

VERSUCH V107

Das Höppler-Viskosimeter

Jannis Vornholt
jannis.vornholt@tu-dortmund.de

Alfredo Manente
alfredo.manente@tu-dortmund.de

Durchführung: 02.02.2021

Abgabe: 09.02.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
3	Versuchsaufbau	4
4	Durchführung	4
5	Messwerte	5
6	Auswertung	6
6.1	Bestimmung der Kugelkonstanten der großen Kugel K_G	6
6.2	Bestimmung der Temperaturabhängigen Viskosität	7
7	Diskussion	10
	Literatur	10

1 Ziel

Ziel des Versuches V107 "Das H"oppler-Viskosimeter" ist die Temperaturabh"angigkeit der Viskosit"at von Wasser zu ermitteln.

2 Theorie

Wenn eine glatte Kugel durch eine z"ah"e Fl"ussigkeit f"allt, beeinflussen die Schwerkraft F_G , der Auftrieb F_A und die Reibungskraft F_R die Bewegung der Kugel. Es gilt nach Stokes f"ur eine Kugel mit Radius r , welche mit der Geschwindigkeit v durch eine unendlich ausgedehnte Fl"ussigkeit f"allt

$$F_R = 6\pi\eta r v \quad (1)$$

, wobei η die Viskosit"at der Fl"ussigkeit beschreibt. Nach einer anf"anglichen Beschleunigungsphase, wird die beschleunigende Kraft durch die Reibungskraft kompensiert.

Da beim freien Fall Turbulenzen entstehen, welche das Verhalten nicht mehr reproduktiv wiederhol- und beschreibbar machen, wird das H"oppler-Viskosimeter geneigt. So wird eine gleitende reproduzierbare Bewegung verursacht. So gilt f"ur die Viskosit"at dann

$$\eta = tK(\rho_K - \rho_F) . \quad (2)$$

Hier beschreiben ρ_K die Dichte der Kugel, ρ_F die Dichte der Fl"ussigkeit, t die Fallzeit zwischen oberer und unterer Messmarke und K die Kugelkonstante. Die Kugelkonstante K beinhaltet die Stoke'schen Beziehungen der Apparatur und der endlichen Ausdehnung der Fl"ussigkeit. Diese muss experimentell bestimmt werden.

3 Versuchsaufbau

Das Höppler-Viskosimeter besteht im wesentlichen aus einem Fallrohr, welches mit der zu probenden Flüssigkeit gefüllt ist. Umgeben wird es durch ein Wärmebad. Mit einem Thermometer wird die Temperatur gemessen. In dem Fallrohr befinden sich eine kleine und eine große Glaskugel, welche unterschiedliche Fallzeiten besitzen. Nach jedem Fallversuch wird das Viskosimeter um 180° gedreht und arretiert.

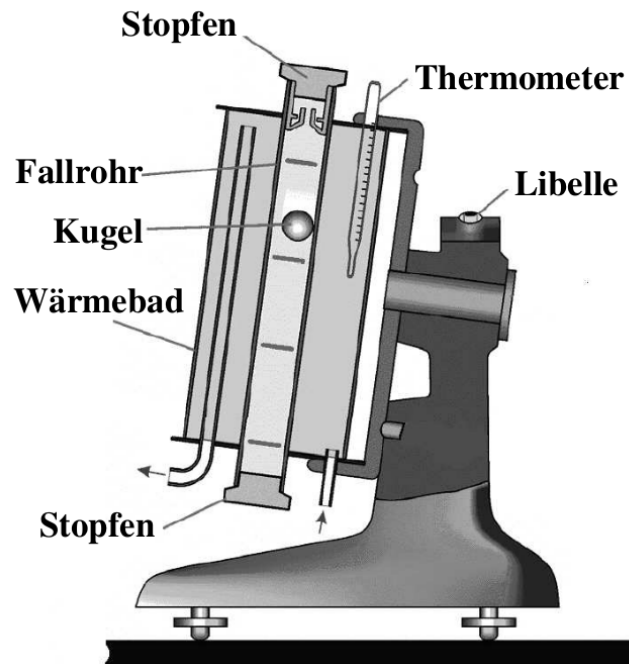


Abbildung 1: Eine schematische Abbildung des Höppler-Viskosimeter [1].

