INHALT

Versuch Vis: Viskosität

1. Allgemeines

Versuch: Vis; Viskosität

Teilnehmer: Protokollperson: Anna-Maria Pleyer

Messperson: Dominik Müller

Auswerteperson: Paul Schwanitz

Versuchstag: Donnerstag, 6. August 2020

Versuchsort: Universität Bayreuth, NW II Raum: 2.2.02.694

Versuchsplatz: (siehe Messprotokoll)

Gruppennummer: 3

Abgabe: Montag, 24. August 2020

2. Einleitung

In unseren modernen Welt ist es von essenzieller Bedeutung Flüssigkeiten und deren Eigenschaften zu kennen und zu verstehen, da sie in zahlreichen Bereichen des modernen Lebens von Bedutung sind. Einige Beispiele hierfür sinddie die Trinkwasserversorgung, die Medizin (Blutkreislauf) oder wenn es darum geht hydraulische Systeme oder andere Maschinen, die auf Flüssigkeiten angewiesen sind um zu funktionieren, zu konstruieren. Eine wichtige Eigenschaft von Flüssigkeiten ist die Viskosität (Zähigkeit von Flüssigkeiten), auf der das Augenmerk in diesem Versuch liegt. Der Versuch soll, vor allem durch die Messung der Zähigkeit, dazu beitragen ein tieferes Verständnis für diese Eigenschaften von Flüssigkeiten zu erlangen.

3. Fragen zur Vorbereitung

Frage 1:

Die Reibungskraft die auf eine Kugel wirkt, die von einer laminaren Strömung umgeben ist, wird durch das Gesetz von Stokes beschrieben.

$$F_R = 6\pi \eta r v$$

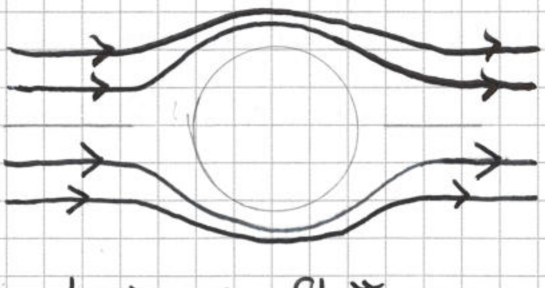
Wobei η die dynamische Viskosität ist. Dieser Zusammenhang wird bei der Viskositätsmessung mit der Kugelfallmethode ausgenutzt. Auf eine frei fallende Kugel, mit Radius r, in einer mit Flussigkeit gefüllten Röhre, mit Radius R, wirken die Gewichtskraft, die Auftriebskraft und die Reibungskraft. Bei einer bestimmten Geschwindigkeit sind nun alle Kräfte im Gleichgewicht. Es stellt sich eine konstante Fallgeschwindigkeit ein, aus der die Viskosität folgendermaßen berechnet werden kann.

Skizze wäre nett.

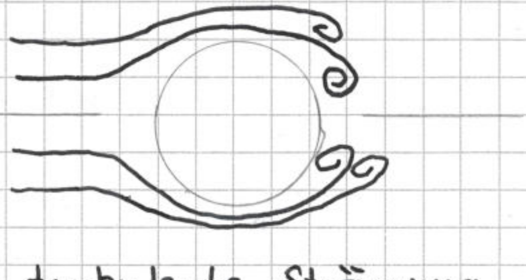
$$\eta = \frac{2r^2(\rho_{Kugel} - \rho_{Fl})\,g}{9v\left(1 + 2{,}1\,\frac{r}{R}\right)}$$

Frage 2:

Als laminare Strömung wird eine turbulenzfreie Strömung bezeichnet. Das heißt, dass Fluid strömt in Schichten, die sich nicht miteinander vermischen. Eine laminare Strömung existiert nur unterhalb einer bestimmten Grenzgeschwindigkeit. Oberhalb dieser Grenzgeschwindigkeit enstehen durch erhöhte Reibungskräfte Verwirbelungen, dies wird als turbulente Strömung bezeichnet. Für die turbulente Strömung verlieren die für den Versuch benötigten Gesetze ihre Gültigkeit, weshalb der Versuch unter laminaren Bedingungen durchzuführen ist.



laminare Strömung



turbulente Strömung

Frage 3:

Hagen-Poiseuille'sche Gesetz:

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

Wobei $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ das Volumen pro Zeit (Volumenstrom) angibt, r den Innen-Radius des Rohres, p den Druck und l die Länge. Aus dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz geht hervor, dass der Radius des Rohres, aufgrund der vierten Potenz, den größten Einfluss auf den Volumenstrom hat. Umso größer der Radius umso mehr Volumen kann pro Zeit transportiert werden. Die Länge hat hingegen den gegenteiligen Effekt, umso länger die Kapillare umso weniger Volumenstrom ist möglich. Die Druckdifferenz hingegen hat wiederum einen positiven Einfluss auf den Volumenstrom.
Medizin: Geringfügige Arterienverengungen führen bereits dazu, dass das Herz einen wesentlich höheren Druck erzeugen muss um die Versorgung des Gewebes hinter der Verengung zu gewährleisten.
Wasserversorgung: Bei der Städtischen Wasserversorgung handelt es sich um extrem lange Rohrleitungen, um eine effiziente Wasserversorgung zu gewährleisten muss der Rohrdurchmesser und der Druck ausreichend groß sein.
Für die Bewässerung eines großen Gartens gilt das gleiche wie für die städtische Wasserversorgung. Ein großer Innendurchmesser, sowie ein hoher Druck sind also aufgrund der langen Leitungen von Nöten.

