



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

PHYSIKALISCHES
GRUNDPRAKTIKUM

VERSUCH 3

KAPILLARITÄT UND VISKOSITÄT

Praktikanten:

Alexander Osterkorn

Tobias Wegener

E-Mail:

a.osterkorn@stud.uni-goettingen.de

tobias.wegener@stud.uni-goettingen.de

Tutor:

Marten Düvel

Gruppe:

3

Durchgeführt am:

29.4.2013

Protokoll abgegeben:

13.5.2013

Testiert:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Kapillarität	2
2.2	Viskosität und Hagen-Poiseuille-Gesetz	3
2.3	Mohr'sche Waage	4
3	Durchführung	5
3.1	Vorbereitungen	5
3.2	Oberflächenspannung	5
3.3	Viskosität	6
4	Auswertung	8
4.1	Berechnung der Oberflächenspannung	8
4.2	Viskosität von destilliertem Wasser I	10
4.3	Viskosität von destilliertem Wasser II	12
5	Diskussion	13
5.1	Oberflächenspannung	13
5.2	Viskosität	14
	Literatur	14

1 Einleitung

Dieser Versuch besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil thematisiert den Effekt der Kapillarität, vereinfacht gesagt, der Fähigkeit von Flüssigkeiten, an Oberflächen "hochzuklettern". Dieser Effekt wird zum Beispiel von der Natur zum Flüssigkeitstransport genutzt (Wasserversorgung bei Bäumen, Blutkreislauf, ...). Eng verbunden mit der Kapillarität ist die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit. Sie kann aus der Steighöhe der Flüssigkeit in einer Kapillare berechnet werden (Teil 1 des Versuchs).

Im zweiten Teil des Versuches geht es um die Viskosität (Zähflüssigkeit) von Flüssigkeiten. Diese ist ein Maß für die innere Reibung. Mit Hilfe von Formeln aus der Strömungslehre wird experimentell der Wert für die Viskosität auf zwei verschiedene Weisen bestimmt.

2 Theorie

2.1 Kapillarität

Eine Flüssigkeit ist dadurch charakterisiert, dass ihre Moleküle auf der einen Seite recht große zwischenmolekulare Anziehungskräfte (van-der-Waals, Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, ...) aufweisen, andererseits aber frei beweglich sind. Eng verbunden mit dem Begriff *Kapillarität* ist das Verhalten von Flüssigkeiten an Grenzflächen zu anderen Schichten. Bei einer solchen Schicht kann es sich ebenfalls um ein Fluid, ein Gas oder einen Festkörper handeln.

Betrachtet man ein Molekül im Inneren einer Flüssigkeit, so wird es von den es umgebenden Molekülen gerade so von allen Seiten angezogen, dass die resultierende Kraft auf das Molekül verschwindet. Dies trifft jedoch nicht für Moleküle an der Oberfläche zu. Diese werden zwar sowohl von den anderen Flüssigkeitsmolekülen als auch von den Molekülen der anderen Schicht angezogen, jedoch in der Regel unterschiedlich stark, sodass es eine resultierende Kraft gibt.

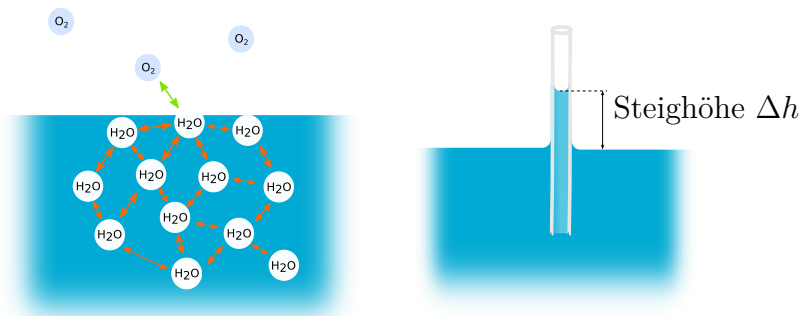


Abbildung 1: Oberflächenspannung und Kapillarität

Betrachtet man nun z.B. eine Glaskapillare, die in Wasser getaucht ist, so ist zu beobachten, dass das Wasser in der Kapillare einen höheren Stand als in der Umgebung hat. Das liegt daran, dass die Anziehungskräfte des Glases auf die Wassermoleküle größer sind als die Anziehungskräfte innerhalb des Wassers. Deswegen ist das Wasser in der Lage, Arbeit gegen die Gravitationskraft zu leisten, wenn dadurch die Oberfläche vergrößert wird.

$$dW = \sigma \cdot dA$$

Dabei ist die *Oberflächenspannung* σ eine von den beiden Grenzflächenmaterialien abhängige Größe. Bezeichnet man den Radius der Kapillare mit r und die Dichte der Flüssigkeit mit ϱ , lässt sich aus einer Energiebetrachtung der Oberflächenenergie $\Delta E_{sur} = -\Delta W$ und der potentiellen Energie ΔE_{pot} die Steighöhe Δh berechnen:

$$\begin{aligned} \Delta E_{pot} + \Delta E_{surf} &= 0 \\ \Leftrightarrow m \cdot g \cdot \Delta h &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \Delta h \cdot \sigma \\ \Leftrightarrow \pi \cdot r^2 \cdot |\vec{g}| \cdot \varrho \cdot \Delta h &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \Delta h \sigma \\ \Leftrightarrow \Delta h &= \frac{2\sigma}{r \cdot |\vec{g}| \cdot \varrho} \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 Viskosität und Hagen-Poiseuille-Gesetz

Bei der Versuchsanordnung in Teil zwei (vgl. Abb. 3) wird eine Flüssigkeit betrachtet, die laminar (Annahme) durch ein Rohr (Kapillare) fließt. Diese Kapillare ist mit einem Behälter verbunden, in dem sich ein Volumenstrom $I = \frac{dV}{dt} = \frac{A dh}{dt}$ beobachten lässt. Dabei bezeichnet $A = \pi R^2$ die Querschnittsfläche des Behälters. Unter solchen Bedingungen lässt sich das *Gesetz von Hagen-Poiseuille* anwenden, das aus der Fluidodynamik bekannt ist:

$$I = \frac{\pi r^4}{8\eta L} \cdot \Delta p \quad (2)$$

Dabei bezeichnet r den Radius des Rohres, η die Viskosität, L die Länge des Rohres und Δp die Druckdifferenz. Diese Druckdifferenz ist gerade der Unterschied des Schweredruckes, sodass mit der Dichte ϱ gilt:

$$A \cdot \frac{dh}{dt} = -\frac{\pi r^4}{8\eta L} \cdot \varrho |\vec{g}| h$$

Diese Differentialgleichung lässt sich durch Separation der Variablen lösen und man erhält:

$$\log h = -\frac{\varrho|\vec{g}|}{8\eta LR^2} \cdot r^4 t + c \quad (3)$$

2.3 Mohr'sche Waage

Die Mohr'sche Waage ist ein Messinstrument, mit der sich die Dichte einer Flüssigkeit bestimmen lässt (vgl. Abb. 2). An einem Ende des zweiamigen Waagebalkens wird ein Probekörper angebracht, auf der anderen Seite ein Ausgleichsgewicht, so dass sich die beiden Gewichtskräfte gerade neutralisieren. Wird der Probekörper nun in eine Flüssigkeit getaucht, so erfährt er eine Auftriebskraft. Den Betrag dieser Auftriebskraft kann man nun bestimmen, in dem man weitere Gewichte so an die Waage hängt, dass sich wieder ein Gleichgewicht einstellt. Der Probekörper mit dem Volumen V erfährt eine Auftriebskraft F_A , die gleich der Gewichtskraft $\varrho|\vec{g}|V$ der verdrängten Flüssigkeit ist. Für ein Gleichgewicht muss die Summe aller Drehmomente Null sein, also gilt:

$$F_A \cdot d_a = \sum F_i \cdot d_i \quad \Leftrightarrow \quad \varrho = \frac{\sum F_i \cdot d_i}{|\vec{g}| \cdot V \cdot d_A} \quad (4)$$