4 Durchführung

Bestimmung der Kugelkonstante Zur Bestimmung der Kugelkonstante der großen Kugel wurden die Fallzeiten für beide Kugeln bei der Zimmertemperatur von $\vartheta = 20,5 \pm 1,0[^\circ\text{C}]$ 10 mal gemessen.

Bestimmung der Temperaturabhängigkeit Um die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Wasser zu bestimmen, wurde die Fallzeit der großen Kugel für verschiedene Temperaturen gemessen. Für jede einzelne Temperatur wurde die Fallzeit 3 mal gemessen.

5 Messwerte

Tabelle 1: Fallzeit der Kugeln bei Zimmertemperatur $((20.5 \pm 1.0)^\circ\text{C})$.

Messung	$t_{\text{kleineKugel}}[s]$	$t_{\text{großeKugel}}[s]$
1	15.7	132.3
2	15.8	131.9
3	15.6	132.1
4	15.6	131.8
5	15.6	131.3
6	15.6	131.5
7	15.6	131.0
8	15.6	131.2
9	15.7	131.1
10	15.7	130.6

Tabelle 2: Temperaturabhängige Fallzeit der größeren Kugel

$T[^\circ\text{C}]$	t_1	t_2	t_3
20.5	131.2	131.1	130.6
28.0	109.8	109.1	109.6
35.7	93.3	92.7	92.4
43.5	78.3	80.1	79.6
51.4	70.5	70.5	70.6
59.2	62.4	62.9	62.5
67.1	55.0	55.1	55.0
75.0	49.2	49.0	48.9
82.9	44.0	45.2	44.5
88.9	42.5	42.8	42.0

6 Auswertung

6.1 Bestimmung der Kugelkonstanten der großen Kugel K_G

Die Viskosität des Wassers ist bei konstanter Temperatur, nicht von der Kugel abhängig. Daher kann die Kugelkonstante der großen Kugel K_G durch Umstellen von Formel (2), wie folgt berechnet werden:

$$K_G = \frac{\eta}{t_G(\rho_G - \rho_F)}. \quad (3)$$

Die gegebenen Parameter sind ρ_G und ρ_F , die Dichte der großen Kugel bzw. die Dichte der Flüssigkeit. Die Zeit t_G ist die gemessene Fallzeit der großen Kugel und in Tabelle 1 dargestellt. Die Viskosität des Wassers wird, da sie in diesem Fall nicht von der Kugel abhängt, durch Gleichung (2) (allerdings in diesem Fall mit Parametern der kleinen Kugel) berechnet. Da der Fehler nach Gauß bestimmt wird, wird als erstes die Messunsicherheit von η , ebenfalls nach Gauß, bestimmt. Um diese Messunsicherheit bestimmen zu können, muss die Messunsicherheit der Dichte des Wassers ρ_F bestimmt werden, da diese als einzige, der benötigten, nicht gegeben ist. Nach [2] ergibt sich für diese, Formel (4)

$$\Delta\rho_F = \frac{\Delta T}{T} \rho_F, \quad (4)$$

mit der Temperatur des Wassers T . Nachdem diese Unsicherheit berechnet ist, kann $\Delta\eta$ durch Formel (5) berechnet werden [2].

$$\Delta\eta = \sqrt{(t_K K_K)^2 \cdot (\Delta\rho_K)^2 + (t_K K_K)^2 \cdot (\Delta\rho_F)^2 + (t_K(\rho_K - \rho_F))^2 \cdot (\Delta K_K)^2 + (K_K(\rho_K - \rho_F))^2 \cdot (\Delta t_K)^2} \cdot q. \quad (5)$$

Anschließend kann auch ΔK_G mit Hilfe von Formel (6), bestimmt werden.

$$\Delta K_G = \sqrt{\left(\frac{1}{t_G(\rho_G - \rho_F)}\right)^2 \cdot (\Delta\eta)^2 + \left(-\frac{\eta}{t_G \rho_G^2}\right)^2 \cdot (\Delta\rho_G)^2 + \left(-\frac{\eta}{t_G \rho_F^2}\right)^2 \cdot (\Delta\rho_F)^2 + \left(-\frac{\eta}{(\rho_G - \rho_F)t_G^2}\right)^2 \cdot (\Delta t_G)^2}. \quad (6)$$

Tabelle 3 zeigt die gegebenen und benutzten Werte und Messunsicherheiten, Tabelle 4 zeigt die berechneten Werte und Unsicherheiten und Gleichung (7) zeigt die berechnete Kugelkonstante für die große Kugel, mitsamt Messunsicherheit.

$$K_G = (6,0663 \cdot 10^{-8} \pm 4,4915 \cdot 10^{-10}) \frac{m^2}{s^2}. \quad (7)$$

Tabelle 3: Gegebene Werte mit Messunsicherheiten

ρ_G	$\left[\frac{g}{cm^3}\right]$	2.229	± 0.008
ρ_K	$\left[\frac{g}{cm^3}\right]$	2.233	± 0.009
ρ_F [3]	$\left[\frac{g}{cm^3}\right]$	0.998103	
K_K	$\left[\frac{m^2}{s^2}\right]$	5.08	$\pm 0,08 \cdot 10^{-8}$
T	$[^{\circ}C]$	20.5	± 1

Tabelle 4: Berechnete Werte und Unsicherheiten

$\Delta\rho_F$	$\left[\frac{g}{m^3}\right]$	$\pm 4,8688 \cdot 10^4$	
η	$\left[\frac{g}{m \cdot s}\right]$	0.9818	± 0.0423
t_k	$[s]$	15.65	± 0.0212
t_g	$[s]$	131.48	± 0.1611
K_G	$\left[\frac{m^2}{s^2}\right]$	$6,0663 \cdot 10^{-8}$	$\pm 4,4915 \cdot 10^{-10}$

6.2 Bestimmung der Temperaturabhängigen Viskosität

Die Tabelle 5 enthält die in diesem Kapitel verwendeten Dichten von Wasser, zudem sind diese Dichten in Graphik 2, im Verhältnis zur Temperatur T aufgetragen, um die Proportionalität besser zu verdeutlichen. Die Messungenauigkeiten sind wie in Kapitel 6.1 dargestellt, berechnet. In Graphik 2 sind keine Messungenauigkeiten dargestellt, da diese Ungenauigkeiten bei diesem Versuch im Wesentlichen von der Ungenauigkeit der Temperatur herrührt und nicht von der Dichteangabe selbst.

Tabelle 5: Benötigte Wasser-Dichten [3]

T $[^{\circ}C]$	$\rho_G \left[\frac{g}{cm^3}\right]$	Fehler
20.5	0.998103	± 0.04869
28.0	0.996236	± 0.03558
35.7	0.99379	± 0.02784
43.5	0.99083	± 0.02278
51.4	0.98740	± 0.01921
59.2	0.98361	± 0.01662
67.1	0.97940	± 0.01460
75.0	0.97484	± 0.01300
82.9	0.96996	± 0.01170
88.9	0.96605	± 0.01087

Die temperaturabhängige Viskosität lässt sich durch Formel (2) und mit Hilfe der Werte aus Tabelle 2, so wie der Werte aus Tabelle 5 und Graphik 2, bestimmen. Die durch Formel (2) berechneten Viskositäten, sind in Tabelle 6 zusammengefasst, so wie in Graphik 3 in Abhängigkeit der Temperatur dargestellt. Zudem ist in Tabelle 6 der

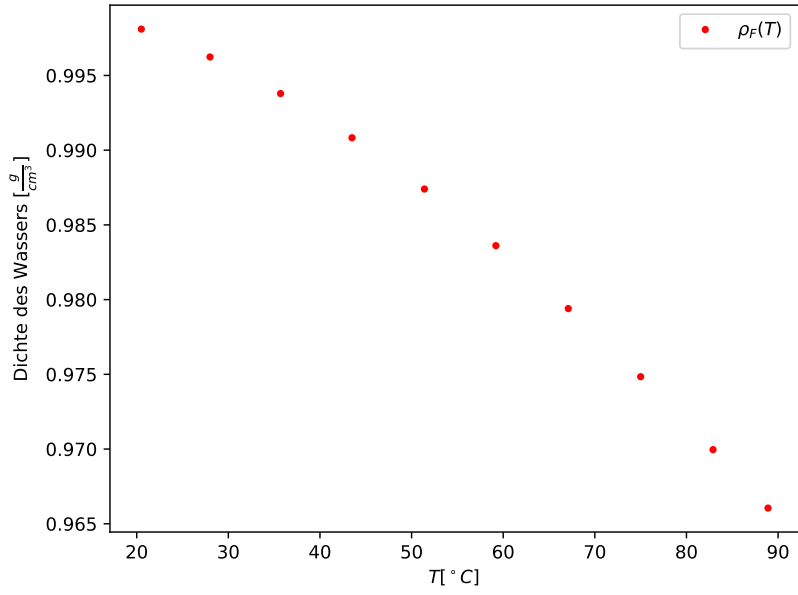


Abbildung 2: Die Dichte des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur

jeweils zur Berechnung genutzte Mittelwert der Zeit, so wie sein Fehler beinhaltet.

Tabelle 6: Temperaturabhängige Viskositäten und die für deren Berechnung genutzte t

T [°C]	$\eta[\frac{g}{m \cdot s}]$	Fehler von η	genutzte $t[s]$	Fehler von t
20.5	1.7709	± 0.1313	130.97	± 0.1513
28.0	1.4806	± 0.1098	109.05	± 0.1700
35.7	1.2548	± 0.0931	92.80	± 0.2160
43.5	1.0727	± 0.0797	79.30	± 0.4380
51.4	0.9537	± 0.0707	70.53	± 0.0272
59.2	0.8465	± 0.0628	62.60	± 0.1247
67.1	0.7442	± 0.0552	55.03	± 0.0272
75.0	0.6630	± 0.0492	49.03	± 0.0720
82.9	0.6026	± 0.0448	44.57	± 0.2841
88.9	0.5738	± 0.0426	42.43	± 0.1905

Graphik 3 ist wie in [1] und [4] nahegelegt, als Arrhenius-Plot dargestellt. Mit dem Ansatz aus [1] ergibt sich die in Graphik 3 dargestellte Ausgleichsfunktion (8). Zudem sind die in Tabelle 7 dargestellten Literaturwerte der Temperaturabhängigen Viskosität von Wasser, ebenfalls in Graphik 3 eingetragen.

$$\rho = 0,534e^{\frac{25,95}{T}} \quad (8)$$

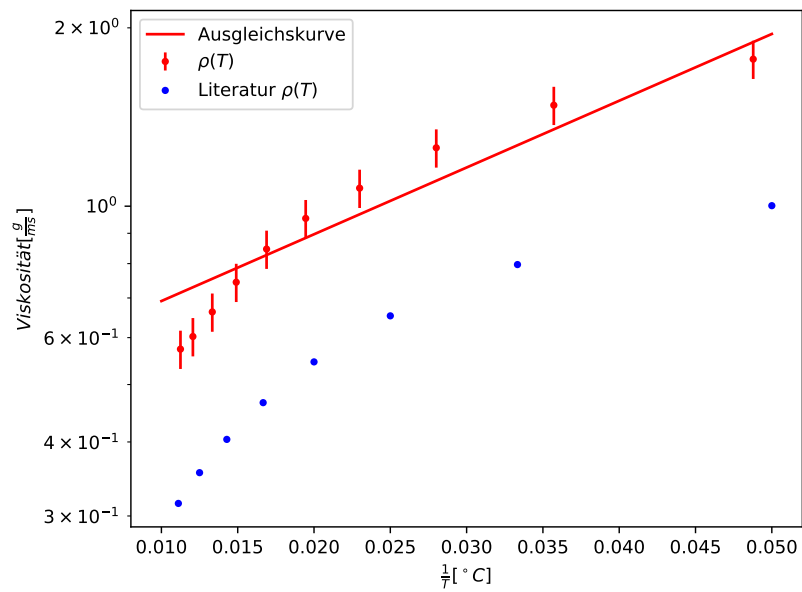


Abbildung 3: Die Viskosität des Wassers in Abhängigkeit vom Kehrwert der Temperatur

Tabelle 7: Literaturwert für die Temperaturabhängige Viskosität von Wasser

T [°C]	Literaturwert $\eta[\frac{g}{m \cdot s}]$
0	1,792
10	1,307
20	1,002
30	0,797
40	0,653
50	0,546
60	0,466
70	0,404
80	0,355
90	0,315

7 Diskussion

Der Vergleich der Viskositäten aus der Literatur, mit den Gemessenen ist schwer, da die jeweiligen Werte für verschiedene Temperaturen zur Verfügung stehen. Die Alternative, die Literaturwerte mit der Ausgleichsfunktion zu vergleichen, stellt scheinbar keine Alternative dar, da diese Funktion, wie in 3 deutlich zu sehen ist, stark von Form, also dem Verlauf der gemessenen Werte, abweicht. Dennoch ist in Graphik 3 klar zu erkennen, dass der grundsätzliche Verlauf der gemessenen Werte und der Literaturwerte, stark übereinstimmt. Daher lässt sich vermuten, dass die bestimmte Ausgleichsfunktion die tatsächliche Abhängigkeit von $\rho(T)$ von T, nicht gut wiedergibt. Gründe dafür könnten eine schlechte Approximation oder ein schlecht gewählter Ansatz sein. Beim Vergleich der Kurven der gemessenen Viskositäten und der Literaturwerte, ist wie bereits erwähnt klar der selbe Verlauf zu erkennen, also die selbe Proportionalität zur Temperatur T. Dennoch fällt ebenfalls auf, dass die Werte stark verschoben sind. Die gemessenen Werte sind grundsätzlich höher. Ein paar halbwegs vergleichbare Werte (auch aufgrund der 1°C Temperaturunsicherheit) sind die für 20°C, 50°C, 60°C und 90°C, der Literaturwerte. In diesen Fällen betragen die gemessenen Werte 177%, 175%, 182% und 182% der Literaturwerte. Auffällig ist, dass die prozentuale Abweichung nahezu gleich bleibt, was bei den absoluten Werten nicht der Fall ist. Das lässt darauf vermuten, dass es einen systematischen Fehler gibt. Naheliegend wäre hier die zuvor bestimmte Kugelkonstante der großen Kugel, da diese experimentell bestimmt wurde und somit mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist. Insgesamt lässt sich also sagen, dass der erste Teil des Versuchs, die Bestimmung der Kugelkonstanten, anscheinend einen für den zweiten Teil des Versuchs relevanten Fehler produziert hat bzw. enthält. Der Zweite Teil des Versuchs, die temperaturabhängige Bestimmung der Viskosität des Wassers, hat im Grunde gut funktioniert und hätte mit besseren gegebenen Werten, vermutlich gute Ergebnisse geliefert. Wobei nicht vergessen werden darf, dass die Proportionalität zwischen Viskosität des Wassers und der Temperatur, durchaus gut dargestellt ist.

Literatur

- [1] *Anleitung zu Versuch Nr. 107: Das Höppler-Viskosimeter*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.
- [2] *Fehler Formeln*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2020.
- [3] Internetchemie.info. *Wasser-Dichtetabelle*. 2019. URL: <https://www.internetchemie.info/chemie-lexikon/daten/w/wasser-dichtetabelle.php> (besucht am 02.02.2021).
- [4] *Messdaten und Hinweise zum Versuch Viskosimeter*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.