Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 1: MECHANIK UND WÄRME

Übungstitel: Reibung

Betreuer: Granitzer Petra

Gruppennummer:

Vorbereitung	Durchführung	Protokoll	Σ
3	3	2.5	8.5

Name: Maximilian Philipp

Kennzahl: UF 033 678 Matrikelnummer: 11839611

Datum: 6 Juni 2021 SS 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung

1. Bestimmung der Koeffizienten der Haft-, Gleit- und Rollreibung und deren Einfluss auf die Bewegung von Körpern.
2. Bestimmung der Viskosität einer zähen Flüssigkeit.
3. Auswertung am Computer (python).

2 Voraussetzungen und Grundlagen

Folgende Grundlagen wurden aus dem Mechanik Vorlesungsskript [4] entnommen und für dieses Experiment leicht angpasst.

2.1 Reibung

Für folgende Gleichungen bei einer schiefen Ebene ist l der Teil der Länge des Brettes, welcher noch nicht über die Buchkanten herausragt, und die Buchstapelhöhe h. Diese zwei Seiten bilden ein rechtwinkliges Dreieck, welches l als Hypothenuse und h als Gegenkathete hat. Mit Hilfe des Satzes von Pythagoras lässt sich ein Ausdruck für den Tangens vom Winkel α zwischen der Hypothenuse und der Ankathete finden:

$$\tan \alpha = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}} \tag{1}$$

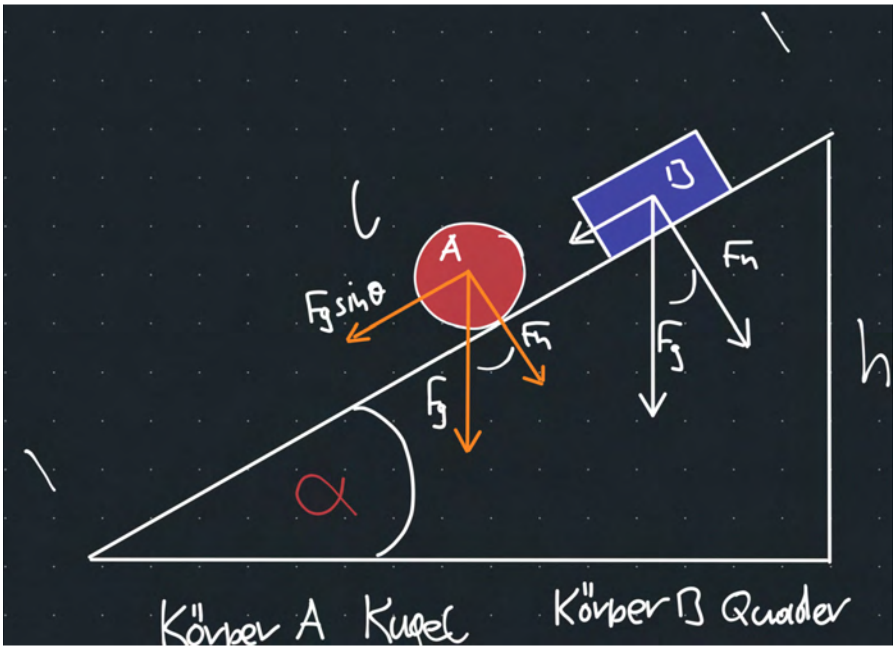

Abbildung 1: Diese Skizze soll die Bedeutung der Variablen im Kontext des Experiments visuell darstellen

Ziel dieses Experiments ist die Bestimmung der Haft-, Gleit- und Rollreibungskoeffizienten von zwei Festkörpern, in diesem Fall von einem Gummiball und einer Handyhülle aus PET. Weiters ist noch die Viskosität einer Flüssigkeit zu bestimmen. In diesem Protokoll werden die üblichen Abkürzungen für diese Koeffizienten verwendet: μ_H für den Haft-, μ_G für den Gleit- und μ_R für den Rollreibungskoeffizienten [4].

Die Normalkraft F_N bei der schiefen Ebene ist:

$$F_N = mg\cos(\alpha) \tag{2}$$

Wobei m die Masse des Objekts und g die Erdbeschleunigung ist, diese Kraft sieht man gut in Abbildung 1.

