

Versuch 5

Kapillarität und Viskosität

Praktikant: Joscha Knolle
 Ole Schumann
E-Mail: joscha@htilde.de
Durchgeführt am: 02.07.2012
Abgabe: 16.07.2012

Testiert:

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Theorie	2
2.1. Oberflächenspannung	2
2.2. Steighöhe	3
2.3. Innere Reibung	3
3. Materialien & Methoden	3
3.1. Versuchsaufbau	3
3.2. Mohrsche Waage	4
3.3. Bestimmung der Oberflächenspannung	5
3.4. Bestimmung der dynamischen Viskosität	6
4. Durchführung	6
4.1. Messung zur Kapillarität	6
4.2. Messung zur inneren Reibung	7
5. Auswertung	7
5.1. Durchmesser der Kapillaren	7
5.2. Dichten der Flüssigkeiten	7
5.3. Oberflächenspannung	8
5.4. Viskosität aus erster Messreihe	8
5.5. Viskosität aus zweiter Messreihe	9
6. Diskussion	10
6.1. Oberflächenspannung	10
6.2. Viskosität	11
A. Formelsammlung	I
B. Literatur	I

1. Einleitung

Taucht man ein dünnes Glasröhrchen in Wasser, hebt sich die Flüssigkeitssäule im Röhrchen über den äußeren Wasserpegel; die Gravitationskraft scheint überwunden zu werden. Dieser Effekt ist keine Zauberei, sondern resultiert aus der Oberflächenspannung des Wassers und wird als Kapillarität beschrieben. Verantwortlich ist die Kapillarität beispielsweise für den Nährstofftransport von Pflanzen oder das Funktionieren von Füllfederhaltern.

Neben diesem Effekt soll in dem vorliegenden Versuch auch die Viskosität von Flüssigkeiten untersucht werden. Früher war es üblich, im Winter und im Sommer verschiedene Motoröle in Autos zu verwenden. Im Winter wurden dünnflüssige Öle, im Sommer dickflüssige eingesetzt, damit der Motorstart problemlos funktionieren konnte. Diese Unterschiede im Fließverhalten werden durch die Viskosität angegeben.

2. Theorie

2.1. Oberflächenspannung

Neben den Kräften, die die Bestandteile von Atomen und Molekülen zusammenhalten, bewirken die Teilchen eines Stoffes auch Kräfte aufeinander. Im Wesentlichen unterscheidet man die *Dipol-Dipol-Kräfte*, die zwischen Molekülen mit permanenten Dipolen wirken, und *Van-der-Waals-Kräfte*, die sich zwischen temporären Inhomogenitäten in der Ladungsverteilung apolarer Teilchen bilden.

Betrachtet man ein Teilchen, das sich im Inneren eines Volumens befindet, dann wirken Kräfte von allen Seiten auf das Teilchen. In Summe heben sich diese Kräfte auf. Betrachtet man hingegen ein Teilchen, das sich am Rand des Volumens befindet, so wirken nur Kräfte aus dem Inneren auf das Teilchen. Es erfährt in Summe also eine Kraft, die in das Volumen hinein zeigt.

Will man nun die Oberfläche A eines kompakten Volumens auf $A + dA$ vergrößern, muss zur Kompensation der nach innen wirkenden Kräfte eine Arbeit dW verrichtet werden. Man stellt dabei einen proportionalen Zusammenhang fest und bezeichnet den Proportionalitätsfaktor als *Oberflächenspannung*:

$$dW = \sigma dA. \tag{1}$$

2.2. Steighöhe

Betrachtet man nun ein nach oben offenes zylindrisches Gefäß, so kann eine Flüssigkeit aufgrund der Oberflächenspannung über den oberen Gefäßrand überstehen. Ist r der Radius des Gefäß und Δx der Überstand der Flüssigkeit, so vergrößert sich die Fläche um $2\pi r \Delta x$. Die dazu verrichtete Arbeit ist also

$$\Delta W = 2\pi\sigma r \Delta x. \quad (2)$$

Wegen $\Delta W = F \cdot \Delta x$ identifiziert man die Kraft $F_O = 2\pi\sigma r$, die aus der Oberflächenspannung resultiert. Diese steht im Gleichgewicht mit der Gewichtskraft $F_G = \rho V g = \pi \rho g r^2 \Delta x$, man erhält also die *Steighöhe*

$$\Delta x = \frac{2\sigma}{\rho g r}. \quad (3)$$

2.3. Innere Reibung

Schließlich betrachtet man noch ein dünnes Rohr mit Radius r und Länge l , durch das eine Flüssigkeit fließt. An der Rohrwand entsteht dabei Reibung, die einen Geschwindigkeitsunterschied in der Flüssigkeit verursacht. Diese verursacht erneut eine Reibung zwischen den Teilchen der fließenden Flüssigkeit, die als *innere Reibung* bezeichnet.

Es entsteht also ein Druckunterschied Δp zwischen dem Anfang und dem Ende des Rohres. Mit dem Gesetz von HAGEN-POISEUILLE beschreibt man den mittleren Strom $I = \frac{dV}{dt}$ durch die *dynamische Viskosität* η als

$$I = \frac{\pi \Delta p r^4}{8\eta l}. \quad (4)$$

3. Materialien & Methoden

3.1. Versuchsaufbau

Für den Versuch stehen drei verschiedene Kapillaren mit unterschiedlich großen Öffnungen zur Verfügung. Zur Unterscheidung sind die Kapillaren farbig markiert, und wir wollen im Weiteren den Index **r** für die rote Kapillare, **g** für die grüne Kapillare und **b** für die blaue Kapillare verwenden.

In schmalen Bechergläsern stehen als zu untersuchende Flüssigkeiten destilliertes Wasser, Methanol und Ethylenglykol zur Verfügung. Über ein Stativ können die Kapillaren in die Bechergläser eingeführt werden. Mit einer Mohrschen Waage,

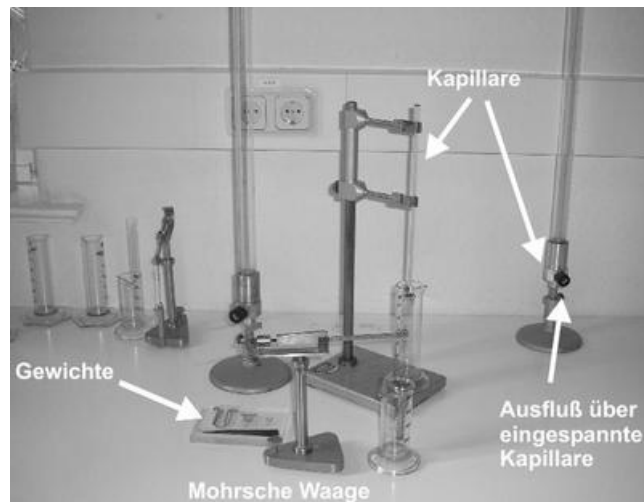


Abbildung 1: Versuchsaufbau [LP]

deren Funktionsweise in Abschnitt 3.2 erklärt wird, können die Dichten der in den Bechergläsern befindlichen Flüssigkeiten bestimmt werden.

Über ein großes Glasrohr, in dessen unteres Ende die Kapillaren eingeschraubt werden können, kann die Ausflussgeschwindigkeit von Wasser untersucht werden, indem über eine Zentimeter-Skala auf dem Glasrohr die Menge des auslaufenden Wassers über die Zeit gemessen wird. Der Fehler der dazu eingesetzten Stoppuhr ist nach [NPP, S. 7] durch

$$\sigma_t = 0,1 \text{ s} + 0,0005t \quad (5)$$

gegeben. Alle verwendeten Geräte sind in Abbildung 1 dargestellt.

3.2. Mohrsche Waage

Um die Dichte ρ einer Flüssigkeit zu bestimmen, kann die Mohrsche Waage verwendet werden, deren Aufbau in Abbildung 2 dargestellt ist. Auf einer drehbaren Achse sind ein Tauch- und ein Gegengewicht so gelagert, dass sich die Achse in der Luft horizontal zum Boden befindet.

Wird das Tauchgewicht dann in eine Flüssigkeit eingeführt, so erfährt das Gewicht Auftriebskräfte und die Gleichgewichtslage verschiebt sich. Durch Anhängen von weiteren Gewichten m_i im Abstand r_i zur Drehachse wird die Gleichgewichtslage wieder hergestellt. Über das Verhältnis der benötigten Massen zum Ausgleich der Auftriebskräfte zweier verschiedener Flüssigkeiten kann das Verhältnis der Dichten dieser beiden Flüssigkeiten bestimmt werden.

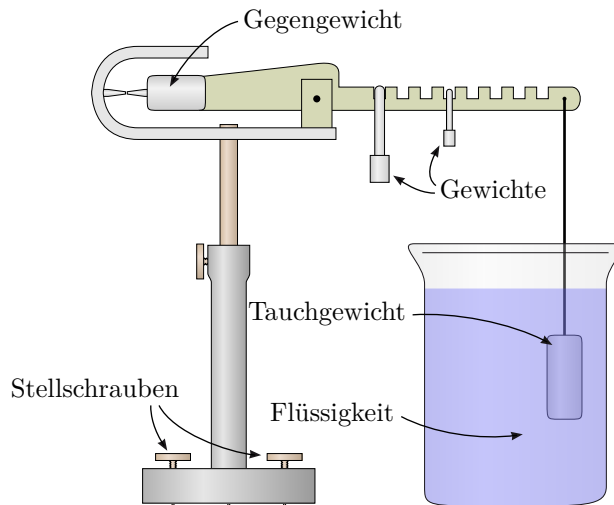


Abbildung 2: Aufbau der Mohrschen Waage [LP]

Als Referenzwert wird hier die Dichte des Wassers bei Normaltemperatur mit $\rho_{\text{Wasser}} = 1003 \text{ kg/m}^3$ nach [TBP, S. 219] verwendet. Wird für destilliertes Wasser und die zu untersuchende Flüssigkeit das gleiche Volumen V in der Mohrschen Waage untersucht, gilt nach dem Archimedischen Prinzip

$$\frac{F}{F_{\text{Wasser}}} = \frac{V \rho g}{V \rho_{\text{Wasser}} g} = \frac{\rho}{\rho_{\text{Wasser}}}, \quad (6)$$

wobei die Auftriebskraft durch die jeweilige Gewichtskraft

$$\frac{F_G}{F_{G,\text{Wasser}}} = \frac{\sum_i m_i r_i}{\sum_i m_{\text{Wasser},i} r_{\text{Wasser},i}} \quad (7)$$

gegeben ist. Insgesamt ergibt sich also

$$\rho = \frac{\sum_i m_i r_i}{\sum_i m_{\text{Wasser},i} r_{\text{Wasser},i}} \rho_{\text{Wasser}}. \quad (8)$$

3.3. Bestimmung der Oberflächenspannung

Mit dem Durchmesser d_i der Kapillaren kann man aus der Steighöhe Δh der jeweiligen Flüssigkeit mit Dichte ρ durch Umstellen von Gleichung (3) die Oberflächenspannung σ berechnen zu

$$\sigma = \frac{1}{4} \rho g d_i \Delta h. \quad (9)$$

3.4. Bestimmung der dynamischen Viskosität

Ist in der Zeit Δt der Flüssigkeitspegel im Glasrohr um $\Delta h = h_1 - h_2$ durch Ausfluss aus der eingeschraubten Kapillare gesunken, so entspricht dies einem Strom von $I = A \frac{\Delta h}{\Delta t}$ durch die Kapillare. Dabei ist die Querschnittsfläche des Glasrohrs durch $A = \frac{1}{4}\pi D^2$ gegeben. Nach der hydrostatischen Grundgleichung ergibt sich die Druckdifferenz näherungsweise zu

$$\Delta p \approx \left(h_1 - \frac{\Delta h}{2} \right) \rho g = \frac{1}{2} (h_1 + h_2) \rho g. \quad (10)$$

Dabei wurde Wasser approximativ als inkompressibel angenommen und daher der Druck in der Mitte der Wassersäule berechnet. Damit erhält man nach Gleichung (4) die dynamische Viskosität durch

$$\eta = \frac{d_i^4 \rho g \Delta t}{64 l_i D^2} \cdot \frac{h_1 + h_2}{h_1 - h_2}, \quad (11)$$

wobei d_i und l_i wieder Durchmesser und Länge der jeweils verwendeten Kapillare beschreiben.

Ebenso kann man mit dem gleichen Aufbau den Flüssigkeitspegel über eine längere Zeit beobachten und zu verschiedenen Höhen die jeweils vergangene Zeit ab einem definierten Nullpunkt aufnehmen. Die Volumenänderung während des Ausfließens dV ist dann gegeben durch $dV = A dh = \frac{1}{4}\pi D^2 dh$. Mit $\Delta p = h \rho g$ folgt aus Gleichung (4)

$$\frac{dh}{h} = \frac{\rho g d_i^4}{32 \eta l_i D^2} dt. \quad (12)$$

Integriert man dies, erhält man einen Zusammenhang zwischen der Zeit und dem Logarithmus der Höhe:

$$\log(h) = \frac{\rho g d_i^4}{32 \eta l_i D^2} t + \text{const.} \quad (13)$$

4. Durchführung

4.1. Messung zur Kapillarität

Zur Vorbereitung der Messung der Kapillarität werden die drei verwendeten Kapillaren gründlich gereinigt und getrocknet. Anschließend wird unter einem Mikroskop der Durchmesser der Kapillaren je dreimal bestimmt. Außerdem werden für die drei zu untersuchenden Flüssigkeiten die Dichte mit der Mohrschen Waage bestimmt.

Nun werden die Kapillaren nacheinander in dem Stativ fixiert, tief in die Flüssigkeit getaucht und anschließend soweit wieder herausgezogen, dass sich nur noch die Spitze der Kapillare unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche befindet. Dann wird bestimmt, wie hoch die Flüssigkeit in der Kapillare steht. Dies wird für alle Kombinationen von Flüssigkeiten und Kapillaren wiederholt.

4.2. Messung zur inneren Reibung

Zur Messung der Viskosität von destilliertem Wasser wird die Abflusszeit durch verschiedene Kapillaren gemessen. Dazu werden zunächst der Durchmesser des Glasgefäßes und die Längen der verschiedenen Kapillaren ausgemessen.

Als erste Messreihe werden dann nacheinander die drei Kapillaren an das Glasgefäß eingeschraubt und das Gefäß mit destilliertem Wasser gefüllt. Dann wird die Zeit bestimmt, die das Wasser braucht, um von der Höhe 0,50 m auf 0,45 m abzufließen.

Als zweite Messreihe wird nun nur noch für die Kapillare mit der engsten Öffnung die Abflusszeit genauer bestimmt. Dazu werden ab einem Wasserstand von 0,45 m die Zeiten gemessen, die das Wasser zum Abfließen von je einer Höhe von 0,01 m braucht. Dazu werden fünfzehn Messdaten aufgenommen, also bis das Wasser auf eine Höhe von 0,30 m abgeflossen ist.

5. Auswertung

5.1. Durchmesser der Kapillaren

Durch Mittelwertbildung nach (a) ergeben sich mit dem Fehler aus (b) die Durchmesser der drei Kapillaren zu

$$\begin{aligned}d_r &= (0,93 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}, \\d_g &= (1,84 \pm 0,02) \times 10^{-3} \text{ m}, \\d_b &= (1,27 \pm 0,01) \times 10^{-3} \text{ m}.\end{aligned}\tag{14}$$

5.2. Dichten der Flüssigkeiten

Mit Gleichung (8) lassen sich aus den Messergebnissen die Dichten von Methanol und Ethylenglykol wie in Abschnitt 3.2 berechnen. Bezeichnet $\Sigma = \sum m_i r_i$ die

Summe der Produkte aus Masse und Abstand der Ausgleichsgewichte, dann ergibt sich der Fehler der Dichten nach der Fehlerfortpflanzung zu

$$\delta_\rho = \frac{\rho_{\text{Wasser}}}{\Sigma_{\text{Wasser}}} \sqrt{\delta_\Sigma^2 + \delta_{\Sigma_{\text{Wasser}}}^2 \frac{\Sigma^2}{\Sigma_{\text{Wasser}}^2}}. \quad (15)$$

Die Fehler der einzelnen Messvorgänge an der Mohrschen Waage wurde dabei als $\delta_\Sigma = 5 \text{ kg m}$ angenommen, was dem Verschieben eines mittleren Gewichts um eine Kerbe entspricht. Das Ergebnis der Berechnung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Stoff	$\sum m_i r_i$ [kg m]	Dichte ρ [kg/m ³]
Wasser	$(500 \pm 5) \times 10^{-6}$	1003
Methanol	$(405 \pm 5) \times 10^{-6}$	812 ± 13
Ethylenglykol	$(545 \pm 5) \times 10^{-6}$	1093 ± 15

Tabelle 1: Dichten der Flüssigkeiten

5.3. Oberflächenspannung

Aus Gleichung (9) berechnet man die Oberflächenspannung der drei Flüssigkeiten aus den Messwerten. Der Fehler ergibt sich dafür nach der Fehlerfortpflanzung zu

$$\delta_\sigma = \frac{1}{4} g \sqrt{\delta_\rho^2 \Delta h^2 d_i^2 + \delta_{d_i}^2 \Delta h^2 \rho^2 + \delta_{\Delta h}^2 \rho^2 d_i^2}. \quad (16)$$

So kann für jede Kapillare und jede Flüssigkeit die Oberflächenspannung bestimmt werden, nach (c) mit der Fehlerformel (e) erhält man damit die Oberflächenspannung für die drei Flüssigkeiten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Kapillare	Oberflächenspannung σ [J/m ²]		
	Wasser	Methanol	Ethylenglykol
rot	$0,018 \pm 0,003$	$0,024 \pm 0,002$	$0,030 \pm 0,003$
grün	$0,045 \pm 0,005$	$0,022 \pm 0,004$	$0,044 \pm 0,005$
blau	$0,075 \pm 0,004$	$0,025 \pm 0,003$	$0,054 \pm 0,004$
Mittelwert	$0,039 \pm 0,018$	$0,0241 \pm 0,0008$	$0,039 \pm 0,008$

Tabelle 2: Oberflächenspannungen

5.4. Viskosität aus erster Messreihe

Mit Gleichung (11) berechnet man die dynamische Viskosität von Wasser aus den Messwerten der ersten Messreihe zur inneren Reibung. Der Fehler ergibt sich

dabei nach der Fehlerfortpflanzung zu

$$\delta_\eta = \eta \sqrt{16 \frac{\delta_{d_K}^2}{d_K^2} + \frac{\delta_{\Delta t}^2}{\Delta t^2} + \frac{\delta_{l_K}^2}{l_K^2} + 4 \frac{\delta_{d_G}^2}{d_G^2}}. \quad (17)$$

Die so erhaltenen Werte sind in Tabelle 3 aufgeführt, das gewichtete Mittel ergibt sich daraus nach Gleichung (c).

Kapillare	Viskosität η [10^{-3} Pa s]
blau	$1,26 \pm 0,12$
rot	$1,19 \pm 0,12$
grün	$1,54 \pm 0,16$
Mittelwert	$1,30 \pm 0,08$

Tabelle 3: Auswertung der ersten Messreihe zur inneren Reibung

5.5. Viskosität aus zweiter Messreihe

Nun soll die Viskosität aus der zweiten Messreihe zur inneren Reibung bestimmt werden. Dazu wird die Ausflusszeit gegen den Logarithmus der Wasserhöhe aufgetragen und ein linearer Zusammenhang $\log(h) = mt + b$ mittels `gnuplot` gefittet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt.

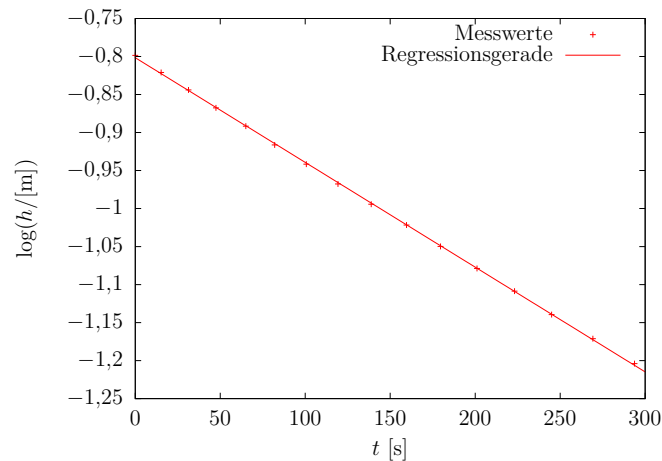


Abbildung 3: Auswertung der Ausflusszeit

Als Fitparameter erhält man

$$m = (-1,378 \pm 5,000) \times 10^{-3} / \text{s} \quad (18)$$

und

$$b = (-801,6 \pm 0,7) \times 10^{-3}. \quad (19)$$

Über Gleichung (13) identifiziert man

$$m = \frac{\rho g d_R^4}{32 \eta l_R D^2} \quad (20)$$

und berechnet

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\rho g d_R^4}{32 m l_R D^2} \\ &= (1,26 \pm 0,13) \times 10^{-3} \text{ Pa s}, \end{aligned} \quad (21)$$

wobei sich der Fehler nach der Fehlerfortpflanzung zu

$$\delta_\eta = \eta \sqrt{16 \frac{\delta_{d_R}^2}{d_R^2} + \frac{\delta_m^2}{m^2} + \frac{\delta_{l_R}^2}{l_R^2} + 4 \frac{\delta_D^2}{D^2}} \quad (22)$$

ergibt.

6. Diskussion

6.1. Oberflächenspannung

In Tabelle 4 sind die aus den Messwerten berechneten Oberflächenspannungen und entsprechende Literaturwerte gegenübergestellt.

Stoff	Messergebnis σ [J/m ²]	[SMT] σ [J/m ²]	Abweichung
Wasser	$0,039 \pm 0,018$	0,0727	46,4 %
Methanol	$0,0241 \pm 0,0008$	0,0224	7,6 %
Ethylenglykol	$0,039 \pm 0,008$	0,0477	18,2 %

Tabelle 4: Vergleich der Oberflächenspannungen

Man stellt sehr unterschiedliche Ergebnisse fest. Für Wasser liegt der Literaturwert der Oberflächenspannung trotz eines Fehlers von $\pm 47\%$ nicht im Fehlerintervall des Messergebnis. Die bestimmte Oberflächenspannung von Methanol hingegen passt sehr gut zum Literaturwert bei einer Abweichung von knapp 8 %. Bei Ethylenglykol liegt der Literaturwert auf der Grenze des Fehlerintervalls des Messergebnisses, die Abweichung beträgt hier rund 18 %.

Das Ergebnis für Methanol zeigt, dass der Versuchsaufbau grundsätzlich dafür geeignet ist, Oberflächenspannungen zu bestimmen. Die großen Abweichungen bei den anderen beiden Flüssigkeiten lassen sich daher nur durch Fehler bei der Versuchsdurchführung erklären. Zum einen können die Kapillaren noch verunreinigt gewesen sein und trotz gründlicher Reinigung Stoffe enthalten, die das Verhalten der Flüssigkeiten beeinflussen. Auch das Auswechseln der Flüssigkeiten in den Kapillaren ohne Reinigungen zwischendurch wird sich negativ auf die Messergebnisse ausgewirkt haben.

Zum anderen bietet auch die Dichtebestimmung mit der Mohrschen Waage ein hohes Fehlerpotential, da die kleinen Veränderungen die Gleichgewichtslage nur wenig verändern und diese auch nur schwierig eindeutig festgestellt werden konnte. Schließlich entstehen Messungenauigkeiten auch beim Herausziehen der Kapillaren aus der Flüssigkeit. Wird die Kapillare zu schnell herausgezogen, bleibt zu viel Flüssigkeit in ihr stehen. Für ein Verhalten entsprechend der beschriebenen Gleichungen muss das Herausziehen aber sehr langsam geschehen.

6.2. Viskosität

In Tabelle 5 sind die aus den beiden Messreihen zur inneren Reibung und ein Literaturwert gegenübergestellt.

	Viskosität η [10^{-3} Pa s]
Erste Messreihe	$1,30 \pm 0,08$
Zweite Messreihe	$1,26 \pm 0,13$
[TBP, S. 230]	1,309 (bei 10 °C) 1,006 (bei 20 °C)

Tabelle 5: Vergleich der dynamischen Viskositäten von Wasser

Die aus den Messwerten ermittelten Viskositäten liegen in ihren gegenseitigen Fehlerbereichen, beide Auswertungsmethoden sind also zueinander kompatibel. Insbesondere liegen beide Werte zwischen den Literaturwerten für die Viskosität bei 10 °C und 20 °C. Leider wurde bei der Versuchsdurchführung nicht die Temperatur bestimmt. Laut [FKG] betrug die Außentemperatur am Versuchstag zwischen 11,1 °C und 19,9 °C, die Messergebnisse scheinen also realistisch zu sein. Um eine genauere Aussage über die Güte unserer Ergebnisse zu erhalten, hätten wir dennoch die Temperatur vor und nach der Versuchsdurchführung bestimmen sollen.

A. Formelsammlung

Das arithmetische Mittel einer Messung mit n Einzelwerten x_i berechnet sich zu

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (\text{a})$$

wobei dessen Fehler durch

$$\delta_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{b})$$

gegeben ist.

Hat man mehrere unabhängige Ergebnisse x_i mit unterschiedlichen Fehlern δ_i , so ergibt sich das gewichtete Mittel zu

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\delta_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\delta_i^2}}. \quad (\text{c})$$

Der Fehler berechnet sich zu

$$\delta_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\delta_i^2}}}; \quad (\text{d})$$

bei stark unterschiedlichen Werten kann man alternativ auch zum folgenden Fehler greifen:

$$\delta_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\delta_i^2}}{(n-1) \sum_{i=1}^n \frac{1}{\delta_i^2}}}. \quad (\text{e})$$

B. Literatur

[FKG] Felix-Klein-Gymnasium Göttingen. *Wetterdaten. Juli 2012*. Online im Internet: <http://www.fkg.goe.ni.schule.de/links/wetter/files/m%25y%25m.htm>, abgerufen am 09.07.12, 21:51 Uhr.

[LP] Lehrportal Physik. *Kapillarität und Viskosität*. Online im Internet: <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/3638>, abgerufen am 09.07.12, 20:28 Uhr.

[NPP] Eichler, Hans; Kronfeldt, Heinz-Detlef & Sahm, Jürgen. *Das Neue Physikalische Grundpraktikum*. Zweite Auflage. Berlin, 2006.

- [SMT] SITA Messtechnik. *Oberflächenspannungs-Werte*. Online im Internet: http://www.sita-messtechnik.de/theorie/oberfl/werte_ofs.html, abgerufen am 09.07.12, 22:26 Uhr.
- [TBP] Stöcker, Horst. *Taschenbuch der Physik. Formeln, Tabellen, Übersichten*. Fünfte Auflage. Frankfurt am Main, 2005.