



Aufgabenstellung

1. Bestimmen Sie den *mittleren Längenausdehnungskoeffizienten* ($\bar{\alpha} \pm \Delta\bar{\alpha}$) eines Metallstabes im Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und 60 °C mit Hilfe des *Hebelverfahrens*.
2. Bestimmen Sie den *mittleren Volumenausdehnungskoeffizienten* ($\bar{\gamma} \pm \Delta\bar{\gamma}$) einer Flüssigkeit im Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und 60 °C mit Hilfe des *Dilatometers*.

Längenausdehnungskoeffizient

1. Messen Sie die Ausgangslänge l_0 des Stabes bei Raumtemperatur T_0 .
2. Bringen Sie den Stab in der Versuchsanordnung in ein Wasserbad, dessen Temperatur mittels Thermostat variiert werden kann. Ein Stabende *liegt* an einem festen Anschlag *an*. Die thermische Längenänderung des Stabes wird von seinem anderen Ende über einen Hebel (Hebelverhältnis 1 : 5) auf eine Messuhr (Genauigkeitsklasse II; Messbereich 0...10 mm) übertragen.
3. Wählen Sie eine *geeignete* Bezugstemperatur T_1 , bei der Sie die Nullstellung der Messuhr festlegen.
4. Messen Sie die Längenänderung des Metallstabes bis 60 °C in *sechs* Schritten.
5. Stellen Sie die *relativen* Längenänderungen $\Delta l/l_0$ über der Temperaturdifferenz ΔT grafisch auf Millimeterpapier dar.

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l(T) - l(T_1)}{l_0} \quad \text{und} \quad \Delta T = T - T_1$$

6. Ermitteln Sie aus dem Zusammenhang $\Delta l/l_0 = f(\Delta T)$ mittels Geradenausgleich den mittleren Anstieg der Messkurve und damit den mittleren Längenausdehnungskoeffizienten:

$$\bar{\alpha} = \frac{l(T_2) - l(T_1)}{l(T_1)} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1}.$$

Hierbei gilt in guter Näherung $l(T_1) \approx l(T_0) = l_0$, falls T_1 geeignet gewählt wurde (warum?).

7. Ermitteln Sie aus dem minimalen und dem maximalen Anstieg die Unsicherheit $\Delta\bar{\alpha}$.
8. **Physik Bachelor/Lehramt:** Der Geradenausgleich und die Bestimmung der statistischen und systematischen Messunsicherheiten werden rechnerisch mittels linearer Regression durchgeführt und mit den grafischen Resultaten verglichen.

Volumenausdehnungskoeffizient

1. Bestimmen Sie die Gesamtmasse m der Messanordnung als Summe der Masse des leeren Kolbens m_K und der Masse der zu untersuchenden Flüssigkeit m_{FL} . Erhalten Sie daraus das Volumen V_0 der Flüssigkeit. Die dazu nötigen Werte entnehmen Sie Tabelle 1.

Nr.	Flüssigkeit	$\varrho_{\text{Fl}} / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	m_{K} / g
1	Ameisensäure	1,238	41,030
2	Paraffinöl	0,826	45,279
3	Lüvakol	0,869	42,210
4	Iso-(2-Propanol)	0,781	40,720

Tabelle 1: Dichte ϱ_{Fl} von Flüssigkeiten bei 25 °C; Kolbenleermasse m_{K}

- Platzieren Sie den Glaskolben etwa 20 mm über den Boden des Gefäßes mit dem Wasserbad, dessen Temperatur über ein Thermostat geregelt werden kann.
- Wählen Sie eine *geeignete* Bezugstemperatur T_1 .
- Nehmen Sie *sechs* Messwerte der relativen Volumenausdehnung $\Delta V/V_0$ bei der Erwärmung bis 60 °C auf, indem Sie die Änderung direkt an der Skala am Steigrohr ablesen. Nutzen Sie während der Erwärmung der Thermostatflüssigkeit den Magnetrührer im Glaskolben.

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V(T) - V(T_1)}{V_0}$$

Wurde T_1 geeignet gewählt, gilt wiederum in guter Näherung $V(T_1) \approx V_0$ (warum?).

- Korrigieren Sie die relative Volumenänderung hinsichtlich der thermischen Ausdehnung des Glaskolbens, sodass Sie die effektive relative Volumenänderung der Flüssigkeit erhalten:

$$\left. \frac{\Delta V}{V_0} \right|_{\text{eff}} = 3\alpha_{\text{K}}\Delta T + \frac{\Delta V}{V_0}(1 + 3\alpha_{\text{K}}\Delta T) \quad \text{mit} \quad \alpha_{\text{Glas}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}.$$

- Stellen Sie die effektive relative Volumenänderung $\Delta V/V_0|_{\text{eff}}$ über der Temperaturänderung ΔT grafisch auf Millimeterpapier dar.
- Ermitteln Sie aus dem Zusammenhang $\Delta V/V_0|_{\text{eff}} = f(\Delta T)$ mittels Geradenausgleich den mittleren Anstieg der Messkurve und damit den Volumenausdehnungskoeffizienten:

$$\bar{\gamma} = \left. \frac{V(T_2) - V(T_1)}{V(T_1)} \right|_{\text{eff}} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1}.$$

- Ermitteln Sie aus dem minimalen und dem maximalen Anstieg die Unsicherheit $\Delta\bar{\gamma}$.
- Physik Bachelor/Lehramt:** Der Geradenausgleich und die Bestimmung der statistischen sowie systematischen Messunsicherheiten werden rechnerisch mittels linearer Regression durchgeführt und mit den grafischen Resultaten verglichen.

Nützliche Befehle für die Auswertung mittels Tabellenkalkulation

=	vor Eingabe einer Formel
B6	Zellbezug (Spalte B, Zeile 6), nutze Zelleninhalt als Variable
\$B6	Zellbezug (Spalte B fixiert, Zeile 6)
\$B\$6	Zellbezug (Spalte B fixiert, Zeile 6 fixiert)
SUMME(A1:A5)	Summe aller Werte von A1 bis A5
ANZAHL(A1:A5)	Anzahl aller Werte von A1 bis A5
ABS(C9)	Betrag des Wertes von C9
PI()	Wert der Zahl π
H7 ⁴	vierte Potenz des Wertes von H7
WURZEL(B21)	Quadratwurzel des Wertes von B21
Ausfüllen von Zellen	Auf die rechte untere Ecke eines markierten Feldes klicken und die Maus an die entsprechende Stelle ziehen, sodass der gewünschte Bereich markiert ist.