



## Aufgabenstellung

1. Bestimmen Sie die Abhängigkeit der Zähigkeit  $\eta$  des Ethanol von der Temperatur  $T$ . Dazu sind für fünf verschiedene Temperaturen zwischen Raumtemperatur und  $50^\circ\text{C}$  je zwei Messungen durchzuführen.
2. Bestimmen Sie die Koeffizienten  $A$  und  $b$  der *Andradeschen Gleichung* und deren Messunsicherheiten mithilfe der *Arrhenius-Auftragung* (der natürliche Logarithmus der Viskosität ( $\ln \eta$ ) als Funktion der reziproken Temperatur ( $1/T$ )).
  - Für *Physik Lehramt und Physik im Nebenfach*: Bestimmen Sie aus der grafischen Darstellung die Messunsicherheit des Anstiegs ( $\Delta b$ ). Tragen Sie dazu die entsprechenden Geraden minimalen und maximalen Anstiegs in die grafische Darstellung ein.
  - Für *Physik Bachelor*: Bestimmen Sie die statistischen und systematischen Unsicherheiten für die Parameter  $A$  und  $b$ . Nutzen Sie für die Ausgleichsrechnung das Python-Skript „PhyPraFit.py“.
3. Berechnen Sie die *Reynoldssche Zahl*  $Re$  für die höchste Temperatur. Für *Physik im Hauptfach*: Überprüfen Sie anhand der berechneten *Reynoldsschen Zahl*<sup>1</sup>, ob die Strömung laminar war.
4. Diskutieren Sie den Einfluss der Messgrößen auf die Unsicherheit von  $b$ .

## Hinweise zur Versuchsdurchführung

1. Die Viskosität bestimmen Sie aus den Messdaten des *Höppler-Viskosimeters* nach:

$$\eta = K \cdot (\rho_k - \rho_f) \cdot g t \quad (8)$$

2. Die *Andradesche Gleichung* für die Temperaturabhängigkeit der Viskosität lautet:

$$\eta(T) = A \cdot e^{\frac{b}{T}} \quad (2)$$

3. Die *Reynoldssche Zahl* bestimmen Sie mit:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l^*}{\eta} \quad (11)$$

Dabei gilt für die Kugel beim Viskosimeter nach *Höppler*  $l^* = 2R$ , der kritische (nicht zu überschreitende) Wert ist  $Re_{\text{krit}} \approx 1000$ . Für die Anordnung beim Viskosimeter nach *Ubbelohde* gilt  $l^* = d$ , der kritische Werte beträgt  $Re_{\text{krit}} \approx 2200$ .

## Geräte- und Umgebungsparameter

Der analytische Ausdruck für die Dichte der zu untersuchenden Flüssigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur lautet:

$$\rho(\vartheta) = \left( m \cdot \frac{\vartheta}{^\circ\text{C}} + n \right) \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

<sup>1</sup>O. Reynolds 1842-1912

Messplatz	Flüssigkeit	$m$	$n$
a	Ethanol	$-8,00 \cdot 10^{-4}$	0,8063
b	Glycerin	$-6,06 \cdot 10^{-4}$	1,2716
c	Glycerin	$-6,06 \cdot 10^{-4}$	1,2716
d	Ethanol	$-8,00 \cdot 10^{-4}$	0,8063

**Tabelle 1:** Konstanten zur Charakterisierung der Temperaturabhängigkeit der Dichte der zu untersuchenden Messflüssigkeiten

Messplatz	$K \cdot g /$ [mPa · cm <sup>3</sup> · g <sup>-1</sup> ]	$\Delta K \cdot g /$ [mPa · cm <sup>3</sup> · g <sup>-1</sup> ]	$\rho_k /$ [g · cm <sup>-3</sup> ]	$\Delta\rho_k /$ [g · cm <sup>-3</sup> ]	$d /$ [mm]	$\Delta d /$ [mm]
a	0,008 17	0,000 05	2,42	0,01	15,78	0,01
b	1,31	0,01	8,20	0,01	14,97	0,01
c	2,28	0,04	8,15	0,01	15,00	0,01
d	0,010 47	0,000 02	2,41	0,01	15,80	0,01

**Tabelle 2:** Konstanten und Geräteparameter für die Viskosimeter nach *Höppler*:  $K \cdot g$  Viskosimeterkonstante einschl. Fallbeschleunigung,  $\rho_k$  Dichte der Kugel,  $d$  Kugeldurchmesser (Typ 1G-1).

## Hinweise zur Verwendung von Python (Physik-Bachelor)

Das Skript „PhyPraFit.py“ bietet eine Möglichkeit zur Kurvenanpassung an Messdaten sowie zur Bestimmung der statistischen und systematischen Unsicherheiten der Anpassungsparameter mittels Python. Es basiert auf den Inhalten der Vorlesung zu erweiterten statistischen Methoden im 2. Semester und wird zusammen mit Beispieldaten und einer Dokumentation im Vorfeld zu Ihrer eigenen Vorbereitung zur Verfügung gestellt. Auf den Messrechnern finden Sie die Python-Distribution Anaconda 3.7 installiert, welche alle nötigen Module liefert und frei im Internet verfügbar ist. Weiterhin bietet sie die Entwicklungsumgebung „Spider“ (ähnlich „Geany“), in der Sie das Skript „PhyPraFit.py“ (Laufwerk P:) modifizieren, ausführen und die Ergebnisse darstellen können. Die Messwerte einschließlich der Messunsicherheiten geben Sie bitte in die Exceltabelle „Data.xlsx“ entsprechend der vorgesehenen Spalten ein. Achten Sie darauf, dass ausschließlich die für die Regression relevanten Werte eingegeben werden und jede Spalte gleich viele Werte enthalten muss. Falls keine Werte vorliegen, sind Nullen einzugeben. Bevor Sie Modifikationen vornehmen, ist es ratsam, für beide Dateien Kopien anzufertigen.