Frage 4:

Stefan-Bolzmann-Gesetz:

Gibt an, welche Strahlungsleistung P ein schwarzer Körper mit der Fläche A und der Temperatur T abgibt. σ ist die Stefan-Bolzmann-Konstante.

$$P = \sigma A T^4$$

Flächenträgheitsmoment eines Kreises:

$$I = \frac{\pi}{2} r^4$$

Rayleigh-Streuung:

$$\sigma \approx \sigma_{Th} \frac{\omega^4}{\omega_0^4}$$

Wobei $\sigma_{Th} = 0{,}665 \cdot 10^{-24}$ der Thomson-Wirkungsquerschnitt ~~der~~ und σ der Wirkungsquerschnitt der Rayleight-Streuung für ein einzelnes Teilchens ist.

Viertes-Potenz-Gesetz:

Die Beanspruchung einer Straße steigt proportional zur vierten Potenz der Achslast des Fahrzeugs, dass die Straße befährt.

Frage 5:

Die dynamische Viskosität $[\eta] = Pa \cdot s$ beschreibt die Zähigkeit einer Flüssigkeit. Die kinematische Viskosität $[\nu] = \frac{m^2}{s}$ ist das Verhältnis aus dynamischer Viskosität und der Dichte:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

beide Viskositäten sind letztlich ein Maß!

Und ist ein Maß für die innere Reibung der Flüssigkeit. Sie gibt an, wie lange eine bewegte Flüssigkeiten braucht, um wieder zur Ruhe zu kommen. In diesem Vesuch wird die kinematische Viskosität ν bestimmt. → was beschreibt dann η?

Frage 6:

$$\nu = D e^{\frac{T^*}{T}}$$

Geht T gegen unendlich, so nähert sich ν gegen D an. Geht T jedoch gegen 0 so wirt ν unendlich groß. Durch Messung von mindestens zwei Punkten kann der komplette Graph Extrapoliert werden und so die Konstanten Abgelesen werden.

Das ist keine vollständige Kurvendiskussion! NST? Extrema?, ...

D kann ermittelt werden, wenn für hohe T extrapoliert werden.
T* durch einsezen eines Messpunktes.

wie?

besser: graphisch, aber wie?

Frage 7:

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{1}{A}\frac{dV}{dt}$$

$$\Delta p = \rho g\, h(t)$$

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

Durch einsetzen der Gleichungen ineinander ergibt sich folgende DGL:

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{\pi \rho g r^4}{A 8 \eta l} h(t)$$

Lösung der DGL:

$$h(t) = e^{-\frac{\pi \rho g r^4}{A 8 \eta l} t}$$

Um die Durchlaufzeit τ wird folgendermaßen ermittelt:

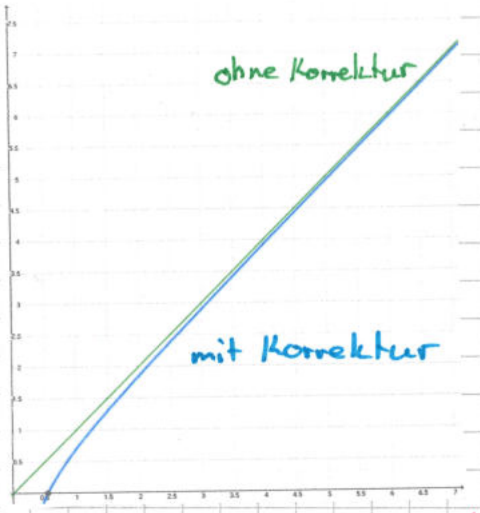
$$\ln(h_2) - \ln(h_1) = -\frac{\pi \rho g r^4}{A 8 \eta l}(t_2 - t_1) \quad \text{mit} \quad \tau = t_2 - t_1$$

$$\ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right) = -\frac{\pi \rho g r^4}{A 8 \eta l}\tau \quad \text{mit} \quad \eta = \nu\rho$$

$$\rightarrow \nu = \frac{\pi g r^4}{A 8 l \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}\tau$$

$$\Rightarrow \nu = K\tau \quad \text{mit} \quad K = \frac{\pi g r^4}{A 8 l \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}$$

Frage 8:



Achsenbeschriftung?

← was kennzeichnet dieser Punkt?

