Thermische Ausdehnung fester Körper

BESTIMMUNG DER AUSDEHNUNGSKOEFFIZIENTEN VON MESSING, STAHL UND GLAS

- Messung der thermischen Längenausdehnung je eines Messing-, Stahl- und Glasrohres.
- Bestimmung der linearen Ausdehnungskoeffizienten dieser Materialien und Vergleich mit den Literaturwerten.

UE2010130

03/16 UD

Fig. 1: Messanordnung.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

In einem Festkörper schwingt jedes Atom um seine Gleichgewichtslage. Die Schwingung ist nicht harmonisch, weil die potentielle Energie stärker ansteigt, wenn sich zwei Atome aus der Gleichgewichtslage nähern, als wenn sie sich voneinander entfernen. Bei höherer Temperatur und somit höherer Schwingungsenergie schwingen die Atome daher so, dass der mittlere Abstand zwischen zwei benachbarten Atomen größer ist als der Gleichgewichtsabstand. Dieser Effekt nimmt mit steigender Temperatur zu, daher dehnt der Festkörper sich mit steigender Temperatur immer stärker aus. Es ist in diesem Zusammenhang üblich, relative Längenänderungen zu betrachten und daraus die Volumenänderungen zu berechnen.

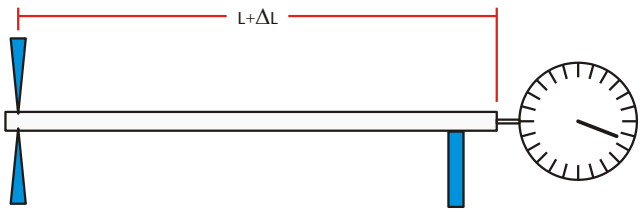

Fig. 2: Schematische Darstellung der Messanordnung.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient ist definiert als

(1) $\alpha = \frac{1}{L(\vartheta)} \cdot \frac{dL}{d\vartheta}$

L: Länge

ϑ: Temperatur in °C

Er ist stark materialabhängig und hängt in der Regel nur wenig von der Temperatur ab. Daher folgt

(2) $L(\vartheta) = L_0 \cdot \exp(\alpha \cdot \vartheta)$

$L_0 = L(0°C)$

bzw. bei nicht zu hohen Temperaturen

(3) $L(\vartheta) = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$

Im Experiment werden Messungen an dünnen Rohren aus Stahl, Messing und Glas durchgeführt, durch die zur Erwärmung warmes Wasser geleitet wird. Ein Umwälzthermostat sorgt für konstante einstellbare Wassertemperatur. Da die Rohre im Längenausdehnungsapparat einseitig fixiert sind, kann mittels Messuhr am anderen Ende die Längenänderung gegenüber der Raumtemperatur als Referenztemperatur abgelesen werden (Fig. 2).

GERÄTELISTE

1 Längenausdehnungsapparat D	1002977 (U15400)
1 Bad-/Umwälzthermostat @230V	1008654 (U144002-230)
oder	
1 Bad-/Umwälzthermostat @115V	1008653 (U144002-115)
1 Messuhr mit Adapter	1012862 (U8442250)
2 Silikonschlauch, 6 mm	1002622 (U10146)

AUFBAU

Umrüstung des Längenausdehungsapparates auf Messuhranzeige

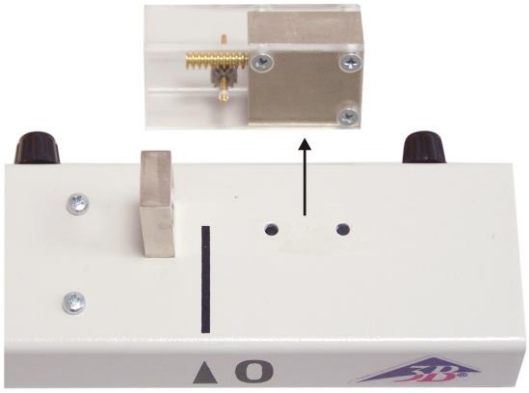

Fig. 3: Am Längenausdehungsapparat den Zahntrieb für den Zeiger abschrauben.

