

Inhaltsverzeichnis

1.1 Viskosität von Flüssigkeiten.....	4
1.2 Grundlagen.....	4
1.3 Newton'sche und nicht-Newton'sche Flüssigkeiten.....	6
1.4 Strömungsarten und die Reynoldszahl.....	7
1.5 Experimentelle Bestimmung der Viskosität.....	8
1.5.1 Kräfte auf eine Kugel in einer Flüssigkeit.....	8
1.5.2 Das Stokes'sche Gesetz.....	8
1.5.3 Versuchsaufbau.....	9
1.5.3.1 <i>Materialien</i>	9
1.5.3.2 <i>Versuchsaufbau</i>	9
1.5.4 Fehlerquellen und -minderung.....	10
1.5.5 Versuchsdurchführung.....	10
1.5.6 Versuchsauswertung.....	11
1.5.6.1 <i>Daten</i>	11
1.5.6.2 <i>Viskosität</i>	11
1.5.6.3 <i>Messergebnisse</i>	12
1.5.6.4 <i>Berechnung der Viskosität</i>	13
1.5.6.5 <i>Überprüfen auf laminare Strömung</i>	14
1.6 Einfluss der turbulenten Strömung.....	15
1.6.1 Versuchsaufbau.....	15
1.6.1.1 <i>Materialien</i>	15
1.6.1.2 <i>Aufbau</i>	15
1.6.2 Versuchsdurchführung.....	15
1.6.3 Versuchsauswertung.....	16
1.6.3.1 <i>Daten</i>	16
1.6.3.3 <i>Messergebnisse</i>	16
1.6.3.4 <i>Berechnung der Viskosität</i>	16
1.6.3.5 <i>Auswertung</i>	17
1.7 Kapillarviskosimeter	18

1.7.1	Das Gesetz von Hagen-Poiseuille.....	18
1.7.2	Aufbau.....	18
1.8	Schlusswort.....	19
1.9	Anhang.....	20
1.9.1	Quelle 10.....	20
1.10	Literaturverzeichnis.....	21
1.11	Selbständigkeitserklärung.....	23

1.1 Viskosität von Flüssigkeiten

Wenn wir das Fließverhalten von unterschiedlichen Flüssigkeiten beschreiben, so sprechen wir meistens davon, dass Flüssigkeiten eine unterschiedliche Zähigkeit haben. Diesen Effekt wird in der Physik mit der Viskosität beschrieben und resultiert aus den zwischenmolekularen Kräften in einer Flüssigkeit.

In meiner Facharbeit werde ich mich mit Verfahren zur Bestimmung der Viskosität beschäftigen, selbst einen Versuch durchführen und ihn auswerten.

1.2 Grundlagen

Um die Viskosität zu verstehen, muss man sich zuerst mit den Kräften in der Flüssigkeit beschäftigen.

Will man einen Gegenstand mit einer konstanten Geschwindigkeit in einem fluiden oder gasförmigen Medium bewegen, so benötigt dies eine Kraft um die Bewegung aufrecht zu erhalten. Diese Beobachtung führt zu dem Schluss, dass das Medium eine Art Reibungskraft auf den zu bewegenden Körper ausübt. „Die Reibung wird bei Flüssigkeiten durch zwischenmolekulare Kräfte verursacht“¹. Um diese Kraft zu erklären werden wir ein kleines Gedankenexperiment machen:

Wir betrachten zwei parallel zueinander liegende, gleich große Platten zwischen denen sich eine Flüssigkeit befindet. Nun üben wir eine konstante Kraft F auf Platte 2 aus, die sich dadurch mit einer konstanten Geschwindigkeit v bewegt, Platte 1 bleibt in Ruheposition. Um die Kräfte innerhalb der Flüssigkeit genauer betrachten zu können,

zerlegen wir die Flüssigkeit in Schichten. Durch Adhäsion haftet die erste Flüssigkeitsschicht an Platte 2 und bewegt sich folglich auch mit der

