Les sondes de température sont utilisées pour mesurer la température aux éléments de mesure installés ou aux éléments de construction. Les résultats permettent des corrections à faire en réponse aux changements de température. Ces changements de température à des extensomètres p. ex. peuvent provoquer des allongements ou des raccourcissements de la tige de mesure.

Les principes suivants sont utilisés pour la mesure de température par contact, avec traitement électrique ultérieur des données:

- Thermomètres à résistance électrique (Pt 100, NTC, ...), i. e.:
  Résistance en fonction de la température (R = f (T))
- Couples thermoélectriques (NiCr - Ni, PtRh-Pt, ...), i. e.:
  Tension en fonction de la température (U = f(T))
- Palpeurs de cristal oscillateur, i. e.:
  Fréquence en fonction de la température (F = F(T))

Un **thermomètre à résistance électrique** se compose

- de la résistance de précision et
- des éléments d'installation et de raccordement nécessaires, p. ex. le tube protecteur.

Il utilise la relation de la résistance électrique d'un conducteur métallique et sa température. Dans la majorité des cas les thermomètres à résistance électrique sont soit en platine; nickel, cuivre et nouvellement iridium sont aussi utilisés.

Les résistances de précision sont alignées de 0 ° C à 100 Ω ± 0,1 Ω. La résistance augmente en général si la température augmente. Elle change d'après une série spécifiée de valeurs fondamentales reproductible. Les séries de valeurs fondamentales pour platine et nickel sont spécifiées d'après IEC 751 du décembre 1990 et mentionnées dans des tables. Les gammes sont:

nickel 100 (Ni 100): - 60 ° jusqu'à + 180 ° C
platine 100 (Pt 100): - 200 ° jusqu'à + 850 ° C

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97

Les changements de résistance sont transmis comme changements de tension par des câbles en cuivre soit directement soit par transducteur de mesure. Il y a une certaine erreur par la résistance de la conduite d'alimentation. Selon les exigences de la précision de mesure on distingue le circuit à deux, trois, ou quatre conducteurs dans le type de connexion utilisé dans le circuit d'entrée du transducteur de mesure (fig 1).

En cas du circuit à deux conducteurs la connexion au transducteur est constituée de deux brins seulement. Leur résistance est en série avec la résistance de précision et doit être alignée (en général à 10 Ω). Les changements de résistance des conduites d'alimentation interviennent dans la mesure comme erreur.

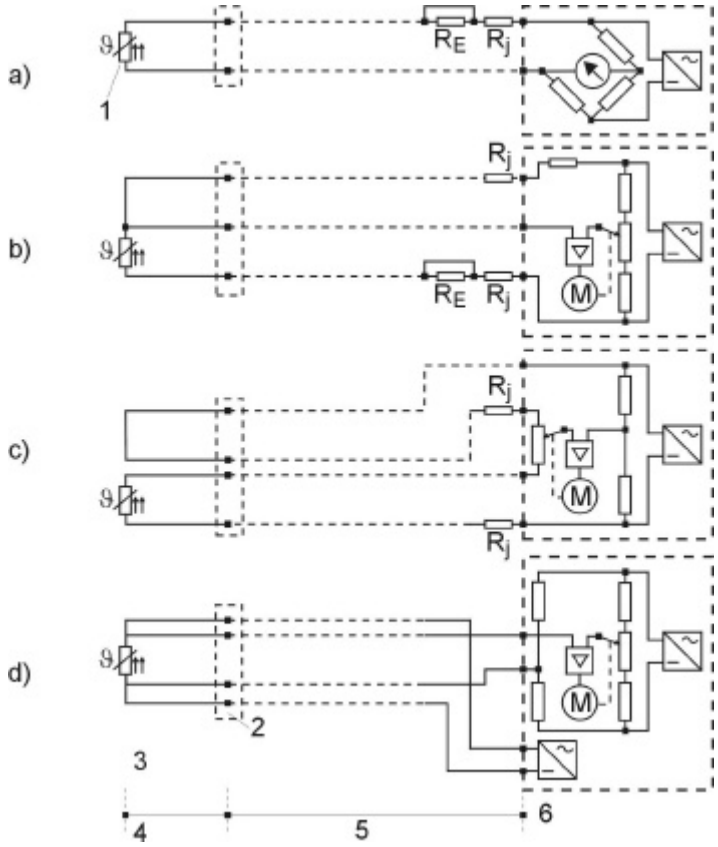


Fig 1 Mesure de température avec le thermomètre à résistance électrique

1	Résistance de précision	2	Bornes
3	Elément de mesure	4	Conducteurs internes
5	Conduites d'alimentation	6	Unité de sortie