3 Durchführung

3.1 Vorbereitungen

Zunächst müssen die Kapillaren gründlich gereinigt werden, da kleine Verunreinigungen das Messergebnis stark verfälschen können. Dazu werden sie zunächst mit einem Lösungsmittel ausgespült, welches dann mit destilliertem Wasser entfernt wird. Danach werden die in der Kapillare hängen gebliebenen Flüssigkeitstropfen mit einer Düse herausgesaugt, bis keine Rückstände mehr zu sehen sind.

Danach wird der Durchmesser der Kapillaren bestimmt. Dies geschieht mit einem Messmikroskop. Die Kapillare wird so eingelegt, dass man bei einem Blick durch das Okular direkt auf deren Öffnung schaut. Das Mikroskop befindet sich auf einer Schiene, auf der es über ein kleines Rad seitlich justiert werden kann. An der Schiene und am Rad sind eine Skalierung angebracht, wodurch sich die seitliche Position des Mikroskops bis auf $10\ \mu\text{m}$ genau ablesen lässt. Nun bestimmt man abwechselnd die Position des Mikroskops bei Fokussierung des linken und rechten Randes der Kapillare. Durch die Vergrößerung des Mikroskops ist dieser Rand jedoch recht breit, weshalb man versucht, die jeweils innere Kante anzuzusieren, da diese die relevante für die Auswertung ist. Aus der Position der beiden Innenkanten lässt sich dann später der Innendurchmesser der Kapillare bestimmen. Die Messung wird insgesamt dreimal durchgeführt. Es ist unter Umständen ganz gut, zwischen den Messungen die Kapillare ein wenig zu drehen, da es sein kann, dass diese nicht ganz isotrop geformt ist.

3.2 Oberflächenspannung

Im Folgenden soll für jeweils drei Flüssigkeiten (Wasser, Ethylenglykol und Methanol) die Oberflächenspannung dadurch bestimmt werden, dass man die Steighöhe h in drei unterschiedlich dicken Kapillaren misst. Dazu wird eine Kapillare senkrecht an einem Stativ eingespannt. Die zu untersuchende Flüssigkeit wird in ein Becherglas gefüllt, welches unter die Kapillare gestellt wird. Dann wird die Kapillare tief in die Flüssigkeit getaucht und wieder herausgezogen, sodass die Flüssigkeit in der Kapillare einen höheren Stand hat als die Flüssigkeit im Becherglas. Auf der Kapillare ist eine kleine Skala angebracht, an der man die Steighöhe ablesen kann. Diese Skala erstreckt sich jedoch nur über einen Teil der Kapillare. Für kleine Steighöhen ist es möglich, die Kapillare so zu justieren, dass sich die unterste Markierung gerade auf Höhe der Unterseite des Meniskus der Wasseroberfläche befindet, so dass man direkt die Steighöhe ablesen kann. Dabei treten zwei Schwierigkeiten auf. Zum einen bildet sich ein Meniskus an der Flüssigkeitsoberfläche in der Kapillare, der sich vertikal über 1-2 mm erstreckt. Da dieser jeweils konkav ist, liest man die Höhe an der Unterseite des Meniskus ab. Jedoch ist es manchmal schwierig, diese Höhe genau anzugeben. Das zweite Problem ist, dass manchmal der Meniskus gerade auf Höhe des Randes des Be-

cherglases ist, was eine genaues Ablesen ebenfalls erschwert. Für jede Kapillare wiederholt man diese Messung dreimal.

