8,15 ± 0,5 — 4,60 ± 0,4 — 2,45 „	— 5,70 ± 0,5 — 3,40 ± 0,3 — 1,85 „		— 0,21
0° C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+ 100°	4,04 ± 0,3	6,21 ± 0,4	5,37 ± 0,4	4,25 ± 0,3	2,20 ± 0,3	0,06
200°	8,14 „	13,38 „	10,95 „	9,20 „	4,45 „	0,42
300°	12,24 „	20,95 „	16,55 „	14,89 ± 0,4	6,95 ± 0,4	1,80 ± 0,2
400°	16,38 „	28,74 ± 0,5	22,15 „	20,99 „	9,60 „	4,00 „
500°	20,64 „	36,75 „	27,84 „	27,40 „	12,25 „	6,20 „
600°	24,94 ± 0,4	44,98 „	33,66 „	34,30 ± 0,6	15,25 ± 0,5	8,35 ± 0,3
700°	29,15 „	53,31 „	39,72 ± 0,8		18,40 „	10,45 „
800°	33,27 „	61,45 ± 0,8	46,23 „		21,75 „	12,50 ± 0,4
900°	37,32 „	69,25 „	53,15 „		25,25 „	14,45 „
1000°	41,32 „				28,95 „	
1100°	45,22 ± 0,6				32,85 ± 0,6	
1200°	49,02 „					

*) Thermoelektrisch geprüft.

Die Bezeichnungen Vacoplus und Vacominus sind als Warenzeichen angemeldet.

Für die Spannungsreihen der Tabelle 1 ist die Bezugstemperatur 0° C. Bei einer Bezugstemperatur von 20° C erniedrigen sich die Thermospannungswerte um folgende Beträge:

Vacoplus — Vacominus 0,82 mV; Vacoplus — Thermo-Konstantan 1,25 mV; Thermo-Eisen — Thermo-Konstantan 1,05 mV; Kupfer — Thermo-Konstantan 0,80 mV; Chromnickel B — Vacominus 0,44 mV.

Für beliebige Bezugstemperaturen zwischen 0 und 50° lassen sich die gemessenen Thermospannungen nach folgender Formel auf eine Bezugstemperatur von 0° umrechnen:

$$e_0 = e_t + kt.$$

e_0 = Thermospannung (mV) bei der Bezugstemperatur 0° C,

e_t = Thermospannung (mV) bei der Bezugstemperatur t° C,

k = eine vom Thermopaar abhängige Konstante; es ist

- k = 0,041 für Vacoplus — Vacominus
- 0,062 für Vacoplus — Thermo-Konstantan
- 0,053 für Thermo-Eisen — Thermo-Konstantan
- 0,040 für Kupfer — Thermo-Konstantan
- 0,022 für Chromnickel B — Vacominus.

Vacoplus — Vacominus verbindet hohe Thermospannung mit guter Hitzebeständigkeit und findet daher vielseitige Anwendung. Zu beachten ist, daß Vacominus im wesentlichen aus Nickel besteht und daher gegen jede Einwirkung schwefelhaltiger Gase geschützt werden muß.

Vacoplus — Thermo-Konstantan ist eine Kombination, die bei guter Oxydationsbeständigkeit sehr hohe Thermospannungen liefert.

Thermo-Eisen — Thermo-Konstantan hat ebenfalls eine wesentlich höhere Thermospannung als das erstgenannte Element, ist jedoch wegen der geringen Zunderbeständigkeit des Eisens auf Temperaturen bis zu 600° beschränkt. In feuchter Umgebung ist der Eisenschenkel der Gefahr des Rostens ausgesetzt, ein Vorgang, der aber ohne Einfluß auf die thermoelektrischen Eigenschaften ist.

Kupfer — Thermo-Konstantan gibt ähnliche Thermospannungen wie Thermo-Eisen — Thermo-Konstantan und findet dort Anwendung, wo der Angriff durch Feuchtigkeit die Verwendung von Eisen verbietet, also etwa für Messungen in Wasserdampf.

Chromnickel B (thermoelektrisch geprüft) — Vacominus ist eine Sonderentwicklung, die zwar nicht von der Normung erfasst wurde, aber doch eine gewisse Verbreitung gefunden hat. Trotz seiner nicht sehr hohen Thermospannung besitzt das Element Vorzüge gegenüber Vacoplus — Vacominus. Sein Plusschenkel ist ähnlich zusammengesetzt wie unsere hochhitzebeständige Heizleiterlegierung Vacromium B (NiCr 60 15), und hat daher sehr gute Oxydations- und Korrosionsbeständigkeit. Bildet man ihn, wie es vielfach geschieht, als Rohraus, so kann man den Minusdraht geschützt ins Innere legen. Das Element hat dann nur geringen Raumbedarf und äußerst kleine Wärmeträgheit. Die Konstanz der Thermospannung bei hohen Temperaturen ist sehr gut.