Nun lässt sich die Haftreibung R_H proportional zur Normalkraft definieren, wobei die Proportionalitätskonstante der Haftreibungskoeffizient μ_H ist.

$$R_H = \mu_H F_N \tag{3}$$

Setzt man nun ein Objekt auf eine flache Ebene und beginnt sie zu heben, hindert die Haftreibung das Objekt daran sich zu bewegen. Wird jedoch die treibende Kraft $F_t = mg\sin(\alpha)$ größer als die Haftreibung, setzt sich das Objekt in Bewegung. Es existiert ein Winkel bei dem die Kräfte sich kompensieren, also ein Kräftegleichgewicht:

$$R_H = mg\sin(\alpha) \tag{4}$$

Findet man durch Messen den gesuchten Winkel α, kann daraus der Haftreibungskoeffizient μ_H bestimmt werden.

$$\mu_H = \tan(\alpha) = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}} \tag{5}$$

Befindet sich das Objekt schon in Bewegung, liegt eine andere Art der Reibung vor, die Gleitreibung R_G, welche sich auch proportional zur F_N schreiben lässt.

$$R_G = \mu_G F_N \tag{6}$$

Da sich hier die Kräfte nicht kompensieren, existiert eine Restkraft F, welche das Objekt dazu veranlässt sich zu beschleunigen.

$$F = m\ddot{x} = mg\sin(\alpha) - R_G = mg\sin(\alpha) - \mu_G mg\cos(\alpha) \tag{7}$$

Unter Annahme einer gleichmäßigen Beschleunigung und $v_0 = 0$ lässt sich für die Beschleunigung $\ddot{x}$ folgender Ausdruck $\ddot{x} = \frac{2s}{t^2}$ einsetzen. Formt man nun Gleichung 7 auf μ_G um, erhält man folgende Formel:

$$\mu_G = \tan(\alpha) - \frac{2s}{gt^2\cos\alpha} = \mu_H - \frac{2s}{gt^2\cos\alpha} \tag{8}$$

Die Rollreibung μ_R ist, wie im Vorlesungskript der Mechanik und Wärme [4], über das Drehmoment definiert. Das Drehmoment ist das Drehmoment, welches vonnöten ist eine Kugel (oder Zylinder) in Bewegung zu setzen. Der Rollreibungskoeffiziente μ_R ist die Proportionalitätskonstante zwischen der Normalkraft F_N und dem zuvor erwähnten Drehmoment D_R, somit hat der Rollreibungskoeffiziente die Einheit einer Länge. Das Drehmoment ist der Radius r der Kugel kreuz der Treibenden Kraft F_R, da diese Kräfte orthogonal auf einander stehen, ist einfach multipliziert worden. Da F_N und F_R die Komponenten der Gravitationskraft sind, existiert eine Winkelabhängigkeit. Diesen Winkel gilt es nun zu bestimmen.

$$D_R = F_R r = rmg\sin(\alpha) = \mu_R F_N = mg\cos(\alpha) \tag{9}$$

Formt man auf μ_R um, erhält man folgende Gleichung 10:

$$\mu_R = r\tan(\alpha) = r\frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}} \tag{10}$$

2.2 Viskosität

Nun zur Theorie für die Viskosität:

Wenn sich eine Kugel durch eine zähe Flüssigkeit durchbewegt, spürt diese eine Kraft, welche proportional zu der Bewegungsgeschwindigkeit v ist. Diese Reibungkraft entspricht dem Stokes'schen Gesetz, welche Gleichung 11 der Viskosität η der Flüssigkeit, dem Radius der Kugel r und wie zuvor erwähnt von der Bewegungsgeschwindigkeit v abhängt.

$$F_R = -6\pi\eta r v \tag{11}$$

Bewegt sich eine Kugel durch ein Medium, wirkt nicht nur die Stokes'sche Reibung, sondern auch der Auftrieb, welcher durch die verdrängte Masse verursacht wird. Es stellt sich also ein Kräftegleichgewicht ein, wo die Auftriebskraft $F_A = \rho_{Medium} V g$ (V das Volumen der Kugel, g die Erbeschleunigung und ρ_{Medium} die Dichte des Mediums ist) mit der Stokes'schen Reibung F_R der Gravitationskraft $F_G = mg$ (m Masse der Kugel und g die Erbeschleunigung) entgegen wirken. $F_A + F_R = F_G$

Setzt man nun in die Gleichung ein und formt auf die Viskosität η um, erhält man folgende Gleichung 12:

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_{Kugel} - \rho_{Medium})}{9v} \tag{12}$$

Wobei r der Radius der Kugel, ρ_{Kugel} die Dichte der Kugel, g die Erdbeschleunigung und ρ_{Medium} die Dichte des Mediums ist.