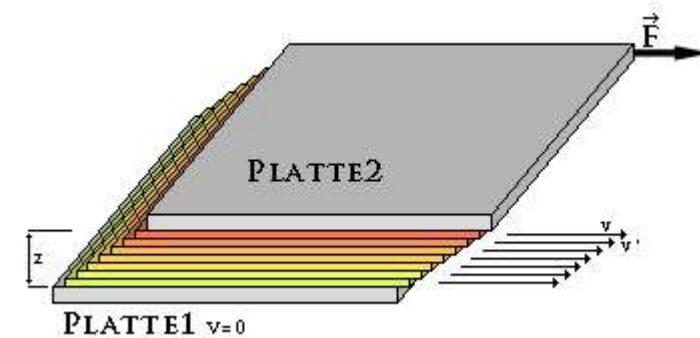


Abbildung 1

1 Dr. J. Wagner, Physikalisches Anfängerpraktikum, Oktober 2004, S.2 Quelle 6

Geschwindigkeit v . Auf der anderen Seite haftet natürlich auch die unterste Schicht an Platte 1 und bewegt sich dadurch mit der Geschwindigkeit 0. Ergo gleiten alle Flüssigkeitsschichten dazwischen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aneinander vorbei – im einfachsten Fall nimmt die Geschwindigkeit von Platte 1 zu Platte 2 linear zu, wie in Abbildung 1 dargestellt. Die oberste Schicht übt auf die darunterliegende eine Tangentialkraft aus und beschleunigt diese auf die Geschwindigkeit v' , diese aber wird auch durch die darunterliegende wiederum abgebremst. Also beschleunigt jede Schicht die darunterliegende und wird gleichzeitig von dieser abgebremst. Durch Auswerten von Versuchen hat sich gezeigt, dass die Kraft F , die nötig ist um die Platte 2 zu bewegen, „proportional ihrer Fläche A und der Geschwindigkeit v ist und umgekehrt proportional zum Abstand“⁴ z ist:

$$F \sim A \quad F \sim v \quad F \sim \frac{1}{x} \quad [3]$$

Aus den Einzelproportionalitäten folgt die Gesamtproportionalität

$$F \sim Av/x$$

welche sich auch als Gleichung - genannt Newton'sches Reibungsgesetz - schreiben lässt:

$$F = \eta \frac{Av}{x} \quad [7]$$

Die Konstante η heisst dynamische Viskosität, wird meistens aber nur mit Viskosität bezeichnet.

In SI-Basiseinheiten ausgedrückt

$$\frac{kg * m}{s^2} = \eta \frac{m^2 * m}{ms}$$

folgt für η

$$\eta = \frac{kg * m * m * s}{s^2 * m * m^2} \Leftrightarrow \eta = \frac{kg}{ms} \quad \text{oder} \quad \eta = Pa * s \quad (\text{Pascal} * \text{Sekunde})$$

In manchen Fällen wird allerdings noch die alte Einheit Poise (P) verwendet und es gilt $10 \text{ Poise} = 1 \text{ Pas}$

Bei der Angabe der Viskosität ist immer zu beachten, dass diese von der

4 Dr. J. Wagner, Physikalisches Anfängerpraktikum, Oktober 2004, S.3 Quelle 6

Temperatur der Flüssigkeit und ihrer Verunreinigung abhängt. Die Abhängigkeit von der Temperatur lässt sich ganz einfach durch Beobachtung der Atome erklären. Die zwischenmolekularen Kräfte in der Flüssigkeit werden auch van-der-Waals-Kräfte genannt und „sind umgekehrt proportional der sechsten Potenz des Abstandes der Moleküle“². Bei Erwärmung einer Flüssigkeit nehmen die Abstände zwischen den Molekülen immer mehr zu und folglich werden auch die van-der-Waals-Kräfte immer kleiner.

1.3 Newton'sche und nicht-Newton'sche Flüssigkeiten

Bei der Viskosität von Flüssigkeiten muss auch immer die Art der Flüssigkeit betrachtet werden.

Bei den sogenannten Newton'schen Flüssigkeiten hängt die Viskosität nicht von der Geschwindigkeit v ab. In einem solchen Falle erhält man das in Abbildung 1 abgebildete lineare Geschwindigkeitsprofil. Die meisten reinen Flüssigkeiten -wie die im Versuch verwendete Glycerin- gehören zur Gruppe der Newton'sche Flüssigkeiten.

Ist die Viskosität nicht konstant zu der Geschwindigkeit v so nennt man die Flüssigkeit nicht-Newton'sche Flüssigkeit. Diese treten im normalen Leben weitaus häufiger als Newton'sche Flüssigkeiten auf und sind im physikalischen Aspekt schwerer zu behandeln.

Als beste Beispiele lassen sich Ketchup und Margarine nennen. Sie gehören zur Gruppe der „thixotropen Flüssigkeiten“, das heisst ihre Viskosität nimmt mit zunehmender Schubkraft F ab.

Diese Eigenschaft wird zum Beispiel auch bei Lasuren genutzt: Dadurch kann die Lausur auf den Pinsel genommen werden, ohne dass sie tropft. Erst bei Streichbewegungen wird sie flüssiger und kann auf dem Objekt verteilt werden, was besonders beim Streichen über Kopf sehr nützlich ist.