OAL-Element („Ohne-Ausgleichs-Leitung“). Wie eingangs schon erwähnt, hat dieses Element, dessen Schenkel der Legierungsreihe Kupfer-Nickel entnommen sind, nennenswerte Thermospannungen erst bei mehr als 200°. Man kann also, ohne Meßfehler befürchten und ohne Ausgleichsleitungen verwenden zu müssen, den Übergang auf gewöhnliche Zuleitungsdrähte bereits an einer Stelle vornehmen, deren Temperatur beliebig zwischen 0 und 150° schwanken darf. Die Thermospannung ist zwar nicht so groß wie die der anderen hier genannten Elemente, übertrifft aber im Arbeitsbereich von etwa 300—700° die des weitverbreiteten Platinrhodium — Platin-Elements.

Die Tabellen 2 und 3 machen einige ergänzende Angaben über die Eigenschaften unserer Werkstoffe für Thermoelemente. Für die richtige Bemessung von Thermoelement, Zuleitung und Anzeigegerät ist die Kenntnis des elektrischen Widerstandes wichtig. Da sich bei Erwärmung der Widerstand des Thermoelements ändert, wird in Tabelle 3 die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes angegeben. Um den Widerstand bei einer bestimmten Temperatur zu errechnen, muß der Kaltwiderstand mit dem betreffenden, aus Tabelle 3 zu entnehmenden Temperaturfaktor multipliziert werden.

Tabelle 2

Material	Normbezeichnung	Hauptbestandteile	spez. Gewicht g / cm ³	spez. Widerstand bei 20° Ohm mm ² /m	mittl. Ausdehnungskoeff. x 10 ⁶ (20-600°)
Vacoplus	NiCr	10 % Cr, Rest Ni	8,6	0,70	15,5
Vacominus	Ni	Ni	8,8	0,23	15,5
Thermo-Konstantan	Konst.	46 % Cu, Rest Ni	8,8	0,50	16,5
Thermo-Eisen	Fe	Fe	7,8	0,11	14,5
Kupfer	Cu	Cu	8,9	0,017	17,0
Chromnickel B	—	60 % Ni, 18 % Cr, Rest Fe	8,2	1,11	16,5
OAL-Plus	—	7,5 % Cu, Rest Ni	8,8	0,16	15,5
OAL-Minus	—	30 % Cu, Rest Ni	8,8	0,42	16,0

Tabelle 3

Material	Temperaturfaktor										
	20°	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	900°	1000°
Vacoplus	1,00	1,02	1,06	1,09	1,13	1,15	1,17	1,20	1,22	1,24	1,27
Vacominus	1,00	1,20	1,50	1,72	1,83	1,93	2,04	2,15	2,26	2,37	2,48
Thermo-Konstantan	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,03	1,05	1,06		
Thermo-Eisen	1,00	1,52	2,18	3,01	4,05	5,28	6,76	8,59	10,39		
Kupfer	1,00	1,32	1,73	2,15	2,55	2,97	3,37				
Chromnickel B	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12
OAL-Plus	1,00	1,32	1,78	2,35	2,57	2,75	2,90	3,05	3,21	3,36	3,49
OAL-Minus	1,00	1,13	1,17	1,20	1,23	1,26	1,29	1,33	1,36	1,39	1,43

2. Prüfung. In Tabelle 1 sind die Thermospannungen und ihre zulässigen Abweichungen angegeben. Die thermoelektrischen Eigenschaften der Einzelschenkel sind bisher nicht durch Normung festgelegt, so daß es im Grunde möglich wäre, durch Ausschuchen und Kombinieren von Legierungen mit ganz verschiedenen Einzelschneigenschaften die richtigen Spannungsreihen zu erhalten. Ein solches Verfahren würde aber für den Verbraucher den Nachteil mit sich bringen, daß die einzelnen Schenkel nicht gegen neue austauschbar wären, und daß beim Zusammenbau der Elemente streng auf die Zusammengehörigkeit der Lieferungen von Einzelschenkeln geachtet werden müßte.

Wir sind daher schon vor vielen Jahren dazu übergegangen, anhand ausgesuchter Standarddrähte die thermoelektrischen Eigenschaften der einzelnen Schenkel für unsere Fertigung festzulegen. Lieferungen von Thermoelementmaterial werden in der Weise geprüft, daß die Abweichung gegen den betreffenden Standarddraht festgestellt wird, wobei als Grenze die Hälfte der für das ganze Element geltenden Toleranzen zugelassen wird. So ist es dem Verbraucher möglich, ohne Risiko und ohne Einbuße an Genauigkeit einzelne Schenkel auszuwechseln oder Schenkel, die zu verschiedenen Zeiten von uns geliefert wurden, zu einem richtigen Thermoelement zusammenzubauen.

Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist folgender: Es wird nur sehr selten vorkommen, daß z. B. ein an der oberen Grenze liegender Pluschenkel mit einem an der unteren Grenze liegenden Minuschenkel kombiniert wird, wodurch eine Gesamtabweichung des Elements um die volle Toleranz nach oben entstehen würde. Es ist vielmehr die Regel, daß sich die Abweichungen der Einzelschenkel im Thermopaar weitgehend ausgleichen, so daß die Elemente meist die angegebenen Toleranzbereiche überhaupt nicht beanspruchen. Durch Auswahl geeigneter Schmelzen ist es uns auf besondere Bestellung möglich, den Schwankungsbereich auf die Hälfte herabzusetzen und Einzelschenkel zu liefern, deren Abweichungen vom Standarddraht nur halb so groß wie üblich sind, d. h. nur ein Viertel der in Tabelle 1 genannten Toleranzen betragen.

Die Prüfung der einzelnen Thermoelementmaterialien nehmen wir so vor, daß die Abweichungen vom Standarddraht in Abhängigkeit von der Temperatur im ganzen Bereich von 20° bis zur jeweils höchsten Gebrauchstemperatur mit einer Registriervorrichtung aufgezeichnet werden. Es besteht so die Gewähr, daß bei keiner Zwischentemperatur die Abweichungen unzulässig groß sind. Diese Art der Prüfung hat sich als äußerst wichtig erwiesen. Auf Grund unserer Erfahrungen müssen wir davor warnen, beliebige Drähte (Eisen, Kupfer, Nickel) als Thermoelementschenkel zu verwenden, weil auch bei diesen „reinen“ Metallen die thermoelektrischen Eigenschaften sehr verschieden sein können und weil es außerdem dann vorkommen kann, daß ein Element zwar bei 1000° die richtige Thermospannung liefert, bei 300 oder 600° beispielsweise jedoch stark von den Sollwerten abweicht.

Da die Eigenschaften der Einzelschenkel nicht allgemein festgelegt sind, darf man natürlich nicht erwarten, daß ein durch Kombination von Drähten verschiedener Hersteller gebildetes Thermoelement die richtige Spannungsreihe besitzt.

III) Werkstoffe für Ausgleichsleitungen

Wie eingangs dargelegt wurde, müssen die Schenkel der Ausgleichsleitungen gegeneinander dieselbe Thermospannung liefern wie das zugehörige Thermoelement. Da die Temperatur der Verbindungsstelle mit dem Thermoelement wohl nur selten höher als 150° ist, genügt es, daß die Ausgleichsleitungen die gestellte Forderung im Bereich zwischen 20 und 200° erfüllen.

Als Ausgleichsleitungen können die gleichen Legierungen wie für die Thermoelemente selbst benutzt werden (z. B. für Vacoplus — Vacominus „Kompensation A Plus — Kompensation A Minus“), wobei die Prüfung lediglich bis 200° erstreckt wird. Bei Thermoelementen, deren einer Schenkel aus Thermo-Konstanten besteht, ist dieser Weg der einzig mögliche.

Für das Thermoelement Vacoplus — Vacominus liefern wir als Ausgleichsleitungen auch Sonderlegierungen mit niedrigerem spez. Widerstand. Es kommen 2 Kombinationen in Betracht, von denen die eine als Plus-schenkel Thermo-Eisen („Kompensation B Plus“), die andere Kupfer („Kompensation C Plus“) verwendet, während die Minusschenkel dem Legierungssystem Kupfer-Nickel entnommen sind („Kompensation B Minus“ bzw. „Kompensation C Minus“).

Für das Thermoelement Platinrhodium — Platin, dessen Lieferung selbst nicht zu unserem Fabrikationsprogramm gehört, stellen wir Ausgleichsleitungen mit sehr kleinem spez. Widerstand her („Rhodium-Kompensation“ bzw. „Platin-Kompensation“).

In Tabelle 4 werden einige Eigenschaften der Werkstoffe für Ausgleichsleitungen angegeben.

Tabelle 4					
Material	Normbezeichnung (Din 43 713)	zugehöriges Thermoelement	Hauptbestandteile	spez. Gewicht g/cm ³	spez. Widerstand bei 20° Ohm mm ² /m
Komp. A Plus	NiCr	NiCr-Ni	10 % Cr, Rest Ni	8,6	0,70
Komp. A Minus	Ni	"	Ni	8,8	0,23
Komp. B Plus	SoNiCr	"	Fe	7,8	0,11
Komp. B Minus	SoNi	"	18 % Ni, Rest Cu	8,8	0,25
Komp. C Plus	SoNiCr	"	Cu	8,9	0,017
Komp. C Minus	SoNi	"	58 % Ni, Rest Cu	8,8	0,50
Rhodium-Komp.	SoPIRh	PIRh-PI	0,1 % Ni, Rest Cu	8,9	0,02
Platin-Komp.	SoPI	"	1 % Ni, Rest Cu	8,9	0,03

Die Ausgleichsleitungen für die übrigen, in Tabelle 4 nicht genannten Thermoelemente bestehen aus den gleichen Werkstoffen wie die betreffenden Thermoelementschenkel. Ihre Eigenschaften können daher der Tabelle 2 entnommen werden.

IV) Lieferformen.

Werkstoffe für Thermoelemente werden in Form von Drähten, Stäben, Bändern und Rohren hergestellt. An jedem Ring, jeder Rolle, jedem Band und jedem Rohr werden die thermoelektrischen Eigenschaften geprüft. Die festgestellte Abweichung vom Standarddraht, und zwar im allgemeinen nur die bei der höchsten Gebrauchstemperatur, wird auf einem Anhängeschild vermerkt. Auf Wunsch werden die Abweichungen über den ganzen Temperaturbereich oder auch, bei Lieferung zusammengehöriger Plus- und Minusschenkel, die für die Kombination von beiden festgestellte Thermospannungsreihe angegeben.

B) Schutzrohre

Zur Montierung von Thermoelementen verwendet man häufig metallische Schutzrohre, von denen Zunder- und Korrosionsbeständigkeit, mechanische Festigkeit und Gasdichtheit verlangt werden müssen. Sie haben gegenüber keramischen Rohren den Vorteil der größeren Haltbarkeit und des besseren Wärmeleitvermögens. In Tabelle 5 sind die von uns hergestellten Schutzrohr-Werkstoffe angegeben.

Material	Normbezeichnung (Din 43 720)	Hauptbestandteil	höchste Gebrauchstemperatur
Chrom Eisen 30	× 10 CrSi 29	30 % Cr, 1,5 % Si, Rest Fe	1200°
Chrom Eisen 25	—	25 % Cr, 2 % Si, Rest Fe	1200°
Chrom Eisen 25 Al	× 10 CrAl 24	24 % Cr, 1,5 % Si, 1,5 % Al, Rest Fe	1200°
Chrom Eisen 18	× 10 CrSi 18	18 % Cr, 2 % Si, Rest Fe	1050°
Chrom Eisen 18 Al	× 10 CrAl 18	18 % Cr, 1 % Si, 1 % Al, Rest Fe	1050°
Vacromium B	NiCr 60 15	60 % Ni, 18 % Cr, Rest Fe	1200°
Vacromium F	NiCr 30 20	33 % Ni, 20 % Cr, Rest Fe	1200°
Vacromium G	× 15 CrNiSi 24 19	20 % Ni, 25 % Cr, Rest Fe	1200°

Die angegebenen höchsten Gebrauchstemperaturen gelten für die Verwendung in Luft. Beim Auftreten chemisch angreifender Gase sind folgende Gesichtspunkte für die Auswahl der Werkstoffe maßgebend: Die Empfindlichkeit von Nickel gegen Schwefel ist bekannt. Die Beständigkeit der Legierungen in schwefelhaltiger Atmosphäre ist um so kleiner, je höher ihr Nickelgehalt ist. Man wird also in solchen Fällen Chrom Eisen verwenden.

In stickstoffreicher, sauerstoffarmer Atmosphäre ist dagegen die Beständigkeit der Chromnickellegierungen wesentlich besser als die von Chrom Eisen.

Die folgende Tabelle 6 faßt die Angaben über die Beständigkeit der einzelnen Werkstoffe in übersichtlicher Form zusammen.

Material	Normbezeichnung	Beständigkeit in folgenden Gasen:			
		schwefelhaltig		stickstoffreich	aufkohlend
		oxydierend	reduzierend	sauerstoffarm	
Chrom Eisen 30	10 CrSi 29	sehr groß	groß	mittel	mittel
Chrom Eisen 25	—	sehr groß	groß	mittel	mittel
Chrom Eisen 25 Al	× 10 CrAl 24	sehr groß	groß	gering	mittel
Chrom Eisen 18	× 10 CrSi 18	sehr groß	mittel	mittel	mittel
Chrom Eisen 18 Al	× 10 CrAl 18	sehr groß	mittel	gering	mittel
Vacromium B	NiCr 60 15	gering	gering	groß	gering
Vacromium F	NiCr 30 20	gering	gering	mittel	gering
Vacromium G	× 15 CrNiSi 24 19	gering	gering	mittel	gering

Ganz allgemein ist die Warmfestigkeit (Dauerstandfestigkeit) von Chromnickellegierungen wesentlich höher als die von Chrom Eisenlegierungen.

Wir fertigen Schutzrohre in nahtgeschweißter oder nahtloser Ausführung. Übliche Abmessungen für Schutzrohre sind beispielsweise: 22 mm Außendurchmesser, 2 mm Wandstärke. Völlig nahtlose, einseitig geschlossene Rohre haben bei diesem Durchmesser eine größte Länge von 730 mm. Durch Anschweißen beiderseits offener nahtloser Rohre läßt sich die Länge beliebig vergrößern, ohne daß die besonders guten Eigenschaften solcher Rohre wesentlich beeinträchtigt werden, da in den meisten Fällen die kurze ringförmige Schweißnaht schon nicht mehr in der Zone höchster Temperaturbeanspruchung liegen wird.

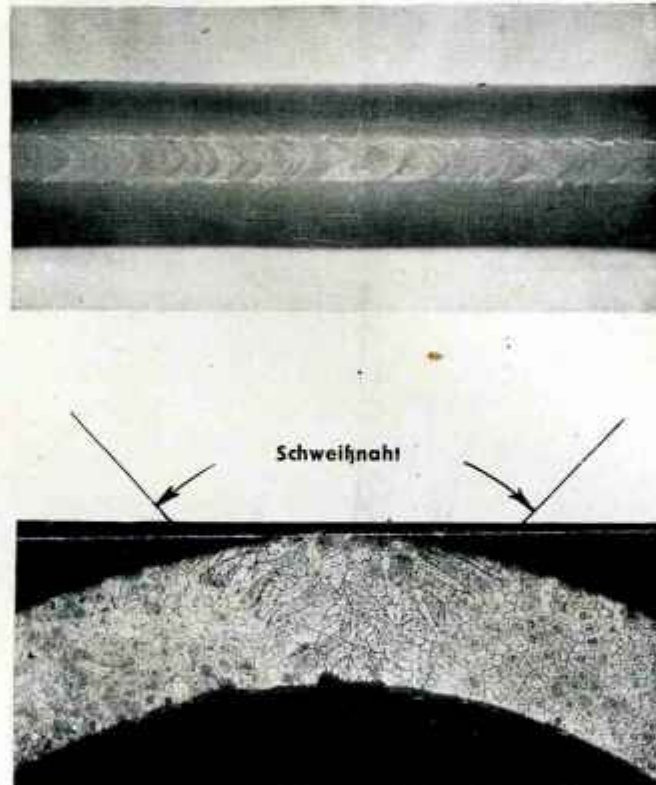


Abb. 3

Bei den nahtgeschweißten Rohren ist die Beschaffenheit der Schweißnaht von ausschlaggebender Bedeutung für die Güte des Rohres. Unsere langjährigen Erfahrungen bieten gerade auch auf diesem Gebiet Gewähr für einwandfreie Arbeit. Abb. 3 zeigt die Außenansicht einer Schweißnaht in etwa natürlicher Größe und einen Querschliff in 10facher Vergrößerung. Man erkennt die fehlerlose Bindung, den gleichmäßigen und fast unmerklichen Übergang von der Rohrwand in die Schweißzone und die völlig gleichbleibende Wandstärke. Zur Kontrolle der Gasdichtheit werden sämtliche Rohre mit einem Innendruck von 20 kg/cm² geprüft.

Wie bereits oben für den Thermoelementschenkel Chromnickel B (thermoelektrisch geprüft) ausgeführt wurde, können Legierungen für Thermoelemente in Rohrform hergestellt werden und den anderen Schenkel in Drahtform in sich aufnehmen, so daß sie gleichzeitig als Schutzrohr und als Thermoelementschenkel wirken. Eine für Chromnickel B übliche Rohrabmessung hat beispielsweise 4 mm Außen- und 2,5 mm Innendurchmesser. Man wird natürlich darauf achten, daß die Komponente mit besserer Hitze- und Korrosionsbeständigkeit als Rohr ausgebildet wird. Für Sonderfälle können auch nicht genormte Legierungen als Schutzrohre geliefert werden.