Aus der Zähigkeit lässt sich noch die Reynold Zahl Re des Experiments bestimmen:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v d}{\eta} \tag{13}$$

Wo ρ die Dichte des Mediums, d der Durchmesser der Kugel und v die Fallgeschwindigkeit ist.

Um zu sehen wie sich die Unsicherheit der Messungen bis in die Ergebnisse fortpflanzt, ist Gleichung 14 verwendet worden. Die Grundlagen dieser Gleichung sind von den Powerpointfolien von GUM entnommen worden.[9] Die Verallgemeinerung stammt von Wikipedia [1]. Für die Auswertung ist die Progammiersprache Python im speziellen das Packet `scipy`, zur Hilfe genommen worden.

$$V_y = J(x) \cdot V_x \cdot J^T(x) \tag{14}$$

Wobei V_y und V_x die Kovarianzmatrizen von den Vektoren $\boldsymbol{y}$ und $\boldsymbol{x}$. $\boldsymbol{x}$ ist der Vektor der Eingangsvariablen und $\boldsymbol{y}$ ist der Vektor der Ausgangsvariablen. J ist die Jakobimatrix der vektorwertigen Funktion $\boldsymbol{y} = \vec{F}(\boldsymbol{x})$. So lassen sich die Komponenten der Matrix relativ einfach anschreiben $J_{ij}(x) = \frac{\partial y_i}{\partial x_j}(x)$. Damit man die Unsicherheit der einzelnen Variablen y_i bekommt, muss nur die Quadratwurzel des i-ten Diagonalelementes der $\boldsymbol{y}$-Kovarianzmatrix genommen werden $u_i = \sqrt{\mathrm{diag}(V_y)_i}$. Da in diesem Experiment meistens nur skalare Funktionen untersucht werden, vereinfacht sich die Gleichung 14 dramatisch und die Unsicherheit der Variable y lässt sich einfach so berechnen:

$$u_y = \sqrt{\mathrm{grad} y^T \cdot V_x \cdot \mathrm{grad} y} \tag{15}$$

3 Versuchsanordnung

Ein Brett wird so auf einen Stapel von Bücher gelegt, dass die Kante des Brettes auf den festen Buchrücken liegt, siehe Abbildung 3, damit die Länge der Hypothenuse dieses rechtwinkligen Dreiecks genau bekannt ist. Dieser Aufbau wird verwendet um verschiedene Reibungskoeffizienten von Gummi zu bestimmen.

Abbildung 2: Aufbau des Experiments der schiefen Ebene.