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97

La figure 1a) montre en dessin schématique un circuit à deux conducteurs avec pont de Wheatstone et élément à cadre mobile (méthode de déflexion), 1b) un circuit à trois conducteurs avec circuit à pont avec équilibrage automatique d'après la méthode pont - zéro, 1c) un circuit à pont avec équilibrage automatique d'après la méthode pont - zéro avec circuit à deux conducteurs et une boucle de conducteur additionnelle, et 1d) la méthode de compensation de tension avec équilibrage automatique et circuit à quatre conducteurs.

Avec le circuit àtrois conducteurs les erreurs par suite de changements de température des conducteurs ne sont que de 1/10ème de celles avec le circuit à deux conducteurs.

En cas du circuit à quatre conducteurs la mesure est largement indépendante de la résistivité, un équilibrage n'est pas nécessaire.

Un **couple thermoélectrique** est constitué

- d'une paire de palpeurs et
- des éléments d'installation et de raccordement nécessaires, p. ex. le tube protecteur.

Un couple thermoélectrique se compose de deux fils de métaux ou d'alliages de métaux différents qui sont brasés ou soudés par points à une extrémité - le point de mesure.

Les paires suivantes d'après DIN 43710 ou IEC 584-1 ont spécialement fait leurs preuves dans l'application industrielle:

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97

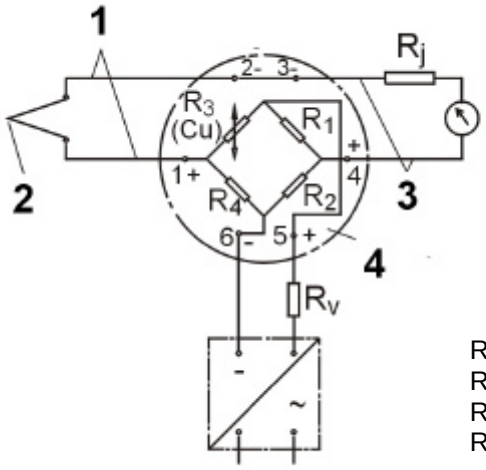
Type				Gamme d'application de température [°C]
Symbole		Signe caractéristique		
DIN 43710	IEC584-1	Lettre	Couleur pôle pos.	
Cu-CuNi		U	rouge	- 200 à + 900
	Cu-CuNi	T	brun	- 200 à + 350
Fe-CuNi		L	rouge	- 200 à + 600
	Fe-CuNi	J	noir	- 240 à + 750
	NiCr-Ni	K	vert	- 200 à + 1200
	Pt13Rh-Pt	R	orange	0 à + 1600
	Pt10Rh-Pt	S	orange	0 à + 1600
	Pt30Rh-Pt6Rh	B	blanc	+ 600 à + 1700

En règle générale les couples thermoélectriques sont plus stables en ce qui concerne la mécanique que les thermomètres à résistance électrique et ils ont un temps de réaction plus court.

Chaque différence de température entre les extrémités libres (point de connexion) d'un couple thermoélectrique et le point de mesure provoque une tension thermoélectrique (effet SEEBECK). Car une différence de température est toujours prise, il faut définir un point de référence avec température connue. Les extrémités libres du couple thermoélectrique (jambe positive et négative) sont jointes dans une connexion bipolaire à un point de raccordement (p. ex. le culot dans la tête de raccordement). On utilise des conducteurs de compensation pour allonger les palpeurs de leur point de raccordement à un point d'une température si constante que possible, le point de référence. Jusqu'à 200 ° C les valeurs fondamentales et les tolérances pour les conducteurs de compensation sont les mêmes que pour les couples thermoélectriques respectifs. La structure des conducteurs de compensation est standardisée dans DIN 43714.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97

L'influence des variations de température au point de référence peut être compensée par un circuit compensateur, p. ex. par une boîte de compensation (fig 2):



R_1, R_2, R_4 résistances à pont fixes
R_3 résistance à pont en fonction de la température
R_j résistance de tarage
R_v résistance série selon le type du couple thermoélectrique