Der Korekturterm muss möglichst klein werden, d.h τ muss möglichst groß werden. Dies kann durch Verwendung einer längeren bzw. dünneren Kapillare erreicht werden. ok

Frage 9:

Von Kalt nach Warm, da das Heizen des Viskosimeters schneller geht als das Kühlen. Zudem ist die Kühlung des Thermostats bei einer erhöhten Außentemperatur nicht so effizient.

Frage 10:

Mit der in Frage 1 beschriebenen Kugelfallmethode kann die dynamische Viskosität η bestimmt werden. ok

4. Auswertung

4.1 Bestimmung von K für die 4 Kapillaren

Es werden die Apperatenkonstanten K für die 4 Kapillaren bestimmt.
Die Gleichungen hierfür lauten:

$$\nu = K J - \frac{C}{J}$$

$$K = \frac{\nu}{J} + \frac{C}{J^2}$$

$$K = \frac{J\nu + C}{J^2}$$

ν ist die kinematische Viskosität, welche über $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ berechnet wird. Somit folgt für die kinematische Viskosität für Wasser (bei 20°C):

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

$$\nu_{H_2O} = \frac{\eta_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}$$

$$\nu_{H_2O} = \frac{10{,}019 \cdot 10^{-4} \ \frac{Ns}{m^2}}{998{,}2 \ \frac{kg}{m^3}} = 1{,}003706672 \cdot 10^{-6} \ \frac{m^2}{s}$$

Der Fehler von K kann wie folgt bestimmt werden:

$$s_K = s_J \cdot \frac{J^2\nu - [(J\nu + C)\,2J]}{J^4}$$

$$s_K = s_J \cdot \frac{J^2\nu - (2J^2\nu + 2CJ)}{J^4}$$

$$s_K = s_J \cdot \frac{-J^2\nu - 2CJ}{J^4}$$

$$s_K = s_J \cdot \frac{-J\nu - 2C}{J^3}$$

Das genügt hier nicht! + Standardabw. d. Reaktionszeit

Der Fehler s_J wird über die Statistik bestimmt, mit $s_J = \sqrt{s_A^2 + s^2}$, ✓
enthält dies den Effekt des Meniskus?
wobei s_A der Ablesefehler und s die Standardabweichung des Mittelwertes ist. Somit folgen für die Konstanten K:

Durchmesser	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm
K [$\frac{mm^2}{s}$]	0,004796178	0,014658219	0,036057925	0,058881307
s_K [$\frac{mm^2}{s}$]	$7{,}21138 \cdot 10^{-6}$	$2{,}3448 \cdot 10^{-5}$	$8{,}591 \cdot 10^{-5}$	$24{,}623 \cdot 10^{-5}$

unrealistisch klein!

Somit folgt für die einzelnen K's:

$$K_{0,3} = (4,796 \pm 0,007) \cdot 10^{-8} \ \frac{m^2}{s}$$

↳ eine 10^{-3} Unsicherheit ist unplausibel, hier ist irgendwas $> 10^{-2} - 10^{-1}$ zu erwarten!

$$K_{0,4} = (1,4658 \pm 0,0023) \cdot 10^{-8} \ \frac{m^2}{s}$$

$$K_{0,5} = (3,606 \pm 0,008) \cdot 10^{-8} \ \frac{m^2}{s}$$

$$K_{0,6} = (5,88 \pm 0,024) \cdot 10^{-8} \ \frac{m^2}{s}$$

Für die Apperaturkonstante K gilt (aus Frage 7):

$$K = \frac{\pi g r^4}{A 8 l \ln\left(\frac{h_0}{h_2}\right)}$$

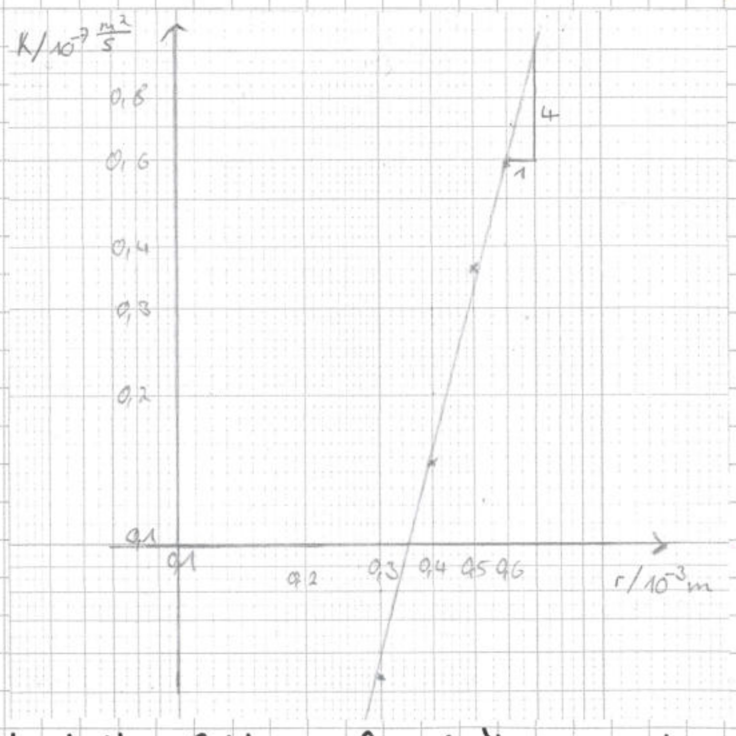
Durch Anwendung des ln erhält man:

$$\ln(K) = \ln\left(\frac{\pi g r^4}{A 8 l \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}\right)$$

$$\ln(K) = 4 \ln(r) + \underbrace{\ln\left(\frac{\pi g}{A 8 l \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}\right)}_{=:C}$$

$$\Rightarrow \ln(K) = 4 \ln(r) + C$$

Daraus folgt, dass beim Auftragen auf ~~logaritm~~ doppellogaritmischen Papier eine Gerade mit der Steigung 4 zu sehen sein sollte.



Fehlerbalken fehlen aufgrund ihrer geringen Größe.

Dies wird durch entsprechende Zeichnung bestätigt.

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{4}{1} = 4$$

Für den Fehler von a gilt:

$$s_a = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$$

$$s_x = -\frac{\Delta y}{(\Delta x)^2} \cdot s_{\Delta x}$$

$$s_y = \frac{1}{\Delta x} \cdot s_{\Delta y}$$

Für $s_{\Delta x} = 0,05$ und $s_{\Delta y} = 0,05$ ← wie lest ihr hier ab?

gilt:

$$s_a = 0,21$$

?

$$\Rightarrow a = (4,00 \pm 0,21) \cdot 10^{-4} \ \frac{m}{s}$$

9

4.2 Temperaturabhängigkeit der Viskosität

4.2.1 Bestimung der Durchlaufzeiten τ_i

Es wird zuerst der Mittelwert τ_i bestimmt und dann der dazugehörige Fehler. Der Fehler wird bestimmt, indem zuerst σ der Fehler der Einzelmessung und dann s Standardabweichung des Mittelwerts bestimmt wird. Der Fehle berechnet sich dann wie folgt:

$$s_{\tau_i} = \sqrt{s_r^2 + s^2} \qquad \text{mit } s_r = 0{,}01\,\text{s}$$

Variierende Reaktionszeit? Menschenproblem?

$T/°C$	25,0	32,5	40,0	47,5	55,0	62,5	70,0
τ/s	61,6	52,3	45,1	39,17	34,7	31,0	27,8
s_τ/s	0,2	0,2	0,1	0,14	0,1	0,2	0,1

4.2.2 Berechnung der kinematischen Viskosität ν

Die kinematische Viskosität wird folgendermaßen berechnet:

$$\nu = K\tau - \frac{C}{\tau}$$

Es wurde die Kapillare 0,4 mm verwendet. Für K gilt also:

$$K = (1{,}4658 \pm 0{,}0023) \cdot 10^{-8}\ \frac{m^2}{s}$$

Der Praktikumsanleitung ist C zu entnehmen:

$$C = 0{,}12\ mm^2 = 1{,}2 \cdot 10^{-7}\ m^2$$

Für den Fehler von ν gilt:

$$u_\nu = \sqrt{(\tau \cdot s_K)^2 + \left(\left(K + \frac{C}{\tau^2}\right) \cdot s_\tau\right)^2}$$

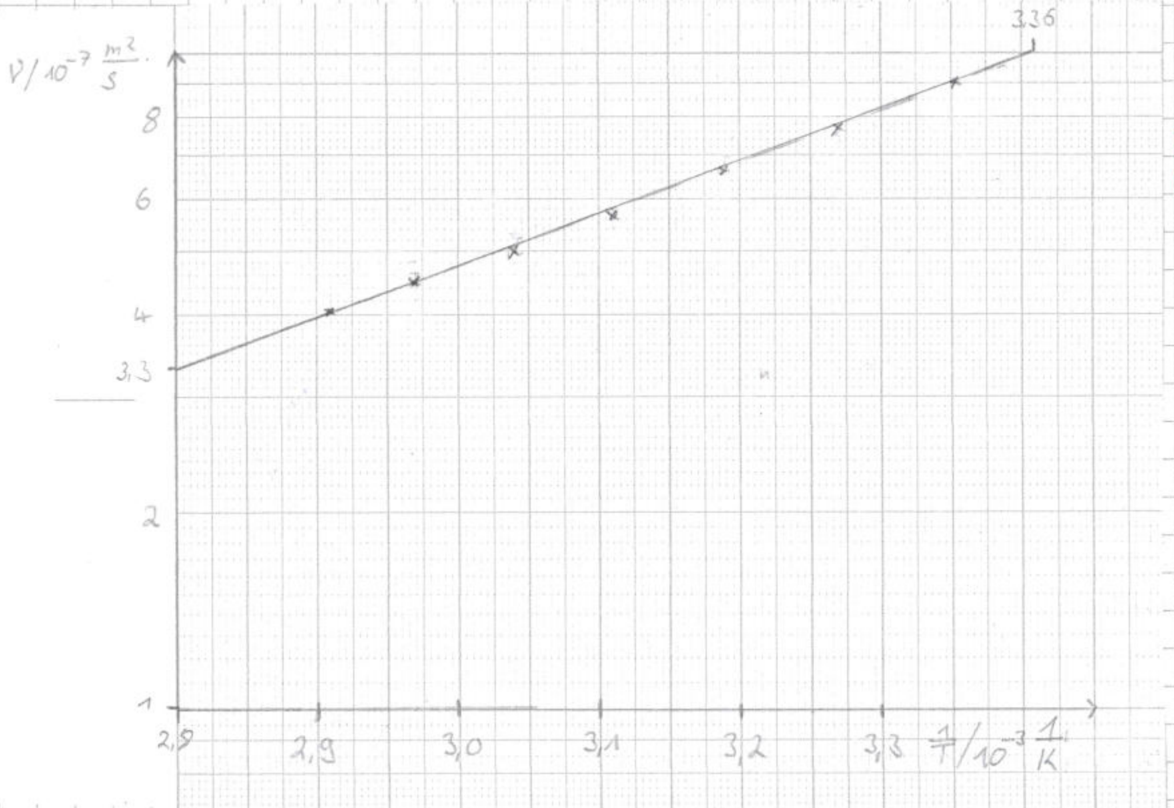
Die Einheit ν und s_ν ist $\frac{m^2}{s}$.