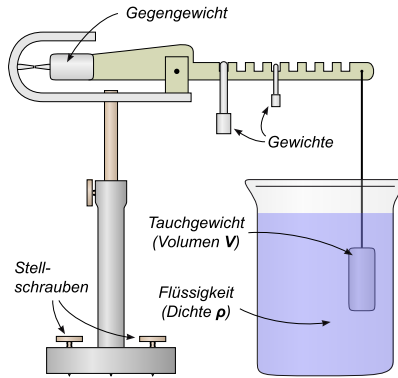


Abbildung 2: Aufbau Mohr'sche Waage¹

Außerdem wird noch die Dichte der untersuchten Flüssigkeiten benötigt. Diese lässt sich mit Hilfe der Mohr'schen Waage bestimmen. Das Ausgleichsgewicht an der Waage wird so justiert, dass es die Gewichtskraft des Probekörpers genau neutralisiert. Dann wird der Probekörper in die Flüssigkeit getaucht und erfährt eine Auftriebskraft, welche die Waage aus dem Gleichgewicht bringt. Dieses kann wiederhergestellt werden, indem unterschiedliche Gewichte in einem geeigneten Abstand von der Drehachse der Waage angehängt werden. Hat man erreicht, dass sich die Waage wieder im Gleichgewicht befindet, notiert man die Abstände der einzelnen Gewichte vom Aufhängepunkt.

3.3 Viskosität

Der Versuchsaufbau besteht aus einem vertikalen, zylinderförmigen Behälter mit einem im Vergleich zu den Kapillaren sehr großen Durchmesser, der mit destilliertem Wasser gefüllt ist und jeweils einer Kapillare, die an diesem im unteren Bereich so befestigt wird, dass sie horizontal ausgerichtet ist.

Zunächst wird der Behälter vermessen, also sein Durchmesser bestimmt und die Skalierung mit einem Lineal überprüft. Dadurch kann später das Volumen zwischen zwei Markierungen bestimmt werden. Außerdem bestimmt man die Länge der Kapillaren und die Temperatur T_W des destillierten Wassers.

Teil a)

Hier wird für jede der drei Kapillaren die Ausflusszeit t bestimmt, die das Wasser benötigt, um von der Strichmarke 50 zur Strichmarke 45 des Glasgefäßes abzusinken.

¹Quelle: LP Uni-Göttingen, <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/3638>, 04.05.2013

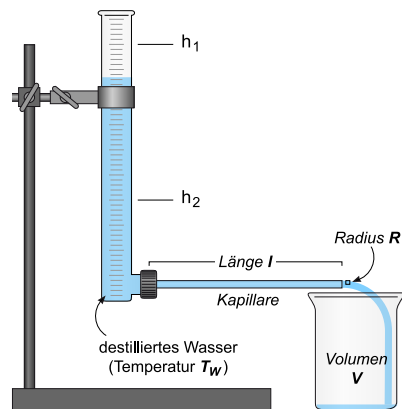


Abbildung 3: Gesetz von Hagen-Poiseuille (Schematische Darstellung)¹

Teil b)

In Teil b) wird mit der dünnsten Kapillare die Ausflusszeit $t(h)$ in Abhängigkeit von der Höhe der Wassersäule im Glasgefäß bestimmt. Insgesamt sollen mindestens zehn verschiedene Werte gemessen werden. Dies führen wir so durch, dass wir nach je 2 cm Höhendifferenz im Behälter die Zeit stoppen und das Ausfließen unterbrechen. Die gesamte Ausflusszeit ergibt sich dann aus der Summe der Teilzeiten.

4 Auswertung

4.1 Berechnung der Oberflächenspannung

Es werden drei verschiedene Kapillaren verwendet, die im Folgenden mit “rot”, “blau” und “grün” bezeichnet werden sollen. Zunächst wird der Kapillareninnendurchmesser bestimmt, indem mit dem Messmikroskop der Ort des linken und rechten Innenrandes gemessen wird. Der Fehler hierfür ist mit 0.01 mm abgeschätzt. Jede Messung wird dreimal durchgeführt und ein Mittelwert für die Ortskoordinate des linken und rechten Innenrandes bestimmt. Der Fehler dieser Mittelwerte berechnet sich aus der empirischen Standardabweichung der Messungen und der Student-t-Verteilung. Der Innenradius r ergibt sich dann als Hälfte der Differenz der Mittelwerte der beiden Messungen mit entsprechender Fehlerfortpflanzung. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse.

Kapillare	Innenradius r [mm]	Fehler σ_r [mm]
rot	0.41	0.02
blau	0.64	0.02
grün	0.87	0.02

Tabelle 1: Kapillareninnendurchmesser

Als nächstes werden die Dichten der drei Flüssigkeiten mit der Mohrschen Waage bestimmt (siehe Theorie). Dazu muss das Volumen des Probekörpers bestimmt werden. Hierzu dient als Referenzwert die bekannte Dichte von destilliertem Wasser 1000 kg m^{-3} . Man erhält ein Volumen des Probekörpers von $V_P = (5.0 \pm 0.1) \text{ cm}^3$. Daraus lässt sich eine Auftriebskraft in den einzelnen Flüssigkeiten bestimmen und daraus die Dichten (siehe Tabelle 2). Die Messfehler für die einzelnen Dichten sind hier großzügig mit 5% des Messwertes abgeschätzt.

Flüssigkeit	Dichte ρ [kg m^{-3}]	Fehler σ_ρ [kg m^{-3}]
dest. Wasser	1000	50
Methanol	840	40
Ethylenglykol	1100	60

Tabelle 2: Dichten der Flüssigkeiten

Nun werden noch die Steighöhen der Flüssigkeiten in den Kapillaren benötigt. Auch diese wurden jeweils dreimal gemessen und dann gemittelt. Der statistische Fehler für das Ablesen der Steighöhe ergibt sich aus der empirischen Standardabweichung der Messungen und der Student-t-Verteilung. Weiter wurde ein statistischer Ablesefehler von 1 mm angenommen. Der Gesamtfehler ist die Summe beider Fehler. Leider muss noch erwähnt werden, dass es Probleme bei der Messung mit Ethylenglykol gab. Der Wert für die grüne Kapillare wurde

scheinbar vergessen und der Wert für die rote Kapillare ist systematisch deutlich zu niedrig. Deshalb wird in der weiteren Berechnung nur der Messwert für die blaue Kapillare berücksichtigt. Tabellen 3 - 5 zeigen die Ergebnisse.

Kapillare	Steighöhe h [mm]	Fehler σ_h [mm]
rot	33.0	1.0
blau	24.0	1.0
grün	16.0	2.0

Tabelle 3: Steighöhen dest. Wasser

Kapillare	Steighöhe h [mm]	Fehler σ_h [mm]
rot	14.0	1.0
blau	11.0	2.0
grün	6.0	1.0

Tabelle 4: Steighöhen Methanol

Kapillare	Steighöhe h [mm]	Fehler σ_h [mm]
rot	12.0 (?)	2.0 (?)
blau	13.0	1.0
grün	-	-

Tabelle 5: Steighöhen Ethylenglykol

Zusammen mit der Erdbeschleunigung $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ (deren Fehler hier als vernachlässigbar betrachtet wird), sind alle benötigten Größen bestimmt, um die Oberflächenspannung σ der drei Flüssigkeiten zu berechnen. Das erfolgt mit der Formel 1.

$$\sigma = \frac{\rho g r h}{2}$$

und der zugehörigen Fehlerfortpflanzung:

$$\sigma_\sigma^2 = \sigma_\rho^2 \left(\frac{g r h}{2} \right)^2 + \sigma_r^2 \left(\frac{\rho g h}{2} \right)^2 + \sigma_h^2 \left(\frac{\rho g r}{2} \right)^2$$

Tabellen 6 - 8 führen die berechneten Werte auf. Die Endergebnisse für die Oberflächenspannungen sind dann die gewichteten Mittelwerte der Ergebnisse für die drei Kapillaren. Angegeben ist auch noch ein Literaturwert zum Vergleich (nach M.D. Lechner [Hrsg.], Landolt-Börnstein).

Kapillare	σ [N m ⁻¹]	σ_σ [N m ⁻¹]
rot	0.066	0.005
blau	0.075	0.007
grün	0.067	0.008

Tabelle 6: Oberflächenspannung dest. Wasser

Kapillare	σ [N m ⁻¹]	σ_σ [N m ⁻¹]
rot	0.024	0.003
blau	0.028	0.006
grün	0.021	0.004

Tabelle 7: Oberflächenspannung Methanol

Kapillare	σ [N m ⁻¹]	σ_σ [N m ⁻¹]
rot	-	-
blau	0.043	0.005
grün	-	-

Tabelle 8: Oberflächenspannung Ethylenglykol

Flüssigkeit	σ [N m ⁻¹]	σ_σ [N m ⁻¹]	Literaturwert [N m ⁻¹]
dest. Wasser	0.069	0.004	(20 °C) 0.073
Methanol	0.024	0.002	0.022
Ethylenglykol	0.043	0.006	(25 °C) 0.048

Tabelle 9: Oberflächenspannungen Endergebnisse

4.2 Viskosität von destilliertem Wasser I

Es soll die Viskosität von destilliertem Wasser mit Hilfe der Hagen-Poiseuille-Gleichung bestimmt werden (siehe 2). Für den Volumenstrom gilt weiterhin $I = \frac{\Delta V}{t_A}$ mit der Ausflusszeit t_A , in der sich das Volumen ΔV durch den Glaszylinder bewegt hat.

Das (zylinderförmige) Glasgefäß hat einen gemessenen Durchmesser von $d_G = (2.0 \pm 0.5)$ cm. Es wurde der Ausfluss einer Wassersäule der Höhe $h = 5$ cm gemessen. Dann ergibt sich das ausfließende Volumen (mit FF) zu $\Delta V = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 h = (1.6 \pm 0.4)10^{-5} \text{ m}^3$.

Als Druckdifferenz wird der Schweredruck angesetzt, also $\Delta p = \rho g h_G = (4660 \pm 233)$ Pa mit der schon bestimmten Dichte ρ von destilliertem Wasser. h_G ist die mittlere Gesamthöhe der Wassersäule im Glasgefäß, also $h_G = 0.475$ m.

Die gemessenen Ausflusszeiten zeigt Tabelle 10. Für den Fehler der Ausflusszeit wird $(0.2 + 0.01 + 0.005 \cdot \text{Messwert})$ s angesetzt. Zuletzt wird auch noch die Länge l der Kapillaren benötigt, die mit einem Lineal gemessen wurden. Tabelle 11 zeigt

das Ergebnis. Daraus lässt sich die Viskosität berechnen über:

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

Die zugehörige Fehlerfortpflanzung lautet:

$$\begin{aligned} \sigma_\eta^2 \left(\frac{8}{\pi}\right)^2 &= \sigma_{\Delta p}^2 \left(\frac{r^4}{l \Delta V} t_A\right)^2 + \sigma_{\Delta V}^2 \left(\frac{r^4 \Delta p}{l \Delta V^2} t_A\right)^2 + \sigma_r^2 \left(\frac{4r^3 \Delta p}{l \Delta V} t_A\right)^2 \\ &+ \sigma_l^2 \left(\frac{r^4 \Delta p}{l^2 \Delta V} t_A\right)^2 + \sigma_{t_A}^2 \left(\frac{r^4 \Delta p}{l \Delta V}\right)^2 \end{aligned}$$

Daraus ergeben sich die Ergebnisse in Tabelle 12. Um das Endergebnis dieses Abschnittes zu erhalten, wird noch der gewichtete Mittelwert der einzelnen Messungen gebildet. Dieser ist $\eta = (0.0012 \pm 0.0003) \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$. Man findet einen Literaturwert für destilliertes Wasser bei 20 °C von $\eta_{\text{lit}} = 0.001 \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ (z.B. Demtröder [2013], S. 219)

Kapillare	t_A [s]	σ_{t_A} [s]
rot	71.5	0.6
blau	20.9	0.4
grün	7.3	0.3

Tabelle 10: Ausflusszeiten Kapillaren

Kapillare	l [m]	σ_l [m]
rot	0.263	0.002
blau	0.255	0.002
grün	0.257	0.002

Tabelle 11: Längen Kapillaren

Kapillare	η [$10^{-3} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$]	σ_η [$10^{-3} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$]
rot	0.9	0.3
blau	1.6	0.5
grün	1.9	0.6

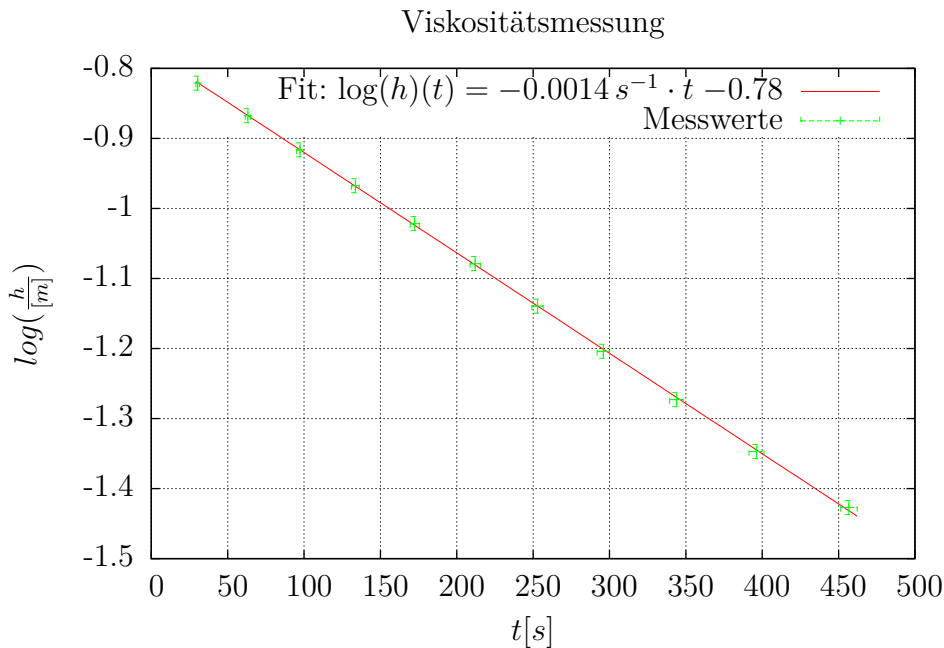
Tabelle 12: Viskosität dest. Wasser

4.3 Viskosität von destilliertem Wasser II

In diesem Teil haben wir die Ausströmzeit t in Abhängigkeit von der Höhe der Wassersäule h bestimmt. Nun soll die Wasserhöhe halblogarithmisch gegen die Gesamtausströmzeit aufgetragen werden. Da immer über ein Höhenintervall von 2 cm gemessen wurde, wird der Mittelwert der Höhe übernommen. Für die zugehörige Zeit t muss die Summe über alle bisherigen Teilzeiten gebildet werden.

Der Fehler der Höhe wird durch den kleinsten Skalenteil (1 mm) abgeschätzt. Der Fehler der Zeitmessung setzt sich zusammen aus dem üblichen, zeitabhängigen Stoppuhrfehler und einem Reaktionsfehler. Gerade bei langsamen Geschwindigkeiten (und damit großen Messzeiten) ist es schwer zu erkennen, wann der Meniskus genau die nächste Markierung erreicht hat. Somit wird hier noch eine weiter linear mit der Zeit ansteigende Fehlerkomponente addiert, die bei $t = 30$ s auf 1 s und bei $t = 60$ s auf 2 s abgeschätzt wird. Für den Fehler der Gesamtausflusszeit müssen dann die Fehler der vorherigen Teilmessungen in der Fehlerfortpflanzung berücksichtigt werden (Wurzel über die Summer der Quadrate der Teilfehler).

Die gemessenen Werte werden mit Gnuplot geplottet und unter Berücksichtigung der Fehler gefittet (vgl. Abb. 4.3).



Für die Steigung a der Regressionsgeraden liefert gnuplot das Ergebnis $a = -(1434 \pm 6) 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Aus einem Koeffizientenvergleich mit Gl. 3 folgt dann für η :

$$(\Delta\eta)^2 = \left(\frac{\rho g r^3}{2LaR^2} \cdot \Delta r\right)^2 + \left(\frac{g r^4}{8LaR^2} \cdot \Delta\varrho\right)^2 + \left(\frac{\rho g r^4}{8L^2 a R^2} \cdot \Delta L\right)^2 + \left(\frac{\rho g r^4}{8La^2 R^2} \cdot \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\rho g r^4}{16LaR^3} \cdot \Delta R\right)^2$$

$$\eta = (0,95 \pm 0,19) 10^{-3} \text{ mPa s} \quad (5)$$

	Wert	Fehler
$r[\text{m}]$	0,000413	0,000012
$\rho\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	1000	50
$L[\text{m}]$	0,263	0,002
$a[\text{s}^{-1}]$	0,001434	0,000006
$r[\text{m}]$	0,01	0,003
$g\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	9,81	

Tabelle 13: Daten zur Fehlerrechnung

5 Diskussion

5.1 Oberflächenspannung

Die Ergebnisse für die Berechnung der Oberflächenspannung der drei Flüssigkeiten sind in Tabelle 9 zusammen mit den entsprechenden Literaturwerten eingetragen. Als mögliche Fehlerquellen wurde u.A. die Vermessung des Kapillarendurchmessers, die Bestimmung der einzelnen Dichten sowie das Ablesen der Steighöhen in Betracht gezogen. Diese Fehler waren jedoch relativ gut abzuschätzen, was durch die Ergebnisse bestätigt wird (alle Werte liegen in den Fehlerintervallen). Es ist noch anzumerken, dass die Formel nur eine Näherung ist (Änderung der Oberfläche am Meniskus bleibt unberücksichtigt), die jedoch bei dünnen Kapillaren sehr genau sein dürfte. Auf Grund der kleinen Anzahl an verschiedenen Endergebnissen lassen sich an diesen keine systematischen Fehler erkennen. Dennoch kann es gut möglich sein, z.B. durch falsches Ablesen des Meniskus' einen systematischen Fehler zu begehen. Die Literaturwerte weichen um etwa 10% von den Messwerten ab, liegen aber noch in unseren Fehlerintervallen. Somit ist davon auszugehen, dass das Messverfahren insgesamt ziemlich zuverlässig ist.

5.2 Viskosität

In dem ersten Teil der Viskositätsmessung wurden alle drei Kapillaren verwendet. Während der Viskositätswert aus der Messung mit der dünnsten Kapillare (rot) sehr nahe am Literaturwert liegt (nur etwa 10% Abweichung), weichen die Werte bei den größeren Kapillaren recht deutlich vom Literaturwert ab, sodass der Literaturwert auch nicht mehr im Fehlerintervall liegt. Da diese Abweichungen offensichtlich mit größerem Radius zunehmen, ist zu vermuten, dass die verwendete Gleichung (Hagen-Poiseulle) für die dickeren Kapillaren ihre Gültigkeit verliert. Es könnte also sein, dass die Voraussetzungen (z.B. laminare Strömung) hier nicht mehr erfüllt sind.

Im zweiten Teil wurde nur noch die dünnste Kapillare verwendet. Das Ergebnis dieser Messung (Viskosität von dest. Wasser) weist zwar einen relativen Fehler von etwa 20% auf, stimmt jedoch sehr gut mit dem Literaturwert überein. Hinzu kommt noch, dass der Literaturwert auf 20 °C bezogen ist, während unsere Flüssigkeit etwa 21 °C hatte, so dass der Literaturwert sogar noch ein wenig zu groß und die Übereinstimmung somit noch besser ist.

Literatur

Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 1*. Springer Spektrum, 2013.

M.D. Lechner (Hrsg.). *Landolt-Börnstein. Surface Tension of Pure Liquids and Binary Liquid Mixtures*. Springer-Verlag, 1997.