Fig. 4: Den Adapter für die Messuhr anschrauben.

Fig. 5: Die Messuhr vollständig in den Adapter einführen und mit der Flügelschraube fixieren.

Einbau der Proberohre

Fig. 6: Das Festlager mit der Rändelschraube bei der Markierung 600 auf dem Längenausdehungsapparat befestigen. Das Probenrohr aus Stahl mit dem offenen Ende in das Festlager legen.

Fig. 7: Das Probenrohr mit dem geschlossenen Ende in das Führungslager legen. Darauf achten, dass der Flansch nach hinten zeigt.

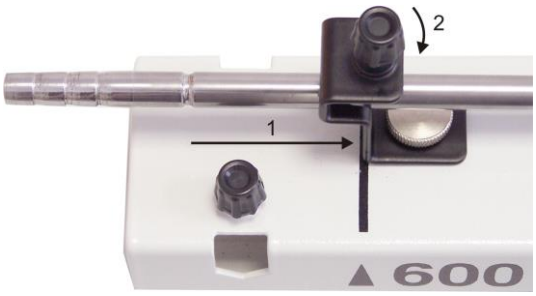

Fig. 8: Das Probenrohr soweit nach rechts schieben, bis die Kerbe am offenen Ende im Festlager zu liegen kommt (Hinweis: Dadurch wird die Mess-Spitze der Messuhr entsprechend vorgespannt). Das Probenrohr mit der Feststellschraube im Festlager fixieren.

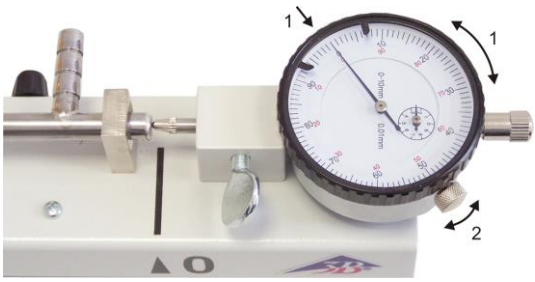

Fig. 9: Den Skalenring an der Messuhr drehen, bis die 0 auf der Skala mit der Stellung des Zeigers übereinstimmt. Den Skalenring mit der Feststellschraube fixieren.

Montage und Anschluss des Bad-/Umwälzthermostats

Sicherheitshinweis:
Den Thermostat nicht ans Netz anschließen bevor der Kontrollkopf korrekt auf der Badabdeckung montiert ist.

- Der Montageanleitung für die Badabdeckung folgen und die Badbrücke am Thermostat montieren. Dazu den Thermostat durch die runde Öffnung der Badbrücke führen. Auf der Seite des Pumpengehäuses mit dem Pumpenausgang das Pumpenumwälzset inklusive L-Schlauch montieren, auf der gegenüberliegenden Seite eine Blindplatte.
- Den Thermostat mit montierter Badbrücke in das Badgefäß hängen und den Kontrollkopf des Thermostats mit der Klammer durch Drehen der Rändelschraube am Badrand festklemmen.

Fig. 10: Vorlauf (1) und Rücklauf (2) des Pumpenumwälzsets.

- Den Silikonschlauch etwa in zwei Hälften teilen. Wie in Fig. 1 gezeigt mit einer Schlauchhälfte den Vorlauf des Pumpenumwälzsets (Fig. 10) mit dem offenen Ende des Proberohrs verbinden, und mit der anderen Schlauchhälfte den Flansch des Proberohrs mit dem Rücklauf des Pumpenumwälzsets (Fig. 10) verbinden.

DURCHFÜHRUNG

Sicherheitshinweis:
Vor der Bedienung des Bad-/Umwälzthermostats unbedingt alle Anweisungen und Sicherheitshinweise in der Betriebsanleitung des Thermostats genau durchlesen.

- Das Bad mit entkalktem Wasser füllen, so dass der Heizkörper vollständig bedeckt ist. Den Baddeckel auf die Badbrücke legen.
- Den Thermostat an eine Steckdose mit Schutzleiter anschließen. Darauf achten, dass die Angaben auf dem Typenschild mit der Netzspannung übereinstimmen.
- Den Thermostat mit dem Schalter auf der Frontseite einschalten.

Es wird die aktuelle Badtemperatur angezeigt, die der Raumtemperatur entspricht.

- Aktuelle Badtemperatur in Tab. 1 als Referenztemperatur notieren.
- Soll-Temperaturen etwa in 4°-Schritten einstellen, jeweils warten bis die Ist- die Soll-Temperatur erreicht hat und Wert in Tab. 1 notieren. Jeweils die Differenz zur Referenztemperatur bilden und ebenfalls in Tab. 1 eintragen.
- Zu jeder Temperatur bzw. Temperaturdifferenz die Längenänderung relativ zur 0-Position direkt auf der Skala der Messuhr ablesen und in Tab. 1 eintragen.
- Das Messing- bzw. das Glas-Proberohr einbauen und die Messung wiederholen. Weite der Temperaturschritte ggf. anpassen. Messwerte in Tab. 2 bzw. Tab. 3 eintragen.

MESSBEISPIEL

Tab. 1: Thermische Ausdehnung von Stahl, ϑ: eingestellte Temperatur, $\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz, ΔL: Längenänderung.

ϑ / °C	$\Delta\vartheta$ / °C	ΔL / mm
21,70	0,00	0,00
25,00	3,30	0,02
29,00	7,30	0,05
33,20	11,50	0,07
37,30	15,60	0,11
41,30	19,60	0,13
44,90	23,20	0,16
48,40	26,70	0,19
52,30	30,60	0,22
56,10	34,40	0,24
60,10	38,40	0,27
64,10	42,40	0,29
68,00	46,30	0,32
72,00	50,30	0,35
76,10	54,40	0,38
80,10	58,40	0,41
84,30	62,60	0,44
87,40	65,70	0,46
91,80	70,10	0,49
95,80	74,10	0,52
98,80	77,10	0,54

Tab. 2: Thermische Ausdehnung von Messing, ϑ: eingestellte Temperatur, $\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz, ΔL: Längenänderung.

ϑ / °C	$\Delta\vartheta$ / °C	ΔL / mm
25,3	0,0	0,00
32,9	7,6	0,07
36,2	10,9	0,11
40,9	15,6	0,17
45,1	19,8	0,22
48,8	23,5	0,26
52,6	27,3	0,31
56,6	31,3	0,35
60,6	35,3	0,40
64,4	39,1	0,45
68,3	43,0	0,49
72,7	47,4	0,53
76,1	50,8	0,58
80,3	55,0	0,63
84,1	58,8	0,67
88,4	63,1	0,71
91,9	66,6	0,76
96,2	70,9	0,81
99,5	74,2	0,84

Tab. 3: Thermische Ausdehnung von Glas, ϑ: eingestellte Temperatur, $\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz, ΔL: Längenänderung.

ϑ / °C	$\Delta\vartheta$ / °C	ΔL / mm
23,8	0,0	0,00
26,8	3,0	0,01
33,2	9,4	0,02
39,2	15,4	0,03
44,9	21,1	0,04
50,8	27,0	0,05
56,4	32,6	0,06
62,7	38,9	0,07
68,1	44,3	0,08
74,8	51,0	0,09
80,4	56,6	0,10
86,3	62,5	0,11
92,2	68,4	0,12
97,9	74,1	0,13

AUSWERTUNG

Im untersuchten Temperaturbereich ist $\alpha \cdot \vartheta \ll 1$. Also lässt sich Gleichung (3) modifizieren:

(4) $\Delta L = L(\vartheta_1) \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$ mit $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$, $L(\vartheta_1) = 600$ mm

Die gesuchten linearen Ausdehnungskoeffizienten α lassen sich daher aus den Steigungen *a* der Ursprungsgeraden in Fig. 11 bestimmen:

(5) $\alpha = \dfrac{a}{L(\vartheta_1)}$

- Die gemessenen Längenänderungen von Messing, Stahl und Glas (Tab. 1, 2 und 3) gegen die Temperaturdifferenzen auftragen und jeweils eine Gerade anpassen.
- Die linearen Ausdehungskoeffizienten nach Gleichung (5) aus den Geradensteigungen bestimmen und in Tab. 4 eintragen. Hinweis: Da Temperatur*änderungen* betrachtet werden, ist die Temperaturangabe in °C äquivalent zur Temperaturangabe in K.

Tab. 4: Aus der Messung bestimmte lineare Ausdehnungskoeffizienten von Messing, Stahl und Glas sowie Literaturwerte.

Material	*a* / mm·K^{-1}	α / 10^{-6}·K^{-1} Messung	α / 10^{-6}·K^{-1} Literatur
Messing	0,0114	19,0	18,5
Stahl	0,0070	11,7	11,5
Glas	0,0018	3,0	3,3

Die aus der Messung bestimmten linearen Ausdehungskoeffizienten stimmen gut mit den Literaturwerten überein.

Die Herleitung von Gleichung (3) ist im Übrigen hinfällig, wenn auch hohe Temperaturen betrachtet werden. Dann erweist sich α als nicht konstant, sondern von der Temperatur abhängig. Dies ist – genauer betrachtet – auch im hier untersuchten Temperaturbereich der Fall. Da die Längenänderungen mit einer Auflösung von 0,01 mm gemessen werden, zeigt eine genaue Datenanalyse insbesondere für Messing, dass die Messwerte nicht genau linear verlaufen und der Ausdehnungskoeffizient mit steigender Temperatur leicht ansteigt.

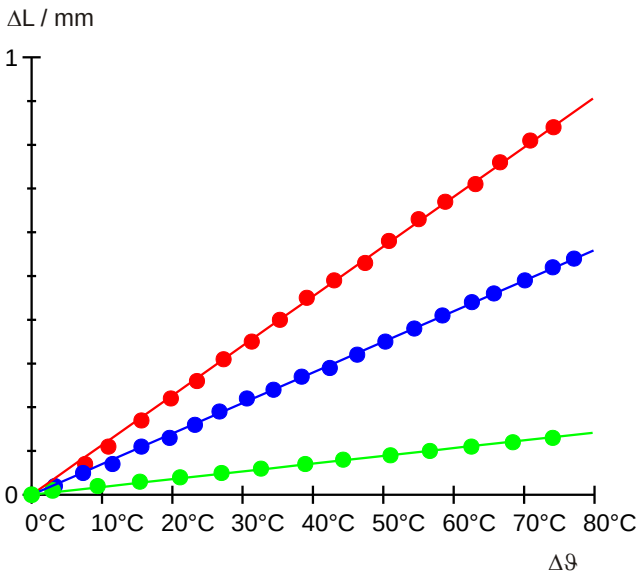

Fig. 11: Längenänderung von Messing (rot), Stahl (blau) und Glas (grün) in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz.

HINWEIS

Reicht es, den Längenunterschied zwischen Raum- und Wasserdampftemperatur zu untersuchen, so kann an Stelle eines Bad/Umwälzthermostats auch ein Dampferzeuger verwendet werden (siehe Fig. 12). Die zugehörige Zubehörliste bieten wir unter der Nummer UE2010135 an.

Fig. 12: Aufbau mit Dampferzeuger.

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH