

Versuch V1 - Viskosität, Flammpunkt, Dichte

1.1 Bestimmung der Viskosität

Grundlagen

Die Viskosität eines Fluids ist eine Stoffeigenschaft, die durch den molekularen Impulsaustausch der einzelnen Fluidpartikel hervorgerufen wird. Die Viskosität ist ein Maß für die „innere Reibung“ eines Fluids. Bei Flüssigkeiten nimmt sie mit steigender Temperatur ab (die zwischenmolekularen Kräfte werden geringer) und bei Gasen nimmt sie mit steigender Temperatur zu (die Gasgeschwindigkeit wird größer und folglich auch der Impuls), siehe Abbildung 2.

Die Zähigkeit wird bestimmt mit Hilfe des Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes, das für stationäre, laminare und ausgebildete Strömungen eines Fluids durch ein Rohr gilt:

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

$$\dot{V} = \text{Volumenstrom des Fluids} \quad [\dot{V}] = \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Delta p = \text{Druckverlust} \quad [\Delta p] = \text{Pa}$$

$$R = \text{Radius des Rohres} \quad [R] = \text{m}$$

$$\eta = \text{dynamische Viskosität} \quad [\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$l = \text{Länge des Rohres} \quad [l] = \text{m}$$

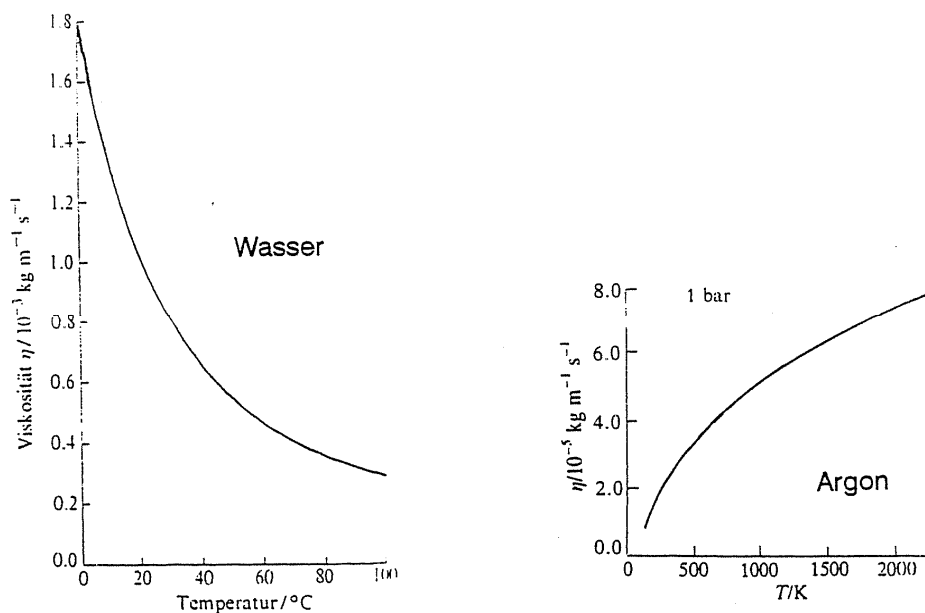


Abbildung 1: Dynamische Viskosität von Wasser (links) und Argon (rechts) als Funktion der Temperatur

In Abbildung 2 ist das Geschwindigkeitsprofil einer laminaren, ausgebildeten Strömung in einem Kreisrohr dargestellt.

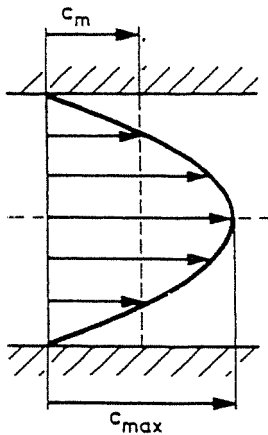


Abbildung 2: Geschwindigkeitsprofil laminarer, ausgebildeter Rohrströmung

Definitionen:

- laminar: Die Fluidpartikeln bewegen sich nur parallel zur Rohrachse, das Geschwindigkeitsprofil ist parabolisch
- ausgebildet: Das Geschwindigkeitsprofil ändert sich nicht in Strömungsrichtung
- stationär: Der Strömungszustand ist zeitunabhängig

Dividiert man die dynamische Viskosität η durch die Dichte ρ , so erhält man die kinematische Viskosität ν , die in vielen Gesetzen der Strömungslehre eine Rolle spielt:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\nu] = \frac{m^2}{s}$$

Bei Kapillarviskosimetern (siehe Abbildung 4) wird die Zeit t gemessen, die ein Volumen V zum Durchströmen einer Kapillare der Länge l benötigt. Da der Druckverlust Δp über der Höhe h proportional der Dichte des Fluids ist, ist der Volumenstrom V umgekehrt proportional der kinematischen Viskosität ν . In der Gerätekonstanten k sind alle geräteabhängigen Größen zusammengefasst, sodass sich die kinematische Viskosität ν nach folgender Formel errechnen lässt:

$$\nu = k \cdot t$$

In der Kapillare muß eine laminare Strömung vorliegen. Daher wird für jeden Zähigkeitsbereich eine andere Kapillare benötigt. Ob eine laminare Strömung vorliegt, kann anhand der Reynolds-Zahl überprüft werden.

Eine laminare Strömung ist gegeben, solange

$$\text{Re} = \frac{c_m \cdot d}{\nu} < 2300$$

c_m = mittlere Strömungsgeschwindigkeit $[c_m] = \text{m/s}$

d = Durchmesser der Kapillare $[d] = \text{m}$

Aufgabenstellung

Mit einem Kapillarviskosimeter nach Ubbelohde soll die kinematische Viskosität der Proben von Diesel, Rapsöl und RME bestimmt werden.

Versuchsdurchführung

Das in einem Wasserbad auf 20 °C temperierte Viskosimeter wird durch das Rohr 3 bis zur Marke M (Vorratsgefäß (4)) gefüllt. Hat die Probe die Badtemperatur angenommen (nach ca. 15 min), wird Rohr 1 mit dem Finger verschlossen, und über Rohr 2 die Vorlaufkugel (9) durch Ansaugen mit Flüssigkeit gefüllt. Die Öffnung von Rohr 1 wird nun freigegeben und die Zeit t gestoppt, die der Meniskus von der Ringmessmarke M1 bis zur Ringmessmarke M2 benötigt.

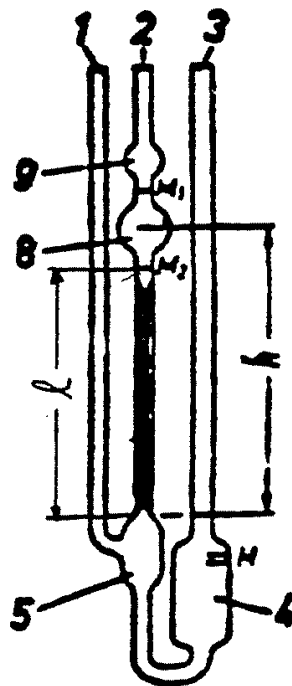


Abbildung 3: Ubbelohde-Viskosimeter

Auswertung der Ergebnisse

Leiten Sie die Gleichung für die Gerätekonstante k aus dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz her und leiten Sie anschließend daraus die Einheit der Gerätekonstanten ab. Ermitteln Sie die kinematischen und dynamischen Viskositäten von Benzin und vergleichen Sie die Ergebnisse mit der kinematischen Viskosität von Wasser bei 20 °C:

$$\nu_{H_2O} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}.$$

Kontrollfragen:

- 1. Was ist ein Fluid? Wie ist die Zähigkeit eines Fluids definiert?**
- 2. Wie kann man die Viskosität bestimmen?**
- 3. Welches Gesetz liegt dieser Messung zugrunde und unter welchen Voraussetzungen gilt es?**
- 4. Wie kann ich überprüfen, ob die Strömung laminar ist?**
- 5. Leiten Sie die Formel $\nu = k \cdot t$ aus dem Hagen-Poiseuille-Gesetz ab!**
- 6. Wie hängt die dynamische Viskosität von der Temperatur ab?**

1.2 Flammpunkt

Der Flammpunkt gibt Auskunft über die Explosions- und Feuergefährlichkeit von Flüssigkeiten. Nach Cleveland ist der Flammpunkt die niedrigste Temperatur bei Normaldruck (1,013 bar), bei der sich über der Flüssigkeit bei den Bedingungen, unter denen sich die Probe befindet, zündfähige bzw. explosible Brennstoff/Luft-Gemische bilden. Am Flammpunkt liegt eine Mindestkonzentration des Brennstoffes im Brennstoff/Luft-Gemisch vor, die der unteren Zündgrenze (= Explosionsgrenze) entspricht. Beim Erreichen der unteren Zündgrenze wird im Falle einer Zündung so viel Wärme freigesetzt, dass die Reaktion selbständig weitergetragen wird. An der oberen Zündgrenze steht nicht mehr genügend Sauerstoff zur Verfügung, um das vorliegende Gemisch "durchzuzünden".

Beispiel für die Zündgrenzen (Explosionsgrenzen) von Methan in Luft:

untere Zündgrenze:	4,4 Vol.-%
obere Zündgrenze :	16,5 Vol.-%.

1.2.1 Aufgabenstellung

Bestimmen Sie den Flammpunkt von Diesel, Rapsöl und RME im offenen Tiegel nach Cleveland (DIN ISO 2592).

Achtung: Versuchen Sie nicht, den Flammpunkt von Benzin zu bestimmen!

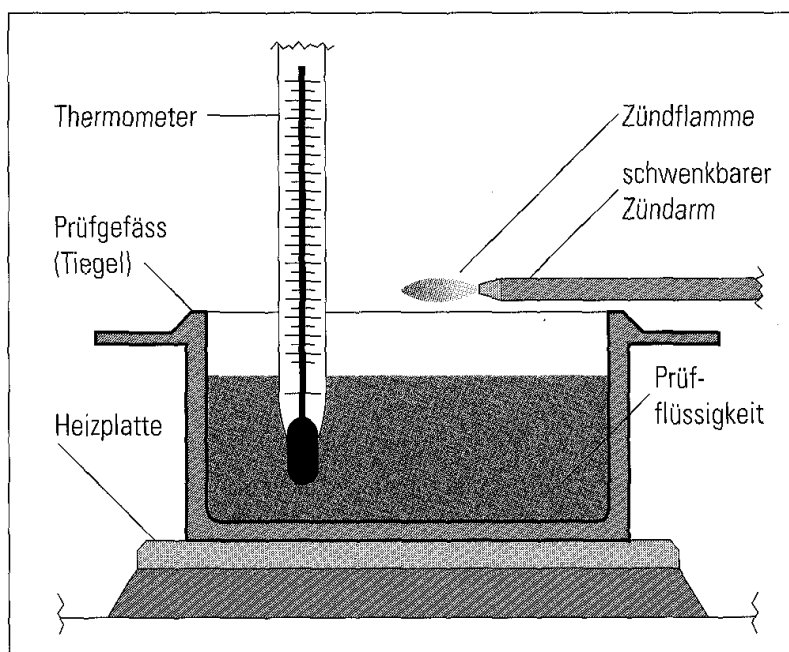


Abbildung 4: Apparatur zur Bestimmung des Flammpunktes nach Cleveland

1.2.2 Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt. Der Tiegel wird mit der Probe so weit gefüllt, dass der Meniskus der Probe genau mit der Strichmarke übereinstimmt. Die Probe wird mit konstanter Geschwindigkeit erwärmt (Aufheizanleitung liegt aus). Spätestens ab 28 °C unterhalb des erwarteten Flammpunktes wird die Zündflamme jedes Mal dann über den Tiegel geführt, wenn das Thermometer um 2 °C gestiegen ist. Wenn auf der Oberfläche der Flüssigkeit erstmalig ein kurzes Aufflammen beobachtet wird, so wird die vom Thermometer abgelesene Temperatur als Flammpunkt festgehalten. Dieses erste Aufflammen darf nicht mit einer blauen Aureole (Lichtkranz) verwechselt werden, die sich manchmal schon bei Temperaturen deutlich unterhalb des Flammpunktes um die Zündflamme bildet.

Wenn der Luftdruck zur Zeit der Bestimmung kleiner als 953 mbar ist, so wird der gemessene Wert durch die der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmende Berichtigung nach oben hin korrigiert.

Tabelle 1: Berichtigung des Flammpunktes nach DIN ISO 2592

Luftdruck mbar	Berichtigung °C
953 bis 887	2
886 bis 813	4
812 bis 733	6

- Benzin:
 - Flammpunkt: > -45 °C
 - Selbstentzündungstemperatur: 246 °C
- Diesel:
 - Flammpunkt: > +62 °C
 - Selbstentzündungstemperatur: 210 °C
- Kerosin:
 - Flammpunkt: > 38 °C
 - Selbstentzündungstemperatur: 210 °C

Brennpunkt

Der **Brennpunkt** eines Treibstoffs ist definiert als die Temperatur bei der die Flamme für mindestens 5 Sekunden selbstständig weiter brennt.

Kontrollfragen Flammpunkt:

1. **Wie ist der Flammpunkt definiert?**
2. **Erläutern Sie die Begriffe:**
 - a) **untere Zündgrenze**
 - b) **obere Zündgrenze:**
3. **Wo liegen die Flammpunkte von Rapsöl und von RME?**
4. **Warum hängt der Flammpunkt vom Luftdruck ab?**
5. **Warum gibt es nur eine tabellierte Berichtigung für Luftdrücke unterhalb 953 mbar?**
6. **Warum dürfen Sie mit der vorhandenen Apparatur unter keinen Umständen den Flammpunkt von Benzin ermitteln?**

1.3 Bestimmung der Dichte

Grundlagen

Die Dichte ρ ist definiert als:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \text{Dichte} \quad [\rho] = \text{kg} / \text{m}^3$$

$$m = \text{Masse} \quad [m] = \text{kg}$$

$$V = \text{Volumen} \quad [V] = \text{m}^3$$

Die Dichte von Gasen und Flüssigkeiten ist eine Funktion von Druck und Temperatur. Die Dichte einer Flüssigkeit hängt von der Temperatur ab; vom Druck ist sie fast unabhängig. Die Dichte einer Flüssigkeit lässt sich bestimmen, indem bei einer bestimmten Temperatur die Masse eines geeichten Volumens bestimmt wird. Hierzu kann ein Pyknometer verwendet werden (siehe Abbildung 1).

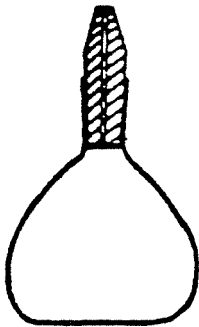


Abbildung 5: Pyknometer

Aufgabenstellung

Mit einem Pyknometer soll die Dichte von Diesel, Rapsöl und RME bestimmt werden.

Versuchsdurchführung

Die Proben werden auf eine Temperatur $< 20 \text{ }^\circ\text{C}$ gebracht. Das leere Pyknometer wird gewogen (m_1) und danach mit der Flüssigkeit luftblasenfrei gefüllt. Anschließend wird das Pyknometer ca. 15 min in einen Thermostaten gestellt, dessen Temperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt. Nachdem es aus dem Wasserbad herausgeholt und abgetrocknet wurde, wird es wieder gewogen (m_2)

Auswertung der Ergebnisse

Leiten Sie folgende Gleichung her:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V} + \rho_L$$

mit ρ_L = Dichte der Luft bei 20 °C = 1,20 kg/m³

Beachten Sie, dass sich Wägungen im Vakuum und in der Luft unterscheiden!
Berechnen Sie die Dichten ρ von Benzin bei 20 °C.

Wie groß ist der relative Fehler bei Vernachlässigung von ρ_L ?

Kontrollfragen Dichte:

- 1. Wie ist die Dichte definiert?**
- 2. Wie kann man sie messen?**
- 3. Welche Dichte ist im Vergleich zu Wasser zu erwarten?**
- 4. Von welchen Größen hängt die Dichte ab?**
- 5. Warum sollte beim Einfüllen der Flüssigkeit $T < 20$ °C sein?**
- 6. Leiten Sie die Formel zur Berechnung der Dichte her!**
- 7. Wie groß ist der Fehler bei Vernachlässigung von ρ_G ?**