² Andreas Hartman & Jochen Rüter , Universität Ulm – Grundpraktikum Physik für Ingenieure, S.6, Quelle 5

1.4 Strömungsarten und die Reynoldszahl

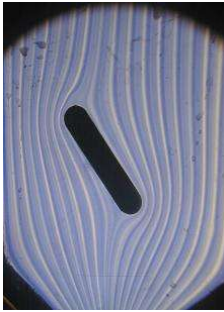


Abbildung 2

Beobachtet man das Vorbeigleiten zweier Flüssigkeitsschichten, so sieht man, dass die Schichten bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit aneinander abgleiten, ohne sich miteinander zu vermischen. In diesem Fall spricht man von *laminarer Strömung* (s. *Abbildung 2*).

Allerdings kann es durch bestimmte

Körpergeometrien oder durch zu hohe Geschwindigkeit zu einer Vermischung der einzelnen Flüssigkeitsschichten kommen. Durch diese Verwirbelungen erhöht sich die Kraft, die auf den strömenden Gegenstand wirkt. Hier spricht man von einer *turbulenten*

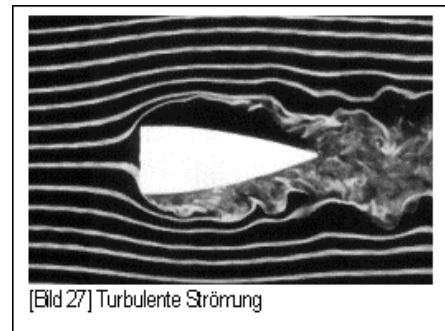


Abbildung 3

Strömung (s. *Abbildung 3*). Dadurch verliert das Newtonsche Reibungsgesetz seine Gültigkeit.

Mit diesen Effekten hat sich der Physiker Osborne Reynolds beschäftigt. Er beobachtete die Bildung von Turbulenzen in einem mit gefärbtem Wasser gefülltem Rohr. Reynolds stellte folgende Formel auf, die das Verhältnis von Zähigkeitskräften zu Trägheitskräften darstellt. Mit ihr lässt sich die Umströmung eines Körpers oder die Durchströmung eines Hohlraumes mit einer Flüssigkeit bewerten:

$$R_e = \frac{\rho v_s L}{\eta} \quad [7]$$

dabei bedeutet

- ρ – Die Dichte der Flüssigkeit in kg/m^3
- v_s – Die Relativgeschwindigkeit zwischen Flüssigkeit und Hohlraum/Körper in m/s
- L – eine charakteristische Länge in m
- η – Die dynamische Viskosität der Flüssigkeit in $\text{kg/m}^*\text{s}$

Mit der dimensionslosen Reynoldszahl Re lässt sich auch eine Aussage treffen, ob eine laminare oder turbulente Strömung vorliegt. Bei Rohrströmung spricht man ab einem Wert von ca. 2320 vom Umschlag in turbulente Strömung, beim Umströmen von Körpern bei $Re < 1$ von laminarer Strömung.

1.5 Experimentelle Bestimmung der Viskosität

Mit einem einfachen Experiment kann man die Viskosität einer Newton'schen Flüssigkeit bestimmen. Dazu misst man die Fallgeschwindigkeit einer Kugel in der Flüssigkeit und kann dadurch ihre Viskosität berechnen.

1.5.1 Kräfte auf eine Kugel in einer Flüssigkeit

Fällt eine Kugel durch eine Flüssigkeit, so wird ihre Fallgeschwindigkeit durch 3 Kräfte beeinflusst:

- Die nach oben gerichtete Auftriebskraft F_A
- Die nach unten gerichtete Gewichtskraft F_G
- Die nach oben gerichtete Reibungskraft F_R nach dem Stokes'schen Gesetz

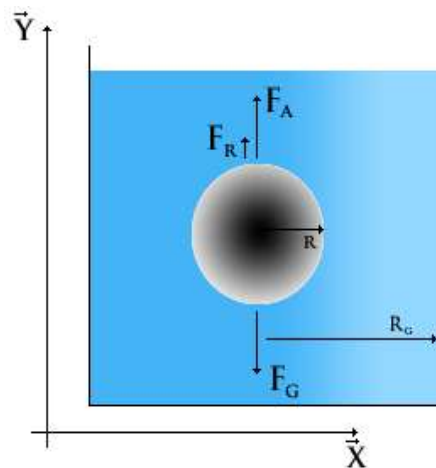


Abbildung 4

1.5.2 Das Stokes'sche Gesetz

Das Stokes'sche Gesetz beschreibt den Reibungswiderstand F_R einer Kugel mit dem Radius r , den sie beim Durchströmen des Fluides mit der Viskosität η mit der Relativgeschwindigkeit v erfährt:

$$F_R = 6\pi\eta vr \quad [7]$$

Diese Formel geht aber von unendlichen Gefäßdimensionen aus. Bei endlichen Gefäßdimensionen wird die „Sinkgeschwindigkeit verfälscht und systematisch zu klein gemessen“³. Deshalb muss die Formel mit der Ladenburg'schen Korrektur korrigiert werden

$$\text{Es gilt } F_R = 6\pi\eta vr * \lambda$$

3 Dr. J. Wagner, Physikalisches Anfängerpraktikum, Oktober 2004, S. 6, Quelle 6

$$\text{mit } \lambda = \left(1 + 2,1 \frac{r}{R_G}\right) \left(1 + 3,3 \frac{r}{H}\right) \quad [6]$$

wobei

- r = Radius der Kugel im m
- R_G = Radius des Gefäßes in m
- H = Höhe der Flüssigkeitssäule in m

1.5.3 Versuchsaufbau

1.5.3.1 Materialien

- Zylinder
- Stoppuhren
- Kugel
- Waage
- Millimeterschraube und Schiebelehre
- Thermometer
- Flüssigkeiten
- Lineal
- Stift
- Stativmaterial

1.5.3.2 Versuchsaufbau

Der Zylinder wird mit der Flüssigkeit gefüllt und das Thermometer am Stativ so montiert, dass die Temperatur des Fluids bestimmt werden kann. Es ist zu empfehlen das Thermometer während der Messreihe zu entfernen da es beim Einlassen der Kugel hinderlich sein kann.

Nun sollten im unteren Bereich des Zylinders 2 Messmarkierungen angebracht werden. Diese können entweder mit einem Foliestift direkt auf dem Zylinder aufgebracht werden oder auf ein Blatt Papier gemalt werden, das dann hinter den Zylinder gehangen wird. Die Blattmethode hat den Vorteil, dass sich ein weißer

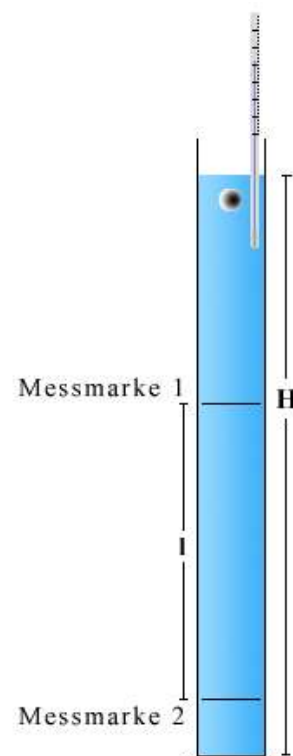


Abbildung 5

Hintergrund hinter dem Zylinder befindet und somit das Fallverhalten der Kugel besser zu beobachten ist.

1.5.4 Fehlerquellen und -minderung

Beim Durchführen des Versuches muss man mit einigen Fehlern rechnen. Beim Ablesen der Entfernung zwischen den beiden Messmarken sollte darauf geachtet werden, dass die Positionen auf dem Lineal möglichst senkrecht abgelesen werden, um Parallaxefehler zu vermeiden. Parallaxefehler können auch beim Ablesen der Temperatur am Thermometer auftreten.

Damit Ungenauigkeiten bei der Zeitmessung keinen Ausschlag bei der Berechnung der Viskosität geben, sollten mehrere Messungen gemacht werden und nachher der Mittelwert der errechneten Viskositäten gebildet werden.

1.5.5 Versuchsdurchführung

Zuerst wird die Temperatur des Fluids mit dem Thermometer und der Durchmesser des Zylinders mit der Schiebelehre bestimmt.

Nun wird die Masse der benutzten Kugeln mit der Waage bestimmt und ihr Durchmesser mit Hilfe der Millimeterschraube gemessen. Danach kann der eigentliche Teil des Messexperimentes durchgeführt werden.

Die Kugel wird in die Flüssigkeit gelassen und losgelassen. Hierbei ist zu beachten, dass die Kugel parallel zur y-Achse fallengelassen wird, so dass die Kugel nicht an die Seitenwände des Zylinders stößt. Falls dies Probleme bereitet kann ein Trichter genutzt werden, um den Einfallswinkel möglichst bei 90° zu halten.

1.5.6 Versuchsauswertung

1.5.6.1 Daten

<i>Kugel K₁</i>	
Masse [g]	0,2
Radius [cm]	0,2400
Volumen [cm ³]	0,0579
Dichte [kg/m ³]	3453,8833

<i>Zylinder</i>	
Höhe der Flüssigkeitssäule [cm]	37
Radius [cm]	1,795
Messstrecke l [cm]	15,000

1.5.6.2 Viskosität

Nach dem Fallenlassen der Kugel wird diese durch die Erdanziehungskraft g beschleunigt und durch die Auftriebskraft und die Stokes'sche Reibung gebremst. Da die Stokes'sche Reibung mit der Geschwindigkeit des strömenden Körpers wächst, heben sich die drei Kräfte F_A, F_G und F_R nach einer Beschleunigungsphase gegenseitig auf und es herrscht ein Kräftegleichgewicht .

$$F_G + F_R + F_A = 0$$

mit

- $F_G = -m \cdot g$ mit $m = V_K \cdot \rho_K \Rightarrow F_G = -V_K \cdot \rho_K \cdot g$ [8]
- $F_A = \rho_{Fl} \cdot V_K \cdot g$ (Archimedisches Prinzip) [9]
- $F_R = 6 \pi \eta v r \cdot \lambda$

folgt

$$-V_K \cdot \rho_K \cdot g + \rho_{Fl} \cdot V_K \cdot g + 6 \pi \eta v r \cdot \lambda = 0$$

$$\eta = \frac{V_K \cdot \rho_K \cdot g - \rho_{Fl} \cdot V_K \cdot g}{6 \pi v r \cdot \lambda} \Leftrightarrow \eta = \frac{V_K \cdot g (\rho_K - \rho_{Fl})}{6 \pi v r \cdot \lambda} \quad (*)$$

Das Volumen einer Kugel lässt sich über die Formel

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (**)$$

berechnen.

Für die Geschwindigkeit gilt

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (***)$$

Aus (**) und (***) eingesetzt in (*) ergibt sich

$$\eta = \frac{4 \pi r_K^3 * g (\rho_K - \rho_{Fl}) * t}{3 * 6 \pi r_K * \lambda} \quad \Leftrightarrow$$

$$\eta = \frac{2 r_K^2 * g (\rho_K - \rho_{Fl}) * t}{9 l * \lambda}$$

1.5.6.3 Messergebnisse

Glycerin (85%, 19,5° C)

<i>Zeit in s</i>	<i>Kugel K₁</i>
t1	0,68
t2	0,63
t3	0,69
t4	0,62
t5	0,59
t6	0,64
t7	0,6
t8	0,58
t9	0,6
t10	0,63

1.5.6.4 Berechnung der Viskosität

Um die Viskosität zu berechnen setzt man die gemessenen Zeitwerte und Daten in die Formel ein und bildet den Mittelwert der Messreihe.

Da in dem Versuch der Radius der Kugel r viel kleiner als der Radius des Zylinders ist, kann λ bei der Berechnung der Viskosität vernachlässigt werden.

$$\eta = \frac{2 r_K^2 * g (\rho_K - \rho_{Fl}) * t}{9 l} \Rightarrow \eta = \frac{2 r^2 * 9,811 \frac{m}{s^2} (\rho_K - 1216 \frac{kg}{m^3}) * t}{1,35 m}$$

<i>Zeit</i>	<i>Viskosität [Pas]</i>
t1	0,13002
t2	0,12046
t3	0,13193
t4	0,11855
t5	0,11281
t6	0,12237
t7	0,11472
t8	0,11090
t9	0,11472
t10	0,12046

$$\text{Mittelwert } \eta = \frac{\sum_n \eta}{n} = 0,119696 \text{ Pas} = 119,696 \text{ mPas}$$

Bei der untersuchten Flüssigkeit handelte es sich um eine 85% Glycerinlösung. Die Literaturwerte für die Viskosität von einer 95% Glycerinlösung lautet 400 mPas, für eine 50% Glycerinlösung 6,05 mPas. Damit ist ein Wert von 119,696 mPas nicht unwahrscheinlich, stellt aber kein Referenzwert da, es sich bei der Flüssigkeit nicht um eine aufgereinigte Chemikalie handelte.⁴

⁴ Literaturwerte s. Quelle 10

1.5.6.5 Überprüfen auf laminare Strömung

Um zu überprüfen ob die Viskosität für diese Flüssigkeit richtig bestimmt wurde, muss mit der Reynoldszahl überprüft werden, ob es sich um eine laminare Strömung handelte. Dafür muss $Re < 1$ sein

$$1 > \frac{\rho v_s L}{\eta}$$

Im Fall von umströmenden Körpern ist die charakteristische Länge der Durchmesser ($=2 \cdot r$) der Kugel.

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{0,15 \text{ m}}{0,626 \text{ s}} = 0,2396 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \rho = 1216 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad L = 0,0048 \text{ m}$$

$$\eta = 0,119696 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$1 > \frac{1216 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,2396 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0048 \text{ m}}{0,119696 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}$$

$$1 > 11,68432852$$

Die Bewertung des Strömungsverhalten anhand der Reynold'schen Zahl hat ergeben, dass keine laminare Strömung vorlag. Deshalb wurde die Kugel durch die turbulente Strömung abgebremst und die Viskosität der Flüssigkeit zu hoch errechnet. Wie stark die turbulente Strömung Einfluss auf die Fallgeschwindigkeit hat, wird in einer zweiten Messreihe mit einer größeren Kugel überprüft.

1.6 Einfluss der turbulenten Strömung

1.6.1 Versuchsaufbau

1.6.1.1 Materialien

Wie im ersten Versuch +

- 2 Lichtschranken
- Zeitmesser
- Torsteuerung

1.6.1.2 Aufbau

Der Aufbau entspricht in

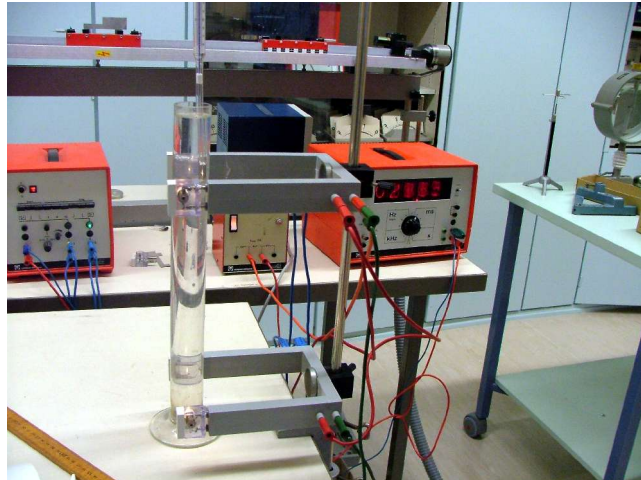


Abbildung 6

großen Teilen dem des ersten Versuches. Allerdings ist bei der viel größeren und schwereren Kugel eine viel höhere Geschwindigkeit zu erwarten. Dadurch wird es schwer sein, die Fallzeit mit handelsüblichen Stopuhren zu messen. Deshalb werden die Stopmarkierungen durch Lichtschranken ersetzt und so an die Torsteuerung angeschlossen, dass diese beim Verdunkeln der ersten Lichtschranke den Zeitmesser auslöst und beim Verdunkeln der unteren Lichtschranke stoppt.

1.6.2 Versuchsdurchführung

Wie im ersten Versuch werden die einzelnen Größe bestimmt und dann die Fallzeit der Kugel gemessen. Allerdings sollte die Funktionstüchtigkeit der Lichtschranke vor dem Loslassen der Kugel überprüft werden, da es durch die Brechung des Lichtes durch Zylinder und Flüssigkeit dazu kommen kann, dass nicht genügend Licht zum Auslösen der Lichtschranke einfällt.

1.6.3 Versuchsauswertung

1.6.3.1 Daten

<i>Kugel K₂</i>	
Masse [g]	35,9
Radius [cm]	1,0315
Volumen [cm ³]	4,5972
Dichte [kg/m ³]	7809,1012

<i>Zylinder</i>	
Höhe der Flüssigkeitssäule [cm]	37
Radius [cm]	2,005
Messstrecke l [cm]	25,600

1.6.3.2

1.6.3.3 Messergebnisse

Glycerin (85%, 19° C)

<i>Zeit in s</i>	<i>Kugel K₂</i>
t1	0,31524
t2	0,31570
t3	0,31864
t4	0,31436
t5	0,31407
t6	0,31454

1.6.3.4 Berechnung der Viskosität

Die Viskosität wird wieder über $\eta = \frac{2r_K^2 * g(\rho_K - \rho_{Fl}) * t}{9l * \lambda}$ berechnet. Allerdings

kann hier λ hier nicht vernachlässigt werden. Es gilt

$$\lambda = \left(1 + 2,1 \frac{r}{R_G}\right) \left(1 + 3,3 \frac{r}{H}\right) = \left(1 + 2,1 \frac{1,0315 \text{ cm}}{2,005 \text{ cm}}\right) \left(1 + 3,3 \frac{1,0315 \text{ cm}}{37 \text{ cm}}\right) = 2,27$$

<i>Zeit</i>	<i>Viskosität [Pas]</i>
t1	0,82967
t2	0,83088
t3	0,83862
t4	0,82735
t5	0,82659
t6	0,82783

$$\text{Mittelwert } \eta = \frac{\sum_n \eta}{n} = 0,83016 \text{ Pas} = 830,16 \text{ mPas}$$

1.6.3.5 Auswertung

Mit der größeren Kugel wurde die Viskosität auf 830,13 mPas bestimmt. Dies kann mehrere Gründe haben: Es ist sehr gut möglich, dass die Beschleunigungsphase der Kugel noch nicht abgeschlossen war oder die turbulente Strömung so große Einwirkung auf die Fallgeschwindigkeit hat. Ich halte es für wahrscheinlicher, dass die Beschleunigungsphase der Kugel noch nicht abgeschlossen war. Um dies zu überprüfen bräuchte man einen höheren Zylinder.

Um die Ergebnisse richtig auszuwerten braucht man eine weitere Methode um die Viskosität zu berechnen, ohne dass eine turbulente Strömung auftritt. Dies scheint mit der Kugelfall-Methode schwer möglich zu sein, da man aus der Formel für die Reynoldszahl lesen kann, dass entweder die Kugel sehr klein sein, oder die Flüssigkeit eine sehr hohe Viskosität haben muss, damit eine laminare Strömung auftritt.

1.7 Kapillarviskosimeter

1.7.1 Das Gesetz von Hagen-Poiseuille

Das Gesetz, benannt nach dem deutschen Ingenieur Hagen und dem französischen Arzt Poiseuille, beschreibt das Durchflussvolumen V pro Zeit t einer Flüssigkeit, das durch die Druckdifferenz p_1-p_2 erzeugt wird, mit der dynamischen Viskosität η durch ein Rohr mit dem Radius r und der Länge l .

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8 l \eta} \quad [7]$$

Das Gesetz ist auch nur solange gültig, wie eine laminare Strömung in dem Rohr vorliegt. Ist dies der Fall, so ist die Strömungsgeschwindigkeit durch Adhäsion Null und in der Rohrmitte am größten. Dadurch entsteht ein parabolisches Geschwindigkeitsprofil im Rohr.

1.7.2 Aufbau

In der Kapillare herrscht der Druckunterschied $\rho_{Fl} g h$, wodurch die Flüssigkeit langsam durch die Kapillare in den Auffangbehälter fließt. Stellt man das Gesetz von Hagen-Poiseuille nach η um, lässt sich die Viskosität durch stoppen der Zeit für eine bestimmtes Volumen berechnen.

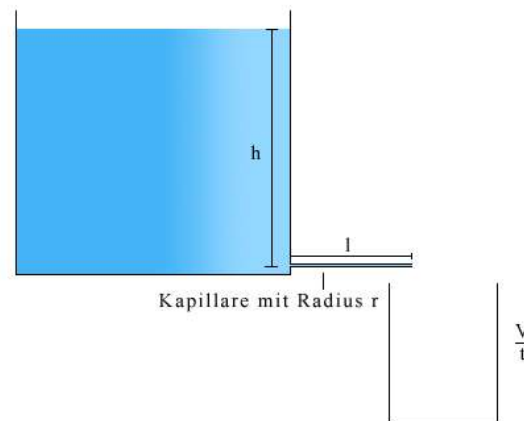


Abbildung 7

$$\eta = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2) t}{8 l V}$$

Da bei Rohrströmung erst ab einer Reynoldszahl von 2320 eine turbulente Strömung auftritt, ist es bei dieser Methode leichte turbulente Strömungen zu vermeiden. Ausserdem kann die Kapillare sehr klein gehalten werden. Beim Kugelfallviskosimeter kann dies zu Problemen bei der Bestimmung der Position der Kugel führen, wenn diese zu klein wird.

1.8 Schlusswort

Der Versuch zur Bestimmung der Einwirkung der turbulenten Strömung sollte zuerst über Videographie ausgewertet werden. Dazu sollte der Fall über eine Videokamera aufgezeichnet werden. Danach kann der Film am Computer ausgewertet werden, indem man die Position der Kugel in den einzelnen Frames bestimmt. So kann die Geschwindigkeit der Kugel bestimmt werden.

Hierbei gab es allerdings Probleme: Da die Geschwindigkeit der Kugel sehr hoch war, war die Position der Kugel in den einzelnen Frames nicht eindeutig zu bestimmen. Eine Auswertung über Videographie ist also nur bei sehr geringen Geschwindigkeiten oder mit einer Kamera, die mehr als 25 Frames pro Sekunde aufzeichnet, möglich.

Nach der Facharbeit sind noch viele Fragen offen, die in der Kürze der Zeit nicht beantwortbar waren. Eine stärkere Beschäftigung mit dem Zustandekommen von nicht-Newton'schen Effekten wäre sehr interessant gewesen vor allem im Hinblick von medizinischen Aspekten zum Thema Blut. Auch die exakte Bestimmung der Viskosität für die 85% Glycerinlösung hätte noch eine Bewertung der turbulenten Strömung zugelassen.

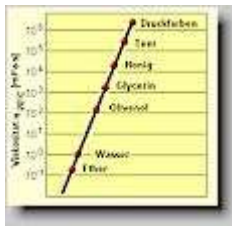
Die Facharbeit hat gezeigt, dass beim Durchführen von Experimenten sehr viel Zeit dafür aufgewendet werden muss, um Voraussetzungen einzuhalten (in diesem Experiment zum Beispiel konstante Temperatur, gleichförmige Bewegung der Kugel während der Messphase) und die Auswirkungen anderer Gesetzmässigkeiten, wie turbulente Strömungen, auszuschliessen.

1.9 Anhang

Alle nicht hier aufgeführten Quellen befinden sich auf der beigelegten CD der Facharbeit

1.9.1 Quelle 10

Viskosität



Dynamische Viskositäten von Newtonschen Flüssigkeiten bei 20°C
in mPa·s

Ether (Diethylether)	0,23
Wasser	1,0087
Ethanol (Ethylalkohol)	1,19
Schmieröl	0,1-1,2
Glycerin (50%)	6,05
Olivenöl	107,5
Glycerin (93%)	400
Glycerin (100%)	1500
Honig	10^4
Druckfarben	10^5-10^8
Teer	$>10^5$
Vergußmassen	$>10^8$

/



© 2004 Büro für angewandte Mineralogie · Dr. Stephan Rudolph · D-47918 Tönisvorst

Vorstehende Angaben entsprechen den im Labor und Betrieb gemachten Erfahrungen. Sie können jedoch in Anbetracht der wechselnden Verhältnisse nur als Anhalt dienen und sind in diesem Sinne als unverbindlich anzusehen. Diese Produkte sind nur für den industriellen Bereich und vergleichbare Anwendungen (z. B. Forschung und Entwicklung) bestimmt. Die beim Umgang mit Chemikalien üblichen Vorsichtsmaßnahmen sind zu berücksichtigen. Schutzrechte Dritter bitten wir zu beachten.

1.10 Literaturverzeichnis

- [1] Physikalisches Institut Stuttgart, Physikalisches Praktikum, Stuttgart 27 Juli 2004
http://www.physik.uni-stuttgart.de/studium/praktika/ap/pdf_dateien/neuesbuch.pdf
 Stand: 25.01.2005
- [2] Martin Kröger, Nicht-newtonsche Effekte in Fluiden, Berlin 11. Januar 2002
<http://polyphys-s01.ethz.ch/pub/MK/aprints/pmk501preprint.pdf>
 Stand: 04.01.2005
- [3] <http://www1.physik.tu-muenchen.de/~cucke/medprakt/Viskositaet.PDF>
 Stand: 17.01.2005
- [4] L. Jahn, Physikalisches Praktikum – Versuch: Rf, Dresden März 2004
<http://www.physik.tu-dresden.de/praktikum/gpp/Anleitungen1/RF.pdf>
 Stand: 03.01.2005
- [5] Andreas Hartman & Jochen Rüter, Viskosität und Oberflächenspannung, Ulm 12.12.01
http://www.uni-ulm.de/~s_jruete/studi/physik/Versuch%2004%20-%20Viskositaet%20und%20Oberflaechenspannung.pdf
 Stand: 31.01.2005
- [6] Dr. J. Wagner, Physikalisches Anfängerpraktikum, Oktober 2004
http://www.physikpraktika.uni-hd.de/versuche2/212_Zaehigkeit.pdf
 Stand: 30.01.2005
- [7] Richard Knerr, Bertelsmann Lexikon Physik – Vom Atom zum Universum, Gütersloh 1995
- [8] Heinz Klaus Strick & Bernd Wurl, Formelsammlung für Gymnasien, Hannover 1998
- [9] http://de.wikipedia.org/wiki/Archimedisches_Prinzip
 Stand: 25.02.2005
- [10] Dr. Stephan Rudolph, Viskosität, 2004
<http://www.a-m.de/deutsch/lexikon/viskositaet-tafel1.htm>
 Stand: 23.02.2005 (s. Anhang)
- [11] <http://de.wikipedia.org/wiki/Reynoldszahl>

Stand: 20.02.2005

[12] <http://de.wikipedia.org/wiki/Viskosit%C3%A4t>

Stand: 19.02.2005

[Abbildung 2] <http://vorsam-server.physik.uni-ulm.de/Versuche/MF/html/MF012V00-Dateien/image006.jpg>

[Abbildung 3] <http://pluslucis.univie.ac.at/FBA/FBA01/preiss/kap3-Dateien/image008.gif>

1.11 Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Facharbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle verwendeten Materialien habe ich im Anhang angegeben. Ich erkläre ferner verbindlich, dass ich alle Zitate kenntlich gemacht habe und ihre Herkunft im Anhang angegeben habe.

Mir ist klar, dass ein Zuwiderhandeln gegen diese Bestimmungen zu einer 0-Punkte Bewertung der Arbeit führt.

Troisdorf den 27. Februar 2005 Unterschrift des Verfassers: