

M1 Flüssigkeitsströmungen

M1.1 Einleitung

Der vorliegende Versuch soll Sie vertraut machen mit den unverzichtbaren Voraussetzungen zum Verständnis des Blutkreislaufes. Höher entwickelte Tiere und der Mensch besitzen im Blutkreislauf ein Transportsystem, das der Aufrechterhaltung ihrer biologischen Funktionen dient. Dieses Transportsystem besteht aus zwei Pumpen (rechte und linke Herzhälfte) und einer Vielzahl hintereinander und parallel geschalteter Leitungen (Lungen- und Körpergefäßsystem, siehe *Abbildung M1.1*).

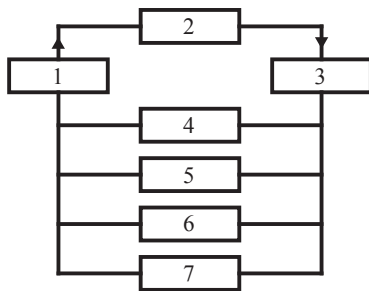


Abbildung M1.1: Blutkreislauf schematisch

die rechte Herzhälfte 1, das Lungengefäßsystem 2, die linke Herzhälfte 3 und das Körpergefäßsystem 4-7 sind hintereinander geschaltet; die Teilsysteme 4,5,6,7 des Körpergefäßsystems sind parallel geschaltet; die Blutströmung erfolgt in Pfeilrichtung.

Innerhalb der Gefäßsysteme verzweigen sich die Blutgefäße zu einem Netz parallel geschalteter Leitungen (Arteriolen, Kapillaren). Die Gesamtheit der Gefäßsysteme (Lungengefäßsystem 2 und Körpergefäßsystem 4-7) stellt den gesamten Strömungswiderstand in diesem Flüssigkeitsstromkreis dar.

Die in diesem Kreislauf strömende Flüssigkeit, das Blut, übernimmt sehr verschiedene Transportaufgaben, z.B. den Transport von O_2 , von CO_2 , von Stoffwechselprodukten, von Hormonen, von Wärme. Von entscheidendem Einfluss auf den Transport einer Flüssigkeit durch ein Leitungssystem ist ihre Viskosität. Die Viskosität des Blutes ist bei gleicher Temperatur etwa 2 bis 5 mal so groß wie die von reinem Wasser und wird durch die im Blutplasma enthaltenen Makromoleküle hervorgerufen. Hier werden wir uns auf die Behandlung von Flüssigkeitsströmungen in starren Röhren beschränken, die strömende Flüssigkeit als inkompressibel voraussetzen und als Flüssigkeiten Wasser und Glycerin verwenden. Später in der Physiologie wird auch das elastische Verhalten der Blutgefäße mitberücksichtigt werden; auch auf die Viskosität des Blutes und auf die interessante Erscheinung der Autoregulation der Gefäße kann erst in der Physiologie eingegangen werden.

Stichwörter der Versuchsvorbereitung

Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Massendichte, Gewicht, spezifisches Gewicht, Kraft, Druck, Energie, Volumenstrom = Volumenstromstärke, Strömungswiderstand, Viskosität (Definitionen und Einheiten). Die hydraulische Kraftübertragung. Der Schweredruck. Der Auftrieb. Die Kontinuitätsgleichung. Die ideale Flüssigkeit. Die Bernoullische Gleichung. Reale Flüssigkeiten. Die Newtonsche Gleichung. Das Stokessche Gesetz. Der Fall einer Kugel in einer zähen Flüssigkeit. Stationäre, laminare und turbulente Strömungen. Das Hagen-Poiseuillesches Gesetz. Das Ohmsche Gesetz für Flüssigkeitsströmungen, Newtonsche Flüssigkeiten. Leitungssysteme, die Kirchhoffschen Gesetze.

Hydraulische Pressen und Bremsen. Manometer. Pumpen. Durchflussmesser. Viskosimeter.

M1.2 Aufgabenstellung

1. Die Gruppe verschafft sich Klarheit über den Druckabfall längs durchströmter Leitungen und über die Bestimmung von Strömungswiderständen nach

$$R = \frac{\Delta p}{I} = \frac{\rho g h}{\Delta V / \Delta t}$$

mit $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ durch Messung von h , ΔV und Δt .
Führen Sie dazu gemeinsam den zugehörigen Demonstrationsversuch durch.

2. Man bestimmt im Kugelfallviskosimeter die Viskosität von Glycerin bei Zimmertemperatur.

$$\begin{array}{ll} \rho_k & = 7,85 \text{ g/cm}^3 & r & = 0,50 \text{ mm} \\ \rho_f & = 1,25 \text{ g/cm}^3 & g & = 9,81 \text{ m/s}^2 \end{array}$$

3. Man bestimmt im Kapillarviskosimeter die Temperaturabhängigkeit $\eta(T)$ für Wasser und stelle das Ergebnis graphisch dar.

M1.3 Versuchsdurchführung

Neben einigen Geräten, Instrumenten, Bauelementen für Demonstrationsversuche (z.B. im Rahmen der 1. Aufgabe) stehen jedem Versuchsplatz zur Verfügung:

1 Messzylinder, 2 l, gefüllt mit Glycerin	1 Kapillarviskosimeter mit Gummiball
kleine Stahlkugeln in einer Glasschale	1 Stativ
1 Stoppuhr, 1 Lineal	1 Dewargefäß aus Glas
1 Hufeisenmagnet	1 Messbecher, 200 ml
	1 Thermometer (-10°C bis 110°C)

Bestimmung der Viskosität von Glycerin im Kugelfallviskosimeter:

Die Behandlung des Falls einer Kugel in zäher Flüssigkeit führt auf die Gleichung

$$\eta = \frac{2 (\rho_k - \rho_f) g r^2}{9 v_e}$$

Man lässt in einem hohen Glasgefäß mit Glycerin eine kleine Stahlkugel mit dem Radius r und der Dichte ρ_k fallen. Durch die geschwindigkeitsabhängige Reibung nimmt die Beschleunigung ab, und es stellt sich bereits nach sehr kurzer Fallstrecke ein konstanter Wert für die Fallgeschwindigkeit v_e ein. Diese Fallgeschwindigkeit kann aus einer Weg- und Zeitmessung (Lineal und Stoppuhr) bestimmt werden.

Bestimmung der Temperaturabhängigkeit $\eta(T)$ von Wasser im Kapillarviskosimeter:

Misst man also zu einer ersten Flüssigkeit bekannter Viskosität η_1 die Durchflusszeit t_1 (Eichung des Kapillarviskosimeters mit einer Flüssigkeit bekannter Viskosität), so lässt sich nach Messung der Durchflusszeit t_2 zu einer zweiten Flüssigkeit deren unbekannte Viskosität η_2 nach der letzten Gleichung bestimmen.

Während dies somit eine Relativbestimmung von η ist, wird η nach der Kugelfallmethode absolut bestimmt.

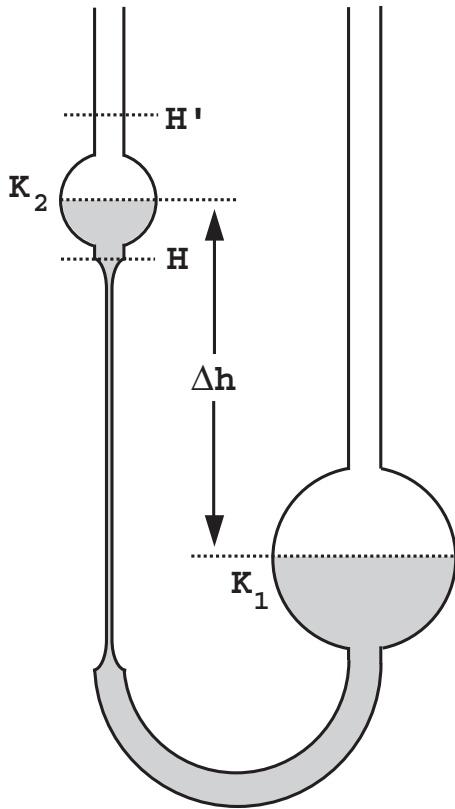


Abbildung M1.2: Kapillarviskosimeter

Löst man das Hagen-Poiseuillesche Gesetz nach η auf, so erhält man unter der Voraussetzung konstanter Volumenstromstärke

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

Mit Hilfe eines Gummiballs drückt man einen Teil der in der Vorratskugel K_1 (s. *Abbildung M1.2*) befindlichen Flüssigkeit durch die Kapillare bis über die Marke M' . Lässt man nun nach Entfernen des Gummiballs das Flüssigkeitsvolumen V zwischen den Marken M und M' unter dem durch Δh gegebenen Druckgefälle durch die Kapillare fließen, so lässt sich bei bekanntem Kapillarradius r und bekannter Kapillarlänge l die Viskosität aus einer Messung der Durchflussdauer t bestimmen. Die Messung von r , l und Δp lässt sich wie folgt umgehen: lässt man durch ein und dieselbe Kapillare ($r = \text{const.}$, $l = \text{const.}$) bei gleicher Druckdifferenz ($\Delta p = \text{const.}$) gleiche Volumina ($V = \text{const.}$) zweier verschiedener Flüssigkeiten strömen, so verhalten sich, weil in diesem Fall $\eta = \text{const.} \cdot t$, deren Durchflusszeiten wie ihre Viskositäten:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{t_2}{t_1}$$

Im Versuch soll die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Wasser gemessen werden. Dazu wird die Temperaturabhängigkeit der Durchflusszeit bestimmt (Dewargefäß mit verschieden temperiertem Wasser als Wärmebad). Mit Hilfe des Eichpunktes (Tabellenwert) $\eta(20,0^\circ\text{C}) = 1,01 \cdot 10^{-2}\text{P}$ kann daraus die Temperaturabhängigkeit der Viskosität ermittelt werden.

Viskositäten von Flüssigkeiten und Luft

Stoffe	T/°C	η / cP
Glycerin	20	1490
Blut	37	2-5
Quecksilber	20	1,6
Ethanol	20	1,1
Wasser	20	1,01
Ether	20	0,24
Luft	20	0,018

$$1 \text{ cP} = 10^{-2} \text{ P} = 10^{-3} \text{ N s/m}^2$$

Die Viskosität des Blutes wird durch die im Blutplasma enthaltenen Makromoleküle hervorgerufen und ist, wie die Tabelle zeigt, 2 bis 5 mal so groß wie die von reinem Wasser; die Viskosität des Blutplasmas hat den Wert 1,5 cP.