~~Wie~~ Für das Diagramm wird die Temperatur in Kelvin benötigt. Also wird auf jeden Temperaturwert 273,15 hinzu addiert um von °C auf K zu gelangen: $T = T + 273{,}15$. Der Fehler der der Temperatur beläuft sich auf $\pm(0{,}003 + 1K)$, wie es aus dem Protokoll zu entnehmen ist. Also ist $u_T = 1{,}003K$. Der Fehler von $\frac{1}{T}$ berechnet sich wie folgt:

ϑ gebräuchlicher für °C Angaben!

$$u_{\frac{1}{T}} = \frac{1}{T^2} \cdot u_T$$

$T/°C$	70,0	62,5	55,0	47,5	40,0	32,5	25,0
$\frac{1}{T}/\frac{1}{K}$	0,002914	0,002979	0,003047	0,00312 ~~0,00312~~	0,00319	0,00327	0,00335
$u_{\frac{1}{T}}/\frac{1}{K}$	$9\cdot10^{-6}$	$9\cdot10^{-6}$	$9\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$
$\nu/\frac{m^2}{s}$	$4,0\cdot10^{-7}$	$4,5\cdot10^{-7}$	$5,1\cdot10^{-7}$	$5,7\cdot10^{-7}$	$6,6\cdot10^{-7}$	$7,6\cdot10^{-7}$	$9,0\cdot10^{-7}$
$u_\nu/\frac{m^2}{s}$	$0,2\cdot10^{-7}$	$0,2\cdot10^{-7}$	$0,2\cdot10^{-7}$	$0,2\cdot10^{-7}$	$0,2\cdot10^{-7}$	$0,2\cdot10^{-7}$	$0,2\cdot10^{-7}$



Fehlerbalken zu klein zum Einzeichnen

$\Rightarrow$ unrealistisch?!

Wie zu erkennen ist nimmt die Viskosität bei sinkender Temperatur zu. Aus dem Graphen wird klar ersichtlich, dass zwischen $\ln(\nu)$ und $\frac{1}{T}$ eine lineare Abhängigkeit besteht.

$$\ln(\nu) \sim \frac{1}{T}$$

Dies kann auch mathematisch begründet werden:

Wenn man berücksichtigt, dass D und T^* empirische Konstanten sind, kann man den zwischen ν und T herstellen.

$$\nu = D\, e^{\frac{T^*}{T}}$$

Diese Gleichung lässt sich wie folgt umformen:

$$\ln(\nu) = \ln(D) + T^* \cdot \frac{1}{T}$$

$$\Rightarrow \ln(\nu) \sim \frac{1}{T}$$

4.2.3 Lineare Regression nach Kapitel 11

Zuerst wird die Lineare Regression nach Kap. 11 in der Fehlerrechnung vorgenommen. Die Gleichung:

$$v = D e^{\frac{T^*}{T}}$$

kann wie folgt umgeformt werden:

$$\ln(v) = \ln(D) + T^* \cdot \frac{1}{T}$$

mit:

$$y = \ln(v) \text{ und } x = \frac{1}{T}$$

ergibt sich folgende Geradengleichung:

$$y = T^* \cdot x + \ln(D)$$

Hierbei beschreibt T^* die Steigung der Geraden und $\ln(D)$ den y-Achsenabschnitt. Bei der ~~y~~ Linearen Regression, wird vorausgesetzt, dass nur die y Werte Fehlerbehaftet sind. Zudem soll der Fehler für alle y_i Werte gleich sein.

Zuerst wird die Hilfsgröße D' bestimmt.

$$D' = n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$$

und dann wird über die Formel:

$$a = \frac{1}{D'} (n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i)$$

a, was T^* entspricht, bestimmt.

Mit den Werten:

	y = ln(v)	x = 1/T	x^2	y^2	xy
	-13,91989	0,003354016	0,00001	193,76323	-0,04668753
	-14,08486	0,003271716	0,00001	198,38322	-0,04608166
	-14,23377	0,003193358	0,00001	202,60009	-0,04545351
	-14,37585	0,003118665	0,00001	206,66499	-0,04483346
	-14,49739	0,003047387	0,00001	210,17428	-0,04417915
	-14,61241	0,002979294	0,00001	213,52254	-0,04353467
	-14,72536	0,002914177	0,00001	216,83634	-0,04291232
Summe:	-100,44952	0,021878614	0,00007	1441,94469	-0,31368229

ergibt sich für D' und a:

$$D' = 1{,}0527 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K^2}$$

$$a = T^* = 1824{,}10267 \text{ K}$$

Als nächstes muss noch der Fehler der Geradensteigung betrachtet werden. Dieser wird mithilfe der Formel im Skript berechnet.

$$s_a = s \cdot \sqrt{\frac{n}{D'}}$$

Wobei s mit folgender Formel berechnet wird (s. Skript).

$$s^2 = \frac{1}{n-2} (\sum y_i^2 - a \sum x_i y_i - b \sum y_i)$$

Wobei b mit der Formel

$$b = \frac{1}{D} \left(\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i \right)$$

berechnet Wurde.

Also folgt für den Gesamtfehler der Geradensteigung:

$$s_a = 30{,}531 \text{ K}$$

$$\Rightarrow T^* = (1824 \pm 31) \text{ K}$$ ok

Nun soll noch das Verhältnis

$$V = \frac{k_B T^*}{0{,}5 \, k_B \, T_0}$$

bestimmt werden.

Wobei $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ die Stefan-Boltzmann-Konstante ist und $T_0 = 293{,}15 \text{ K}$ die Raumtemperatur ist.

Durch einsetzen der Werte ergibt sich:

$$V = 12{,}444141$$

für den Fehler gilt:

$$s_V = \frac{1}{0{,}5 \, T_0} \cdot s_a = 0{,}211495$$

$$\Rightarrow V = (12{,}4 \pm 0{,}2)$$ ok + Diskussion!

Variablen kursiv, Exponenten hochstellen, Indizes tiefstellen, Einheiten angeben (aufrecht!)

4.2.4 Linear Regression nach Kapitel 12

a) Gewichteter Mittelwert

Zuerst wurde nach den Formeln im Skript der gewichtete Mittelwert und dessen Fehler bestimmt.

$$\overline{G} = s_G^2 \sum \frac{G}{s_i^2} = 6{,}0982 \cdot 10^{-7} \, \frac{m^2}{s}$$

$$s_G = \sqrt{\frac{1}{\sum \frac{1}{s^2}}} = 5{,}7356 \cdot 10^{-9} \, \frac{m^2}{s}$$

$$\Rightarrow \overline{G} = (6{,}10 \pm 0{,}06) \cdot 10^{-7} \, \frac{m^2}{s}$$

Diese Werte erhält man bei verwendung folgender Daten:

Gewichteter Mittelwert				
s_v	s_v^2	1/s_v^2	G_i = v_i	G_i/s_i^2
1,503E-08	2,26E-16	4,426E+15	9,009E-07	3,99E+09
1,507E-08	2,27E-16	4,405E+15	7,639E-07	3,36E+09
1,511E-08	2,28E-16	4,378E+15	6,582E-07	2,88E+09
1,517E-08	2,3E-16	4,347E+15	5,71E-07	2,48E+09
1,522E-08	2,32E-16	4,315E+15	5,057E-07	2,18E+09
1,528E-08	2,34E-16	4,281E+15	4,507E-07	1,93E+09
1,535E-08	2,36E-16	4,243E+15	4,026E-07	1,71E+09
1,062E-07	1,61E-15	3,04E+16	4,253E-06	1,85E+10

Form! → kein „Computersprech" (−1 Punkt!)

b) Lineare Regression

Als nächstes wird die Lineare Regression mithilfe des Kap. 12 der Fehlerrechnung bestimmt. Zuerst wird wieder eine Geradengleichung aufgestellt, diese hat die gleiche Form wie bei der Linearen Regression nach Kap. 11:

$$\ln(\nu) = T^* \cdot \frac{1}{T} + \ln(D)$$

$$\Rightarrow y = T^* \cdot x + \ln(D) \quad \text{mit } y = \ln(\nu) \text{ und } x = \frac{1}{T} \text{ in } \frac{1}{K}$$

Auch hier wird wieder y als Fehlerbehaftet angenommen und x als fehlerfrei.

Zudem gilt der Fehler:

$$s_i = \frac{s_{\nu i}}{\nu_i}$$

Der Fehler von 1/T kann vernachlässigt werden.

Mithilfe der Formeln:

$$D' = \sum \frac{x_i^2}{s_i^2} - \sum \frac{1}{s_i^2} - \left(\sum \frac{x_i}{s_i^2}\right)$$

$$a = T^* = \frac{1}{D'}\left(\sum \frac{x_i y_i}{s_i^2} \sum \frac{1}{s_i^2} - \sum \frac{x_i}{s_i^2} \sum \frac{y_i}{s_i^2}\right)$$

$$s_a = s_{T^*} = \sqrt{\frac{1}{D'} \sum \frac{1}{s_i^2}}$$

und der Daten:

Lineare Regression						
x= 1/T	y = ln(v)	x^2	y^2	xy	s	s^2
0,003354016	-13,919886	1,12494E-05	193,763232	-0,046687527	0,016685314	0,0002784
0,003271716	-14,084858	1,07041E-05	198,3832219	-0,046081655	0,019724899	0,0003891
0,003193358	-14,233766	1,01975E-05	202,6000853	-0,045453507	0,022960675	0,0005272
0,003118665	-14,375848	9,72607E-06	206,6649925	-0,044833456	0,026561522	0,0007055
0,003047387	-14,497389	9,28657E-06	210,1742838	-0,044179152	0,030104457	0,0009063
0,002979294	-14,61241	8,87619E-06	213,5225364	-0,043534665	0,033909256	0,0011498
0,002914177	-14,725364	8,49243E-06	216,8363382	-0,042912323	0,038133046	0,0014541
0,021878614	-100,44952	6,85323E-05	1441,94469	-0,313682286	0,188079168	0,0054104

x^2/s^2	1/s^2	x/s^2	xy/s^2	y/s^2
0,040407463	3591,95765	12,04748498	-167,69962	-49999,6417
0,027511965	2570,22063	8,409032012	-118,4400209	-36201,19239
0,019343091	1896,84004	6,05728898	-86,21803196	-26999,17671
0,013785788	1417,40543	4,42041302	-63,54718363	-20376,40443
0,010246926	1103,41378	3,362528676	-48,74788577	-15996,61871
0,007719518	869,688025	2,591056234	-37,86157695	-12708,2383
0,005840217	687,696816	2,004070569	-29,51066815	-10126,58577
0,124854968	12137,2224	38,89187447	-552,0249873	-172407,858

ergeben sich folgende Werte:

$$D' = 2{,}814610521 \ \frac{1}{K^2}$$

$$\overline{T}^* = 1852{,}738734 \text{ K}$$

$$s_a = 65{,}66750281 \text{ K}$$

$$\Rightarrow T^* = (1850 \pm 70) \text{ K}$$ ok

Nun muss noch das Verhältnis (V) berechnet werden:

$$V = \frac{k_B \cdot T^*}{0{,}5 \cdot k_B \cdot T_0}$$

bestimmt werden. Wobei $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ die Stefan-Boltzman-Konstante ist und $T_0 = 293{,}15\,K$ die Raumtemperatur ist. Für den Fehler gilt:

$$s_V = \frac{1}{0{,}5 T_0} s_a = 0{,}447961$$

Somit ergibt sich:

$$V = (12{,}4 \pm 0{,}4)$$ ok

4.2.5 Bemerkung

Die jeweiligen Werte der ~~linearen Regr~~ verschiedenen Werte stimmen gut überein, auch ~~der~~ ein Vergleich mit den Steigungswert aus der Graphik: Was lernt man hieraus?

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\ln(10 \cdot 10^{-7}) - \ln(3{,}3 \cdot 10^{7})}{(3{,}36 \cdot 10^{-3} - 2{,}8 \cdot 10^{-3})\frac{1}{K}} = 1979{,}8\ K$$

~~zeigt, dass~~ ~~ein~~ bestätigt die Lineare Regressen, mit angemessener Toleranz.

Allerdings fällt auch auf, dass der Fehler der linearen Regression doppelt so groß ist als ~~nach~~ bei der Methode nach Kap. 11.

Wenn man nun das Verhältnis beider Werte betrachtet sieht man ebenfalls, dass die Wert kaum von einander Abweichen (0,2). ~~Der~~

4.2.6 Graphische Darstellung der Temperaturänderung während 10 Minuten

Es wurde die Temperatur von 40°C auf 47,5°C erhöt und zu jeder Minute die Durchlaufzeit gemessen.

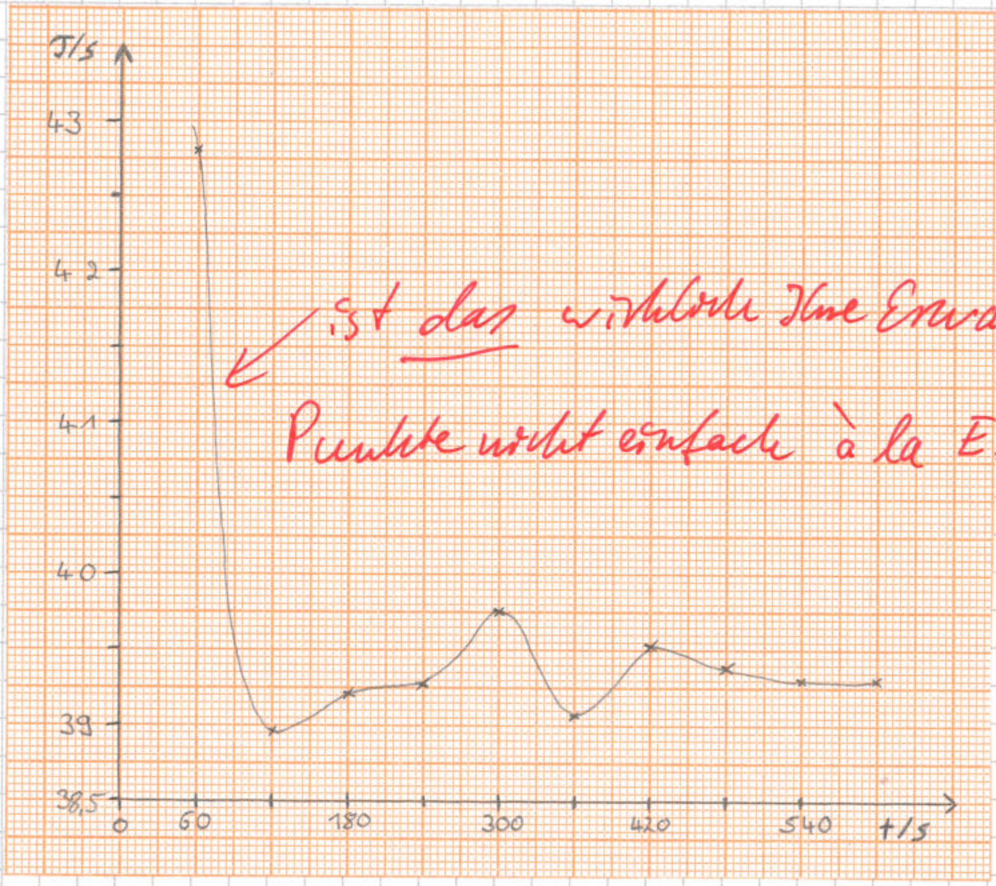
Nummer	vergangene Zeit t in s	tau in s
1	60	42,83
2	120	38,97
3	180	39,23
4	240	39,29
5	300	39,75
6	360	39,09
7	420	39,52
8	480	39,38
9	540	39,34
10	600	39,31

Der Fehler von τ beläuft sich in diesem Fall nur auf den Fehler der Stoppuhr: $s = 0{,}01 s$. Nein!

Der Fehler der vergangen Zeit t wurde nicht berücksichtigt, da diese Wartezeiten nur grob abgeschätzt wurden.

Daraus ergiebt sich folgender Graph:

τ statt „tau": Griechische Buchstaben nutzen!



Fehlerbalken zu klein zum Einzeichnen. ???

Ist das wirklich Ihre Erwartung?

Punkte nicht einfach à la Excel verbinden!

Beim Betrachten des Graphen fällt auf, dass die 10 Minuten Wartezeit durchaus berechtigt waren. Die größte Änderung von J geschieht „nur" während den ersten 2-3 Minuten aber bis sich die Durchlaufzeit eingependelt hat daert es ca. weitere 7 Minuten. So ist die Wartezeit über 10 Minuten sehr wichtig, damit es während der Messung nich zu Schwankungen kommt, wie beispielsweise zwischen Messung Nummer 6 und 7, wo der Unterschied 0,43 s betrug.

Ihre Interpretation verlässt sich auf die unplausibel kleinen Unsicherheitsangaben, die sich durch Ihre gesamte Auswertung ziehen.

Wenn Sie in diesem Graphen Ihre tatsächliche Erwartung einzeichnen und anhand der Residuen einen plausiblen Einzelmessfehler abschätzen sollte Ihnen auffallen, dass diese Größenordnungen über Ihren Angaben liegen!

5. Fazit

Durch den Versuch Vis wurde ein tieferes Verständniss für die dynamische sowie kinematische Viskosität erlangt. Ins besonderen fiel auf, dass die Viskosität ebenfalls von der Temperatur der betreffenden Flüssigkeit abhängt. Für höhere Temperaturen nahm die Viskosität in unserem Versuch ab.
Auch lernten wir den Umgang mit dem Viskosimeter.
Alles in allem kann der Versuch, vor allem in hinblick auf den Erkenntnisgewinn, als Erfolg betrachtet werden.

Handschriftliche Form hervorragend,
Form bei den per PC erstellten Tabellen jedoch
untragbar! Beachten Sie unbedingt die Formalia!

(Variablen kursiv setzen; Einheiten von Zahl abgesetzt, aufrecht Indizes aufrecht (sofern keine Variable) Exponenten hochstellen, kein „Computersprech" 2.1e-2 sondern $2{,}1 \cdot 10^{-2}$, keine * sondern ·, griechische Buchstaben nutzen...)