Fig 2 Interconnexion d'une boîte de compensation avec un couple thermoélectrique et une boîte de courant
1 Conducteur compensateur, **2** Couple thermoélectrique,
3 Conducteur Cu, **4** Boîte de compensation

La boîte de compensation est alimentée d'énergie auxiliaire par un stabilisateur de courant séparé. Elle contient un circuit à pont Wheatstone, qui est aligné pour une température de 20 ° ou 0 ° C. Si la température au point de référence dérive de la valeur de référence, la résistance R_3 du pont en fonction de la température change. Dans la diagonale du pont se forme une tension positive ou négative, qui est additionnée à la tension thermoélectrique. Pour chaque type de couple thermoélectrique un autre courant du pont est nécessaire.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97

Pour le circuit de sortie on distingue la méthode de connexion à deux et à quatre conducteurs (fig 3).

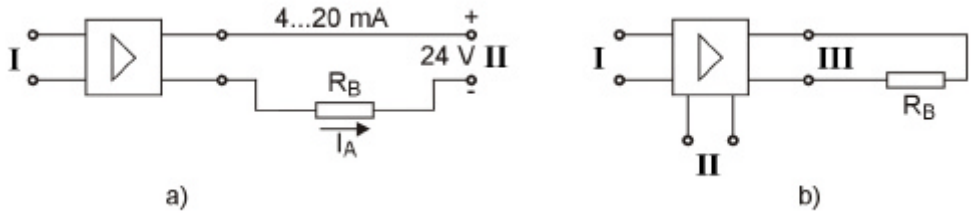


Fig 3 Mesure de température avec un couple thermoélectrique
a) Méthode de connexion à deux conducteurs
b) Méthode de connexion à quatre conducteurs
I Entrée
II Alimentation
III Sortie

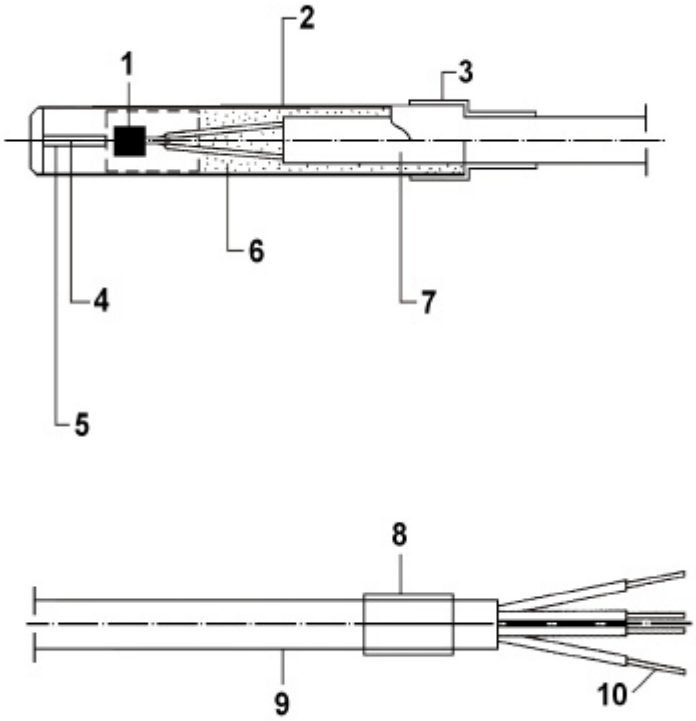
Avec la méthode à deux conducteurs le signal transmis par le transducteur de mesure est superposé à la tension d'alimentation. Le signal de sortie est entre 4 et 20 mA.

Avec la méthode de quatre conducteurs le signal de sortie (courant ou tension) est isolé de la tension d'alimentation. Il y a deux conducteurs pour l'énergie auxiliaire et deux conducteurs pour le signal de sortie.

En cas d'un **palpeur de cristal oscillateur** - une autre possibilité pour mesurer la température - il y a un cristal oscillateur sous la forme d'un diapason dans un tube d'un diamètre de quelques millimètres, rempli de gaz et fermé hermétiquement. La fréquence de résonance du corps du cristal, qui montre une caractéristique de fréquence / température presque linéaire, est utilisée pour le but de mesure. La gamme de mesure des palpeurs de cristal oscillateur est limitée à – 70 ° C jusqu'à + 300 ° C. Dans cette gamme de température les palpeurs de cristal oscillateur sont supérieurs aux thermomètres à résistance électrique et aux couples thermoélectriques en beaucoup de caractéristiques de puissance, spécialement en la stabilité du zéro, qui peut être supposée de 0,1 ° C / 10 ans. Jusqu'à présent le palpeur de cristal oscillateur est rarement utilisé dans la géotechnique; les thermomètres à résistance électrique et les couples thermoélectriques sont utilisés le plus souvent.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97

Fig 1 montre la construction des sondes de température utilisées le plus souvent pour mesurer la température des instruments de mesure. Ces sondes de température se composent essentiellement d'une résistance de platine Pt 100 de l'entreprise Heraeus, type FKG 1030,6 M et sont appropriées aux températures jusqu'à 500 ° C. Aux extensomètres, aux inclinomètres et aux capteurs de contraintes les températures ne doivent pas dépasser 80 ° C à cause des matériaux utilisés. A cause de cela ce type de sonde de température ne doit pas mesurer des températures plus hautes et n'est pas dessiné pour températures plus de 150 ° C. Les valeurs fondamentales en Ohms de 1 à 1 ° C pour le thermomètre à résistance platine Pt 100 d'après DIN IEC 751 sont mentionnées dans la table suivante. Après le câblage la fonction de chaque sonde de température est contrôlée en plongeant les sondes dans l'eau glacée et en vérifiant si la résistance est de 100 Ω selon les spécifications du producteur.



1 Brasures tendres isolées par ruban pour températures élevées (150 ° C)
2 Tube protecteur 16 x 0,75 (acier – St37)
3 Tube flexible
4 Résistance de précision Pt 100 DIN 43760/B, type Heraeus FKG 1030,6 M insérée dans une pâte conductrice de la chaleur
5 Platine support
6 Compound
7 Ligne pilote 4 x 0,5 mm² isolée par C.P.V. séparément et ensemble; écrannage par des fils de cuivre étamés
8 Tube flexible avec numérotage
9 Ligne pilote d = 9,4 mm
10 Extrémités du câble étamées

Fig 1 Schéma du thermomètre à résistance Pt 100

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97

Couples thermoélectriques

A côté des capteurs à résistance les couples thermoélectriques sont la deuxième sorte „classique“ des sondes de température, où une tension thermoélectrique est la grandeur pour la température. Les couples thermoélectriques s'excellent dans une grande robustesse. On peut les utiliser jusqu'à + 2200 ° C, tandis que les capteurs à résistance sont particulièrement adaptés aux températures très basses jusqu'à - 270° C et aux températures moyennes jusqu'à + 850° C à une résolution jusqu'à 0,0001 % et une erreur de 0,04 ° C.

Usuellement on n'utilise que les couples thermoélectriques NiCr-Ni de prix très modéré et d'un diamètre de brin de 0,5 à 1,0 mm parce que c'est suffisant en ce qui concerne la précision des mesures et l'intervalle de température qu'on doit mesurer. Les extrémités des fils sont soudées ou brasées, parfois seulement câblées. Mais ce câblage peut mener à des altérations par humidité dans la couche limite. La table 1 indique la tension thermoélectrique en µV pour les couples thermoélectriques NiCr-Ni, par rapport à une température d'un point comparatif de 0 ° C d'après IEC 584.

Table 1: Tension thermoélectrique en µV pour couples thermoélectriques d'après DIN IEC 584 à une température d'un point comparatif de 0 ° C

T(°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-20	-777	-739	-701	-662	-624	-585	-547	-508	-469	-431	-392
-10	-392	-353	-314	-275	-236	-197	-157	-118	-79	-39	0
0	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357	397
10	397	437	477	517	557	597	637	677	718	758	798
20	798	838	879	919	960	1000	1041	1081	1122	1162	1203
30	1203	1244	1285	1325	1366	1407	1448	1489	1529	1570	1611
40	1611	1652	1693	1734	1776	1817	1858	1899	1940	1981	2022
50	2022	2064	2105	2146	2188	2229	2270	2312	2353	2394	2436
60	2436	2477	2519	2560	2601	2643	2684	2726	2767	2809	2850
70	2850	2892	2933	2975	3016	3058	3100	3141	3183	3224	3266
80	3266	3307	3349	3390	3432	3473	3515	3556	3598	3639	3681
90	3681	3722	3764	3805	3847	3888	3930	3971	4012	4054	4095
100	4095	4137	4178	4219	4261	4302	4343	4384	4426	4467	4508

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tél.: ++7243/5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: ++7243/5983-97