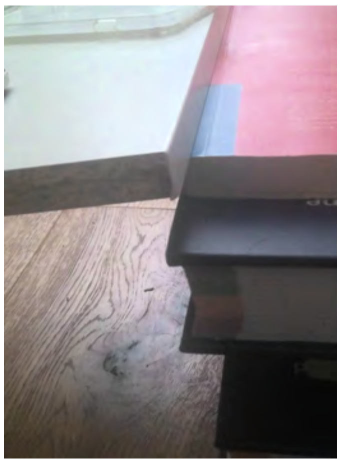

Abbildung 3: Aufbau des Bücherstapels

4 Geräteliste

Tabelle 1: Verwendete Geräte

Gerät	Gerät-Nr.	Unsicherheit	Bemerkungen
Brett	axx	$(119{,}0 \pm 0{,}1)\,\mathrm{cm}$	Ist die Roll bzw. Rutschebene für die Objekte
Maßband	bxx	$1\,\mathrm{mm}$	Um die Länge des Brettes und die Höhe der hohen Bücherstapel zu messen
Schublehre	cxx	$0{,}02\,\mathrm{mm}$	Um die Höhe der niedrigen Bücherstapel zu messen
Bücher 13x	dxx	-	Um die Höhe des Dreiecks der schiefen Ebene genau einstellen zu können
Stuhl	fxx	-	Wurde verwendet als Gegenkathete für die Bestimmung des Gleitreibungskoeffizienten
Smartphone	hxx	-	Um den Winkel mittels Phyphox zu messen und den Bewegungvorgang bei der Gleitreibung aufzuzeichnen
Gummiball	ixx	-	Um den Rollreibungskoeffizienten von Gummi auf laminiertem Holz zu bestimmen
PET-Handy Hülle	jxx	-	Um Haft- und Gleitreibungskoeffizient von PET auf laminiertem Holz zu bestimmen

5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse

5.1 Reibung

Wie in Voraussetzungen und Grundlagen beschrieben, ist es notwendig den genauen Winkel zu bestimmen, bei dem das Handy mit der Gummihülle zu rutschen beginnt. Dieser Winkel wurde mit den Büchern genau bestimmt, da diese es einem erlauben den Winkel präzise einzustellen. Hier wurde sowohl die App Phyphox, als auch gute alte Distanzmessung verwendet um den Winkel zu bestimmen:

Tabelle 2: Werte damit der Haftreibungskoeffizient μ_H nach Gleichung 8 bestimmt werden kann.
α der Grenzwinkel der schiefen Ebene, bei dem sich das Objekt zum Bewegen beginnt
l ist die Hypothenuse, also die Länge des Bretts
h ist die Höhe des Bücherstapels

Symbol	Wert	Δ
α / °	18,37	±0,10
l / cm	118,8	±0,2
h / cm	37,3	±0,2

Da die, anfangs noch doppelt gemessenen, Winkel genau übereinstimmen, wird bei der Bestimmung des Gleitreibungskoeffizienten nur mehr die App für die Winkelmessungen verwendet.

Bei der Gleitreibung, wie in Gleichung 8 ersichtlich, müssen der Winkel α der schiefen Ebene und die Zeit t, welche das Objekt gebraucht hat um die Distanz s zurückzulegen, bestimmt werden. Die erhaltenen Werte sind in folgender Tabelle ersichtlich:

Tabelle 3: Werte damit der Gleitreibungkoeffizient nach Gleichung 8 bestimmt werden kann.
α der Grenzwinkel der schiefen Ebene
s die zurückgelegte Distanz in einer Zeit t

Symbol	Wert	Δ
α / °	24,03	±0,03
s / cm	57,0	±0,1

Die Zeit wurde bestimmt, indem der Rutschvorgang mittels Slow-Motion aufgezeichnet wurde. Folgende Werte sind erhalten worden, mit der Annahme, dass die Zeitmessungen normalverteilt sind:

Tabelle 4: Dies sind die Zeitwerte damit mit Tabelle 3 der Gleitreibungkoeffizient nach Gleichung 8 bestimmt werden kann.
t die Zeit, welche das Objekt gebraucht hat um die Distanz s zurückzulegen
Alle Werte sind mit $\Delta t = 0{,}008\,\mathrm{s}$ bestimmt worden und die Einheit aller Werte sind Sekunden.

i	t
1	0,883
2	0,858
3	0,870
4	0,916

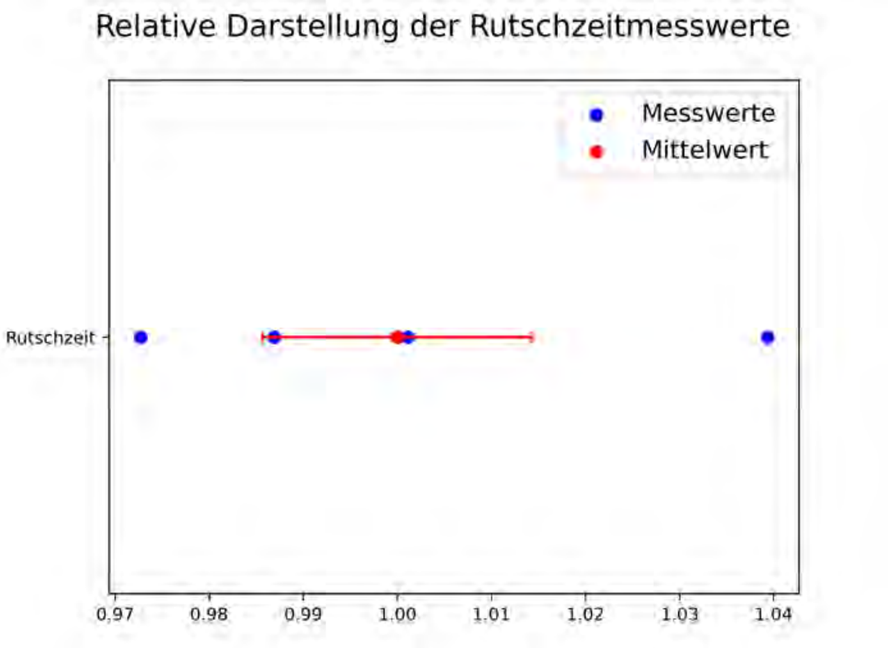

Abbildung 4: Dieses Bild stellt die gemessen Zeiten relativ zum Mittelwert dar. Damit die Verteilung der Messwerte gut ersichtlich ist

Bei der Rollreibung, ist man ähnlich vorgegangen, wie bei der Haftreibung. Es muss, wie in Gleichung 10 ersichtlich, auch ein Grenzwinkel α bestimmt werden, jedoch ist dies der Winkel bei dem ein Zylinder oder Kugel zu rollen beginnt. Hier ist der Winkel auch mittels Pythagoras bestimmt worden. Zudem war es möglich die kleine Buchstapelhöhe h mit einer Schublehre zu bestimmen. Folgende Werte sind bei den Messungen erhalten worden:

Tabelle 5: Werte damit der Rollreibungskoeffizient μ_R nach Gleichung 10 bestimmt werden kann.
α der Grenzwinkel der schiefen Ebene, bei dem sich das Objekt zu bewegen beginnt
l ist die Hypothenuse, also die Länge des Bretts
h ist die Höhe des Bücherstapels
d ist der Durchmesser des Gummiballs

Symbol	Wert	Δ
l / cm	118,8	±0,2
h / mm	20,96	±0,06
d / mm	37,78	±0,04

5.2 Viskosität

Nun zu den Viskositätsversuch, da die benötigten Materialien nicht vorhanden waren, war es leider nicht möglich, dieses Experiment, wie es in Versuchsanordnung beschrieben ist, durchzuführen. Daher kann die genaue Vorgehensweise nicht beschreiben werden. Eine Möglichkeit hierzu, wäre die Dichte vom Medium und der Stahlkugel aus einer Literaturquelle zu entnehmen und den Radius der Kugel mit einer Schublehre zu messen. Weiters muss wie in Gleichung 11 ersichtlich die finale Fallgeschwindigkeit der Kugel bestimmt werden, welche zB. durch das Aufzeichnen mit einer Kamera und einem Lineal auf der Seite gemacht werden kann, jedoch sollte die Brechung nicht vergessen werden. Spherische Gefäße sollten aus Komplexität der Rechnung vermieden werden (Brechung an Kreisoberfläche).

Jedoch wurde in diesem Experiment angenommen, dass sich die Kugel schon lange genung in der Flüssigkeit befindet, sodass sie ihre Terminalgeschwindigkeit schon erreicht hat und man bei einer Fallhöhe h beginnt die Zeit t zu messen, die die Kugel benötigt um den Boden zu erreichen.

Hier wurden die vorgegebenen Werte verwendet.

Tabelle 6: Systemgrößen des Viskositätsversuch:
d Durchmesser der Stahlkugel
ρ_{Stahl} Dichte von Stahl
$\rho_{Öl}$ Dichte von Speiseöl
h Fallhöhe
D Durchmesser des Gefäßes
Werte wuder aus der Vorgabe [8] entnommen.

Symbol	Wert	Δ
d / mm	1,05	±0,10
ρ_{Stahl} / $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	7,85	-
$\rho_{Öl}$ / $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	0,92	-
h / mm	500	±2
D / mm	80	±0,5

Folgende Werte sind für die Fallzeit, die die Kugel benötigt hat um zum Boden zu gelangen, bestimmt worden:

Tabelle 7: Die nötige Zeit t die eine Stahlkugel (in Öl) braucht um von der Fallhöhe $h = (500 \pm 2)$ mm zum Boden des Gefäßes zu gelangen. Die Zeitmessungen haben eine Unsicherheit von ±0,10 s. Werte wurden aus der Vorgabe [8] entnommen.

t / s
10,70
10,72
10,77
10,90
10,84

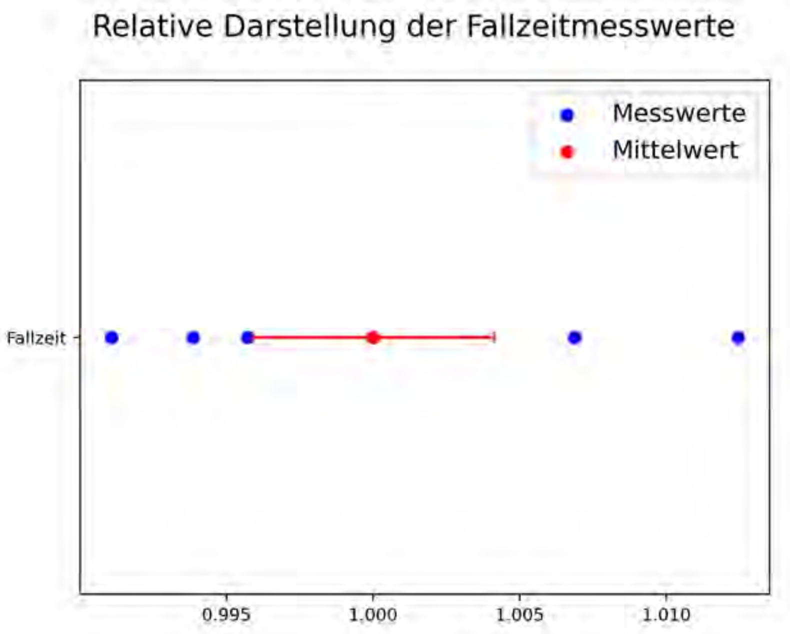

Abbildung 5: Dieses Bild stellt die gemessen Zeiten relativ zum Mittelwert dar. Damit die Verteilung der Messwerte gut ersichtlich ist

6 Auswertung

6.1 Reibung

Nimmt man nun die Werte aus Tabelle 2 und setzt diese in Gleichung 5 ein, erhält man folgende Werte für den Haftreibungskoeffizient μ_H:

$$\mu_H = 0{,}332 \pm 0{,}002 \quad \text{mit der App} \tag{16}$$
$$\mu_H = 0{,}331 \pm 0{,}003 \quad \text{mit Längenmessung} \tag{17}$$

Mittelt man nun die Werte, aus Tabelle 4 $\bar{t} = (0{,}882 \pm 0{,}013)\,\mathrm{s}$ und nimmt die restlichen Werte von Tabelle 3 und wendet diese Wert auf Gleichung 8 an, bekommt man einen Wert für den Gleitreibungskoeffizient μ_G:

$$\mu_G = 0{,}282 \pm 0{,}005 \tag{18}$$

Als Nächstes wird der Rollreibungskoeffizient mit den Daten aus Tabelle 5 und der Gleichung 10 bestimmt und dadurch folgender Wert gefunden:

$$\mu_R = (0{,}000\,333\,3 \pm 0{,}000\,001\,2)\,\mathrm{m} \tag{19}$$

6.2 Viskosität

Nun zu den Teil des Experiments, der sich mit der Viskosität von Öl beschäftigt.

Mittelt man die Zeiten, aus den durchgeführten Messungen, erhält man den durchschnittlichen Wert für die Fallzeit:

$$\bar{t} = (10{,}77 \pm 0{,}10)\,\mathrm{s} \tag{20}$$

Unter Annahme, dass die Kugel ihre Terminalgeschwindigkeit v schon erreicht hat, wenn die Messung beginnt, ergibt sich für $v = \frac{h}{t}$. Wobei h die Fallhöhe und t die zuvor errechnete Fallzeit ist. Durch Einsetzen erhält man:

$$v = (4{,}64 \pm 0{,}05)\,\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{s}} \tag{21}$$

Mit dem Wert von v und den anderen Werten aus Tabelle 6 kann mit Gleichung 12 die Viskosität von Öl bestimmmt werden:

$$\eta = (90 \pm 17)\,\mathrm{mPa\,s} \tag{22}$$

Mit diesen Werten lässt sich die Reynoldzahl Re des Systems finden:

$$\mathrm{Re} = 0{,}50 \pm 0{,}05 \tag{23}$$

7 Diskussion und Zusammenfassung

Nun werden die verwendeten Methoden diskutiert und die Ergebnisse zusammengefasst.

7.1 Reibung

Durch Aufzeichen der dynamischen Messungen und der genauen Höheneinstellung mittels Bücher war es möglich, sehr genaue Werte für den Reibungsteil des Experiments zu bestimmen. Weiters war die Phyphox App überraschenderweise sehr genau.

Die, hier verwendete, Definition der Rollreibung 10 wird in der Literatur nicht wirklich verwendet, deshalb werden beim Vergleich der Literatur mit dem Radius r der Kugel multipliziert. Zudem war es nur möglich den Rollreibungskoeffizienten von Autoreifen auf Beton [6] zu finden, deshalb ist wie erwartet der gemessen Rollreibungskoeffizient im unterem Ende des Spektrums von Beton. Da laminiertes Holz rutschiger ist.

Auch ist noch anzumerken, dass die getätigte Annahme, dass die Kugel in der viskosen Flüssigkeit bereits die Terminalgeschwindigkeit erreicht hat, möglicherweise falsch ist. Wenn das der Fall wäre, würde man eine Aufzeichnung des Bewegungvorgangs (Ort und Zeit) brauchen. Da es nicht möglich wäre ohne das Wissen über die Viskosität der Flüssigkeit die Bewegunggleichung zu lösen.

Alle erhaltenen Werte beinhalten die Literaturwerte in ihren Unsicherheitsintervallen, siehe Tabelle 8.

Tabelle 8: Hier werden die erhaltenen Werte den Literaturwerten gegenübergestellt.
μ_H der Haftreibungskoeffizient von einer PET Handyhülle auf einem laminierten Holzbrett
μ_G der Gleitreibungkoeffizient von einer PET Handyhülle auf einem laminierten Holzbrett
μ_R der Rollreibungskoeffizient von einem Gummiball auf einem laminierten Holzbrett
η die Viskosität von Öl

Symbol:	Bestimmter Wert	Literaturwert
μ_H /	0,332 ± 0,002	0,33[5]
μ_G /	0,282 ± 0,005	0,2 bis 0,5[3][2]
μ_R / m	0,000 333 3 ± 0,000 001 2	0,0002 bis 0,0007 auf Beton[6]
η / mPa s	90 ± 17	100 [7]

Wie in Abbildung 6 ersichtlich sind die haben die erhaltenen Reibungskoeffizienten eine niedrige relative Unsicherheit und entsprechen, wie in Tabelle 8 ersichtlich, auch den Literaturwert. Somit unterstützt dieses Experiment die in der Literatur gefunden Werte.

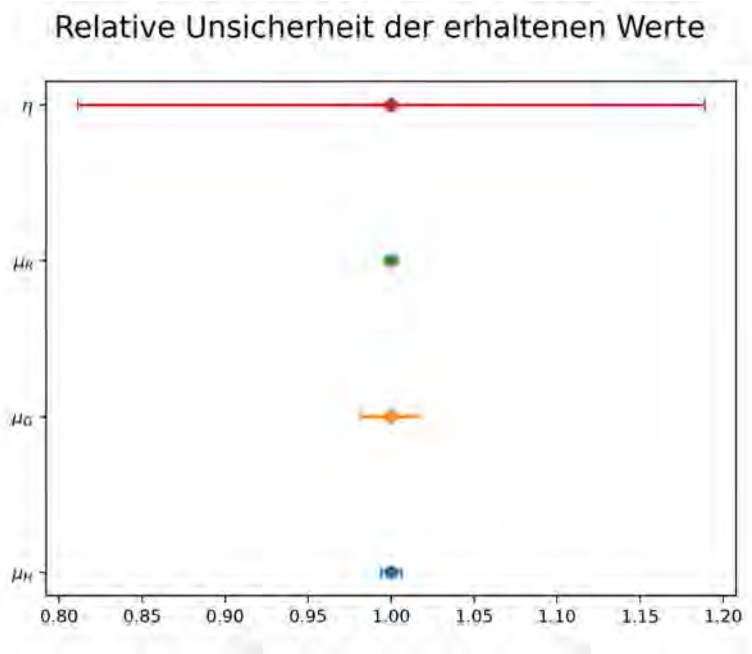

Abbildung 6: Dieses Diagramm soll die Relative Unsicherheit der gemessen Werte visualisieren.
μ_H der Haftreibungskoeffizient von einer PET Handyhülle auf einem laminierten Holzbrett
μ_G der Gleitreibungkoeffizient von einer PET Handyhülle auf einem laminierten Holzbrett
μ_R der Rollreibungskoeffizient von einem Gummiball auf einem laminierten Holzbrett
η die Viskosität von Öl

Die zu messenden Winkel und Distanzen konnten sehr genau bestimmt werden, würde man noch genauer messen wollen müsste man Effekte von Temperatur berücksichtigt werden. Daher wäre es zu Empfehlen, wenn genauere Werte für die Reibungskoeffizienten notwendig wären, auf ein Modell zu wechseln. Für die Rollreibung zum Beispiel ein Modell mit Schwingungen in einem Topf um zu steigen. Wo die Schwingungsdauer und die Amplitude der Schwingung zu bestimmen wären um einen Ausdruck für den Rollreibungskoeffizient in Abhängikeit der Amplituden zu bekommen.

Um genauer Werte für die Viskosität zu bestimmen sollte, muss die Fallzeit und besonders der Radius der Kugel genauer bestimmt werden.

Schlussendlich lässt sich sagen, dass die Methoden zureichend waren um die gesuchten Werte zu bestimmen.

Literatur

[1] *Fehlerfortpflanzung.* de. Page Version ID: 205827844. Nov. 2020. URL: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fehlerfortpflanzung&oldid=205827844 (besucht am 08. 05. 2021).

[2] E. O. Filippova, A. V. Filippov und I. A. Shulepov. „Experimental Study of Sliding Friction for PET Track Membranes“. en. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 125 (Apr. 2016), S. 012020. ISSN: 1757-899X. DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012020. URL: https://doi.org/10.1088/1757-899x/125/1/012020 (besucht am 10. 06. 2021).

[3] *Gleitreibwerte von verschiedenen Materialien.* URL: https://www.schweizer-fn.de/stoff/reibwerte/reibwerte_gleitreibung.php (besucht am 09. 06. 2021).

[4] Peter Knoll. *Mechanik und Wärme(Mechanics and Heat). Skriptum zur Vorlesung.* DE. Vorlesungsskript. 2020. 407 S.

[5] Abdulaziz Kurdi und Li Chang. „Recent Advances in High Performance Polymers—Tribological Aspects“. In: *Lubricants* 7 (Dez. 2018), S. 2. DOI: 10.3390/lubricants7010002.

[6] *Rollwiderstand.* de. Page Version ID: 208874283. Feb. 2021. URL: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rollwiderstand&oldid=208874283 (besucht am 10. 06. 2021).

[7] *Viskosität.* de. Page Version ID: 211149934. Apr. 2021. URL: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Viskosit%C3%A4t&oldid=211149934 (besucht am 10. 06. 2021).

[8] *Viskosität Werte.* de. Universitätspl. 5, 8010 Graz: Inst. f. Physik der KFU-Graz, 29. Mai 2020. URL: https://moodle.uni-graz.at/pluginfile.php/1332154/mod_folder/content/0/Viskosit%C3%A4t.pdf?forcedownload=1.

[9] Braunschweig Wolfgang Kessel. *Die ISO/BIPM-GUM Sicht:Schätzwert & Messunsicherheit.* 2004.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis