

TECHNISCHES PRAKTIKUM

VERSUCH: TEMPERATURMESSMETHODEN	Name: Semester: Matr.Nr.:
Datum: Abmeldung spätestens 1 Woche vor dem Versuch	Abgabe: 1 Woche nach dem Versuch Testat : 1 Woche nach der Abgabe

Einführung

Die Thermodynamik definiert Temperaturbegriff und Temperaturskala und macht damit das messbar, was unsere Sinnesorgane unscharf als heiß, warm, kühl oder kalt aufnehmen. Das Messgerät, ein Thermometer im weitesten Sinne, wird mit dem Messobjekt in möglichst gut wärmeübertragende Berührung gebracht und nimmt, wenn seine Wärmekapazität gegen die des Messobjekts vernachlässigbar klein ist, nach einer bestimmten Einstellzeit dessen Temperatur an. Mit der Temperaturänderung treten am Thermometer Veränderungen auf, die wir als Temperaturmaß benutzen. Es gibt sehr viele physikalische und chemische Vorgänge mit einer klaren Temperaturabhängigkeit; danach wurden zahlreiche Messverfahren definiert und die entsprechenden Geräte entwickelt.

Entsprechend dem jeweils ausgenutzten physikalischen Effekt lassen sich die technischen Temperatur-Messverfahren folgendermaßen unterteilen:

- I. Mechanische Messverfahren, die entweder auf der thermischen Ausdehnung der Thermometersubstanz beruhen (Ausdehnungsthermometer) oder aber auf der thermischen Spannung, die in einer Thermometersubstanz entsteht, wenn sie sich nicht ausdehnen kann; bei Flüssigkeiten und Gasen wird diese Spannung als Druck gemessen (Tensions-Federthermometer).
- II. Elektrische Messverfahren: Die beiden wichtigsten beruhen auf der Temperaturabhängigkeit des Ohmschen Widerstandes eines elektrischen Leiters oder Halbleiters (Widerstandsthermometer) bzw. auf der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Spannung, die an der Verbindungsstelle zweier elektrischer Leiter aus verschiedenen Metallen entsteht (Thermoelement).
- III. Berührungslose Verfahren bestimmen die Temperatur aufgrund der vom Messobjekt ausgehenden Wärmestrahlung. Dieses Verfahren ermöglicht neben der punktförmigen Messung auch die flächige Erfassung von Temperaturverteilungen (z.B. zum Auffinden von Wärmelecks an Gebäuden).
- IV. Indikatorverfahren, bei denen es sich jedoch nicht um Messverfahren im engeren Sinne handelt, sondern das Erreichen einer Grenztemperatur durch das Zusammenschmelzen von metallischen oder keramischen Körpern oder durch den Farbumschlag von Thermokoloren angezeigt wird.

Bei verschiedenen Versuchen dieses Praktikums werden Temperaturen mit Flüssigkeitsthermometern, Widerstandsthermometern und Thermoelementen bestimmt. Die verschiedenen Messmethoden werden im folgenden erläutert und verglichen.

1. Flüssigkeitsthermometer

Der Anwendungsbereich dieser aus besonderem Thermometerglas oder Quarzhergestellten Thermometer liegt - bei verschiedenen Thermometerflüssigkeiten - zwischen etwa -200°C und 750°C (Tab.1). Aufbau und Ablesung sind einfach: Die Funktion des Zeigers hat das freie Ende eines Flüssigkeitsfadens in einer Messkapillare, die mit einem meist zylindrischen Glasgefäß verbunden ist, das den weit überwiegenden Teil der Messflüssigkeit aufnimmt. Die Kalibrierung der Messkapillare wie auch die Anbringung der Skala richten sich nach der Genauigkeit, mit der ein Thermometer abgelesen werden soll. Spezielle Thermometer, wie das BECKMANN-Thermometer zur Bestimmung kleiner Temperaturdifferenzen, haben Teilungen auf 0,01 K und ermöglichen noch das Abschätzen von Tausendstelgraden. Damit ist die Auflösungsgrenze von Flüssigkeitsthermometern erreicht.

Technische Temperaturbestimmungen werden vorwiegend bei aus dem Messobjekt herausragendem Flüssigkeitsfaden durchgeführt; dieser hat in der Regel nicht auf seiner ganzen Länge die Temperatur des

Messobjekts. Deshalb muss bei höheren Genauigkeitsansprüchen - rechnerisch oder apparativ - eine entsprechende "Fadenkorrektur" vorgenommen werden.

Tabelle 1: Thermometersubstanzen und Einsatzbereiche

Quecksilber	-39°C bis +750°C
Quecksilber-Thallium	-59°C bis +50°C
Amylalkohol	-110°C bis +135°C
Toluol	-90°C bis +110°C
Pentan	-200°C bis +35°C

von diesen Substanzen hat Quecksilber die beste Wärmeleitfähigkeit und damit die günstigste Einstellzeit

2. Widerstandsthermometer

Mit steigender Temperatur zeigen die meisten Metalle eine teilweise beträchtliche Zunahme des Ohmschen Widerstands. Die Zuordnung von Temperatur und Widerstand ist besonders bei reinsten Metallen sehr gut reproduzierbar; da sich der elektrische Widerstand überdies - bei entsprechendem Geräteaufwand – mit hoher Genauigkeit bestimmen lässt, können mit Widerstandsthermometern die präzisesten Temperaturmessungen überhaupt vorgenommen werden: Das Pt-Widerstandsthermometer dient im Temperaturbereich zwischen -259°C und 961°C als Eichnormal. Mit Widerstandsthermometern sind Messempfindlichkeiten bis auf weniger als 0,001 K zu erzielen.

Als Temperaturfühler dienen dünne Drähte, die auf isolierende Unterlagen aufgespannt sind. Präzisionsthermometer sind gekapselt.

Zur Temperaturmessung mit Widerstandsthermometern werden heute digitale Mess- und Anzeigergeräte verwendet, bei denen der Messwiderstand vierpolig angeschlossen wird, um den Einfluss des Leitungswiderstandes auszuschließen (Abb.1). Durch ein Leiterpaar wird mittels einer Konstantstromquelle der Messstrom von 1 mA geschickt, während am anderen Leiterpaar die am PT-100 abfallende Spannung gemessen wird. Der Widerstand berechnet sich dann nach dem Ohmschen Gesetz: $R = U/I$.

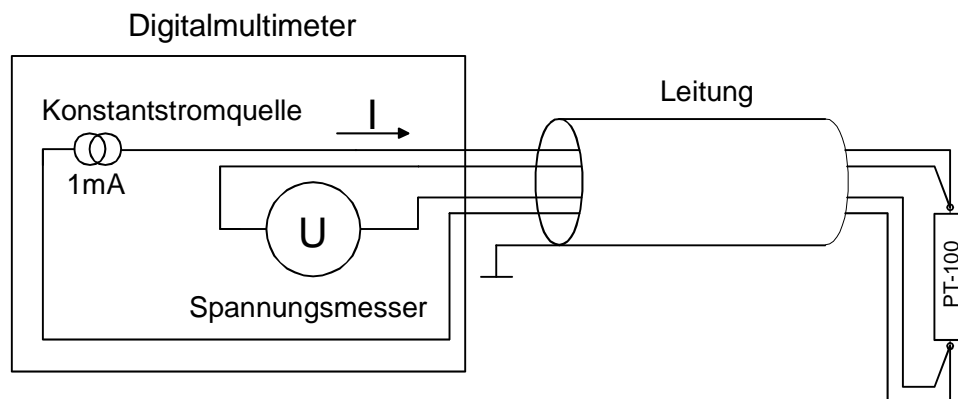


Abb.1

3. Thermoelektrische Thermometer (Thermoelemente)

Nach dem von SEEBECK /1821) entdeckten thermoelektrischen Effekt fließt in einem aus zwei verschiedenen Metallen bzw. Metall-Legierungen bestehenden, geschlossenen Leiterkreis ein Strom, wenn die beiden Verbindungsstellen der Metalle (in der Regel Lötstellen) nicht die gleiche Temperatur haben (T_1 und T_2 in Abb.2). Die treibende Kraft ist die sogenannte Thermospannung oder Thermo-EMK ("EMK" = elektromotorische Kraft). Diese Gleichspannung ist ein Maß für die Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$. Wird an einer der Kontaktstellen die Temperatur konstant gehalten, sogenannte Vergleichsstelle (T_V) und ist die Absoluttemperatur dieser Vergleichsstelle bekannt, so kann über die gemessene Spannung die Absoluttemperatur der zweiten Kontaktstelle berechnet werden (T_M).

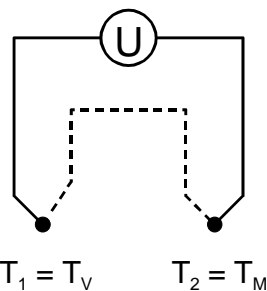


Abb.2

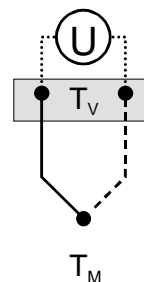


Abb.3

Abb.3 zeigt eine andere, häufig angewendete Schaltung: T_M bezeichnet die Messstelle; die beiden Nebenlötstellen 1 und 2 haben die gleiche, (meist Umgebungs-) Temperatur (T_V). Hier sind die thermoelektrisch wirksamen Metalle A und B mit den Cu-Leitungen der Messanordnung verbunden. Thermoelemente werden in der Mehrzahl aus dünnen Drähten - mit oder auch ohne Ummantelung - hergestellt; daneben gibt es auch flächige Ausführungen: Folien oder auf einer isolierenden Unterlage aufgedampfte Metallschichten. Bei so geringer Masse liegt die Wärmekapazität der Thermoelemente wesentlich unter der aller anderen Thermometer. Das hat den Vorteil, dass die Einstellzeiten kurz sind und die Thermometerrückwirkung selbst auf kleine Messobjekte meist noch vernachlässigt werden kann.

Tab.2 gibt eine Übersicht über die gebräuchlichen Thermoelemente mit ihrem Einsatzbereich.

Tabelle 2: Thermoelemente und ihre Einsatzbereiche

Element	Zusammensetzung	Einsatzbereich (°C)	max.zul.Temp. (°C)
Pt-PtRh	100 Pt / 90 Pt, 10 Rh	0 bis 1450	1700
Chromel-Alumel	90 Ni, 10 Cr/95 Ni, 2 Al, 2Mn, 1 Si	-200 bis 1200	1350
Fe-Konstantan	99,9 Fe / 55 Cu, 45 Ni	-200 bis 750	1000
Cu-Konstantan	99,9 Cu / 55 Cu, 45 Ni	-200 bis 350	600

Literatur zur Temperaturmessung:

- (1) F. KOHLRAUSCH „Praktische Physik“ 23.Auflage B. G. Teubner Stuttgart 1985
- (2) L. v. KÖRTVELYESSY „Thermoelement Praxis“ 2. Auflage Vulkan-Verlag Essen 1987
- (3) F. HENNING, H. MOSER, "Temperaturmessung", 3.Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1977.
- (4) VDE/VDI 3511, Technische Temperaturmessungen.

Aufgabenstellung und Versuchsdurchführung

In drei Versuchsanordnungen werden drei Temperaturmessmethoden untersucht und ihre unterschiedliche Eignung für verschiedene Anwendungsfälle gezeigt.

Aufgabe 1: Vergleich verschiedener Thermometer bei Beharrung (statische Messung)

Mit einem Quecksilberthermometer, einem Widerstandsthermometer und einem Thermoelement soll eine Temperaturen gemessen werden (40°C). Dazu ist die Temperatur in einem Dewargefäß durch einen Flüssigkeitsthermostaten möglichst exakt zeitlich konstant zu halten.

Aufgabe 2: Dynamisches Verhalten von Thermometern

Mit einem Mantelthermoelement geringer Wärmekapazität wird das dynamische Verhalten dieser Thermometer untersucht. Dazu wird das Thermoelement, das sich auf Umgebungstemperatur befindet, möglichst schnell in Eiswasser eingetaucht. Der Verlauf der Thermospannung wird mit einem PC mit eingebautem Analog/Digital-Umsetzer registriert. Die Zeitkonstante des Thermoelements ist zu ermitteln.

Aufgabe 3: Rückwirkungen des Messgeräts auf das Messobjekt

Die Anzeigen eines Quecksilberthermometers und eines Thermoelementes werden in einem Eiswassergemisch überprüft. Danach wird zunächst mit dem Thermoelement, dann mit dem Quecksilberthermometer die Temperatur einer Eispunkt-Referenzzelle gemessen. Anschließend wird erst das Quecksilberthermometer und dann das Thermoelement wieder in das Eiswassergemisch gebracht. Sämtliche Temperaturanzeigen sind kritisch miteinander zu vergleichen.

Aufgabe 4: Kritischer Vergleich und Fehlerabschätzung

Zu den Aufgaben 1 und 3 sind die verschiedenen Messmethoden zu vergleichen und eine Fehlerabschätzung abzugeben.

Technische Daten zu den Thermometern

1. Quecksilberthermometer: $T_w = T_a + \text{Eichkorrektur} + \text{Fadenkorrektur}$

a) Eichkorrektur

Thermometer Nr.	38089	38083
bei 0°C	+0.01°C	-0,02°C
40°C	-	+0.02°C

b) Fadenkorrektur:

$$c \cdot n \cdot (T_a - T_f)$$

T_w = wahre Temperatur, T_a = abgelesene Temperatur
 T_f = mittlere Temperatur des herausragenden Fadens
 n = Länge des herausragenden Fadens in K
 c = Differenz der Ausdehnungskoeffizienten von Glas und Quecksilber $0.16 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

2. Widerstandsthermometer: Pt-100

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + AT + BT^2)$$

T = Temperatur in °C
 R_0 = Grundwiderstand bei 0°C in Ohm
 $A = 3.90784 \cdot 10^{-3}$ $B = -0.578408 \cdot 10^{-6}$

3. Thermoelement:

$$U = AT + BT^2$$

$A = 39.485 \cdot 10^{-3}$, $B = 2 \cdot 10^{-5}$, U in mV; T in °C

Aufgabe 1

			0°C	40°C
Hg-Eichthermometer	abgelesener Wert	°C		
	Länge des herausragenden Fadens	°C		
	Fadenkorrektur	°C		
	Eichkorrektur	°C		
	korrigierte Temperatur	°C		
Pt - 100	abgelesener Widerstand	Ω		
	Temperatur	°C		
	Grundwiderstand	Ω		
Thermoelement	Temperatur der Vergleichsstelle	°C		
	abgelesene Spannung	mV		
	berechnete Temperaturdifferenz	K		
	Temperatur	°C		
	Umgebungstemperatur	°C		

Aufgabe 4

Fehler	Sensor	Meßgerät	Auflösung	Summe
Quecksilberthermometer	K	K	K	K
Pt - 100	K	Ω	Ω	K
		K	K	
Thermoelement	K	mV	mV	K
		K	K	