Physikalisches Grundpraktikum Teil I (Mechanik und Thermodynamik) Versuch 5 Luftballon mit CO_2

Wafaa Al Nachwati, Finn Wagner

24.03.2022

1 Versuchsziel und Versuchsmethode

In diesem Versuch wird die Dichte von CO_2 über die Fallzeit eines mit CO_2 gefüllten Luftballons bestimmt. Der Fall des Luftballons wird als Bewegung eines kugelförmigen Körpers in einer Flüssigkeit (Luft oder Luft als Quasi-Flüssigkeit) mit laminarer Strömung approximiert.

2 Grundlagen

Wir füllen zwei Luftballons, einmal mit Luft und einmal mit CO_2. Auf beide Luftballons wirkt die gleiche Auftriebskraft, da sie das gleiche Volumen an Luft verdrängen. Aber, da sich ihre Massen unterscheiden wirkt auf den mit CO_2 gefüllten Luftballon, wie wir später sehen werden, auf Grund der höheren Dichte von CO_2 eine stärkere Gewichtskraft, die mehr von der geschwindigkeitsabhängigen Reibungskraft überwinden kann. Der mit CO_2 gefüllte Luftballon fällt schneller. Aus dieser Beziehung zwischen Dichte und Geschwindigkeit stellen wir eine Formel auf und können durch Messen des Volumens der Luftballons, sowie der Fallgeschwindigkeiten zunächst den Faktor zwischen den beiden Dichten, aber da wir die Dichte von Luft bereits kennen[1], die Dichte von CO_2 berechnen.

TODO: Luftballon Kugel approximieren. Ein kugelförmiger Körper mit Dichte ρ_K in einer Flüssigkeit mit Dichte ρ_{Fl} fällt in eben jener Flüssigkeit nach unten TODO: Mehr zur stokesschen Reibung

TODO: Co2 aus Wasser lösen, Druck Gleichgewicht etc.

3 Formeln

Auf jeden Körper wirkt im Schwerefeld der Erde eine Zentralkraft Richtung Erdmittelpunkt, proportional zur Masse des Körpers.

$$F_G = m \cdot g \tag{1}$$

Die Masse eines Körpers (mit Dichte ρ_K) können wir auch über seine Dichte und sein Volumen ausdrücken mit der Beziehung:

$$m = \rho_K \cdot V \cdot g \tag{2}$$

Weiterhin wirkt auf Körper mit echter Ausdehnung (keine Punktmasse) in Flüssigkeiten/Gasen wie Luft eine Auftriebskraft, die durch Verdrängung des Mediums entsteht. Sie ist abhängig vom verdrängten Volumen und der Dichte des Mediums (Gases ρ_G) in dem sich der Körper befindet.

$$F_A = \rho_G \cdot V \cdot g \tag{3}$$

Als dritte Kraft wirkt bei unserem Versuch eine Reibungskraft gegen den Fall des Luftballons an. Die stokessche Reibung ist proportional zur Geschwindigkeit v, dem Radius r des Luftballons, so wie der Viskosität η der Luft.

$$F_R = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v \tag{4}$$

Wir setzen hier stokessche Reibung an, da wir uns vollständig im Bereich laminarer Strömung aufgrund sehr kleiner Geschwindigkeiten befinden. Der Luftballon wird als von der Schwerkraft nach unten beschleunigt, vom Auftrieb und von der Reibungskraft gebremst. Der Luftballon beschleunigt bis zu seiner maximalen Fallgeschwindigkeit (Siehe [2]) und fällt ab dann mit einer konstanten Geschwindigkeit weiter, wird also nicht mehr weiter beschleunigt, da auf den Ballon keine resultierende Kraft mehr wirkt (Gleichung 5). Da für unsere Gegebenheiten die Zeit in der der Luftballon beschleunigt im Vergleich zur gesamten Fallzeit sehr gering ist, setzen wir für den gesamten Fall das Kräftegleichgewicht an, tun also so, als ob der Ballon direkt mit seiner Endgeschwindigkeit fällt:

$$F_G = F_A + F_R \tag{5}$$

Wir approximieren also, das der Luftballon auf der gesamten Strecke h mit der selben Geschwindigkeit v fällt. Er braucht dazu die Zeit t_{Fall}

$$v = \frac{h}{t_{Fall}} \tag{6}$$

Die Endgeschwindigkeit des Ballons lässt sich aus dem Kräftegleichgewicht (Formel 5) durch einsetzen der stokesschen Reibung ausdrücken:

$$\begin{aligned} F_G = F_A + F_R &\Rightarrow F_R = F_G - F_A \\ &\Rightarrow 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v = F_G - F_A \\ &\Rightarrow v = \frac{F_G - F_A}{6\pi \cdot r \cdot \eta} \end{aligned} \tag{7}$$

Wir setzen nun Gleichung (6) und Gleichung (7) gleich.

$$\frac{h}{t_{Fall}} = \frac{F_G - F_A}{6\pi \cdot r \cdot \eta} \tag{8}$$

Im Experiment werden zwei Luftballons, einer gefüllt mit CO_2 und einer gefüllt mit Luft, aus der selben Höhe h fallengelassen. Die Masse m eines solchen gefüllten Luftballons setzt sich aus der Masse m_h des Ballons (der Ballonhülle aus Gummi), sowie dem in ihm enthaltenen Gas (Formel 2) zusammen. Wir setzen diese Masse in die Formel für die Schwerkraft1 ein:

$$F_G = m \cdot g = m_H \cdot g + \rho \cdot V \cdot g = (m_H + \rho \cdot V) \cdot g \tag{9}$$

Die Schwerkraft (Formel 9), sowie die Auftriebskraft (Formel 3) setzen wir in Gleichung 8 ein:

$$\frac{h}{t_{Fall}} = \frac{(m_H + \rho_{Füllung} \cdot V) \cdot g - \rho_{Medium} \cdot V \cdot g}{6\pi \cdot r \cdot \eta_{Medium}} \tag{10}$$

Zu unterscheiden sind die beiden Dichten. $\rho_{Füllung}$ ist die Dichte des Gases im Luftballon, ρ_{Medium} die Dichte des Gases in der Atmosphäre. Für den Luftballon gefüllt mit Luft wird Formel 10 zu:

$$\frac{h}{t_{Luft}} = \frac{(m_H + \rho_{Luft} \cdot V) \cdot g - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g}{6\pi \cdot r \cdot \eta_{Luft}} \tag{11}$$

Und für den Luftballon gefüllt mit CO_2 wird Formel 10 zu:

$$\frac{h}{t_{CO_2}} = \frac{(m_H + \rho_{CO_2} \cdot V) \cdot g - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g}{6\pi \cdot r \cdot \eta_{Luft}} \tag{12}$$

Wir teilen nun die Formel für den Fall in CO_2 durch die für den Fall in Luft und vereinfachen:

$$\begin{gathered} \frac{\frac{h}{t_{CO_2}}}{\frac{h}{t_{Luft}}} = \frac{t_{Luft}}{t_{CO_2}} = \frac{\frac{(m_H+\rho_{CO_2}\cdot V)\cdot g-\rho_{Luft}\cdot V\cdot g}{6\pi\cdot r\cdot\eta_{Luft}}}{\frac{(m_H+\rho_{Luft}\cdot V)\cdot g-\rho_{Luft}\cdot V\cdot g}{6\pi\cdot r\cdot\eta_{Luft}}} = \\ \frac{(m_H + \rho_{CO_2} \cdot V) \cdot g - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g}{(m_H + \rho_{Luft} \cdot V) \cdot g - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g} = \frac{(m_H + \rho_{CO_2} \cdot V) \cdot g - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g}{m_H \cdot g + (\rho_{Luft} \cdot V \cdot g - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g)} = \\ \frac{(m_H + \rho_{CO_2} \cdot V) - \rho_{Luft} \cdot V}{m_H} = \\ \frac{m_H + V \cdot (\rho_{CO_2} - \rho_{Luft})}{m_H} = 1 + \frac{V}{m_H} (\rho_{CO_2} - \rho_{Luft}) \end{gathered} \tag{13}$$

Im letzten Schritt formen wir noch nach ρ_{CO_2} um:

$$\rho_{CO_2} = \rho_{Luft} + \left(\frac{t_{Luft}}{t_{CO_2}} - 1\right) \frac{m_H}{V} \tag{14}$$

4 Versuchsaufbau

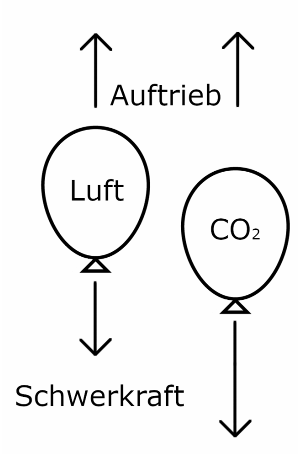

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchs und der auftretenden Kräfte

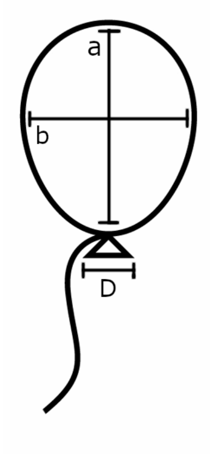

Abbildung 2: Messgrößen am Luftballon

TODO: Allign

4.1 Material

- 2 Luftballons
- 1 Flasche Mineralwasser Classic; Wasser mit viel Kohlensäure
- Smartphone zum Aufnehmen eines Videos
- Maßband mit mindestens Millimetergenauigkeit, am besten ein weiches Rollbandmaß
- 1 Stoppuhr oder Computerprogramm zum auswerten der Zeiten im Video

5 Durchführung

5.1 Ballon mit CO_2 aufpumpen

1. Stülpen Sie den Luftballon (d.h. das Mundstück des Luftballons) auf den Hals der Mineralwasserflasche (Abb TODO: Bild hinzufügen)
2. Schütteln Sie die Wasserflasche wiederholt, um die im Wasser gelöste Kohlensäure in CO_2-Gas umzuwandeln und den Luftballon dadurch aufzublasen. Achten Sie darauf das kein Wasser in den Ballon kommt, um die Masse des Ballons nicht zu verändern.
3. Der Ballon muss am Ende nicht vollständig aufgeblasen sein; etwa 15 cm sind bereits ausreichend.
4. Halten sie den Ballon zu und nehmen sie ihn vorsichtig von der Flasche, sodass kein CO_2 entweicht und knoten Sie ihn zu.

5.2 Zweiten Ballon füllen

5. Bestimmen Sie die Umfänge des mit CO_2 gefüllten Ballons mithilfe des Maßbands. Messen Sie den Umfang vom Mundstück bis zum obersten Punkt (Umfang a), sowie die „Tallie“ (Umfang b) (TODO:ref Bild)
6. Pusten Sie einen zweiten Ballon (mit Luft) auf. Lassen sie in kleinen Schritten Luft aus dem Ballon und messen Sie wiederholt die Umfänge, bis die beiden Luftballons ein identisches Volumen haben.

7. Knoten Sie den Luftballon zu. TODO: Gekennzeichnet?

5.3 Fallversuch

8. Suchen Sie sich einen Ort als Referenzpunkt in gut 2 Metern Höhe (z.B. Oberkante eines Schranks, Türrahmen) und messen Sie den Abstand h zum Boden.
9. Starten Sie ein Video auf ihrem Handy mit Stativ oder lassen Sie sich von einer zweiten Person helfen. Nehmen Sie das Video von etwas weiter weg auf und achten Sie darauf das der Start, sowie das Aufkommen auf dem Boden im Video gut zu sehen sind.
10. Halten Sie die beiden Luftballons in Höhe h und lassen Sie sie gleichzeitig fallen. TODO: Ref Video
11. Wiederholen Sie den Fallversuch 3 mal, nehmen Sie also 2 weitere Videos auf.

5.4 Videoauswertung

1. Messen Sie bei allen aufgenommen Videos die Fallzeiten der Luftballons vom Zeitpunkt an dem sie losgelassen wurden, bis sie auf den Boden aufkommen. Dies kann durch mitstoppen mit einer Stoppuhr beim anschauen des Videos oder durch direktes auswerten des Videos mit Hilfe eines geigneten Computerprogramms oder Handyapp

TODO: Bilder, 1.Ballon auf Flasche, 2.Ballon auf Flasche geschüttelt, 3. Fallversuch

Bei unserer Durchführung haben wir uns für die Unterkannte eines Türrahmens entschieden.
TODO:

TODO: Bilder, 1.Ballon auf Flasche, 2.Ballon auf Flasche geschüttelt, 3. Fallversuch

TODO: Video Auswertung mit wichitg kommentar aus Skript

TODO: Wiegen sie den Luftballon. TODO: Warum Fallhöhe messen? Für andere Berechnung für t_{Venus}?

TODO: (Wasser in Ballon?)

Fallen gelassen von Unterkante des Türrahmens

6 Messergebnisse

Für die drei Messungen haben wir die folgenden Werte aufgenommen:

	$t_{\text{co}_2}[s]$	$t_{Luft}[s]$
t_1	1.195	1.542
t_2	1.251	1.528
t_3	1.306	1.515

Aus den Messwerten berechnen wir die Mittelwerte, also die durchschnittliche Fallzeit:
$\overline{t_{\text{co}_2}} \approx 1{,}251\,\text{s}$
$\overline{t_{Luft}} \approx 1{,}5283\,\text{s}$
von einer Höhe $h = 1{,}97\,\text{m}$
Für den Umfang der Luftballons: $a = 0{,}467\,\text{m}$, $b = 0{,}45\,\text{m}$, $U = \frac{0{,}476\,\text{m}+0{,}45\,\text{m}}{2} = 0{,}463\,\text{m}$
$m_H = 5\,\text{g}$

7 Auswertung

Wir berechnen das Volumen des Luftballons mit der Annahme, dass der Luftballon ein kugelförmiger Körper ist:

$$\begin{aligned} V &= \frac{4}{3}\pi\left(\frac{U}{2\pi}\right)^3 = \frac{4}{3}\pi\frac{U^3}{8\pi^3} = \frac{1}{6}\frac{U^3}{\pi^2} \\ V &= \frac{(0{,}463\,\text{m})^3}{6\cdot\pi^2} = 1{,}676\cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \end{aligned} \tag{15}$$

Für die Dichte ergibt also:

$$\begin{gathered}\rho_{\mathrm{CO_2}} = 1{,}2041\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} + (\frac{t_{Luft}}{t_{CO_2}} - 1)\frac{m_H}{V} \\ \rho_{\mathrm{CO_2}} = 1{,}2041\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} + (\frac{1{,}528\,\mathrm{s}}{\frac{1.251}{s}} - 1)\frac{0{,}005\,\mathrm{kg}}{0{,}001\,676\,\mathrm{m}^3} \\ \rho_{\mathrm{CO_2}} \approx 1.8647\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\end{gathered} \tag{16}$$

Der Literaturwert der Dichte von $\mathrm{CO_2}$ ist 1,977 $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
Für die Abweichung des experimentellen Werts von dem Literaturwert:

$$\frac{\rho_{exp}}{\rho_{Literatur}} = \frac{1{,}8647\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}}{1{,}977\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}} = 0,942 \tag{17}$$

Also eine Abweichung von ungefähr 5,8 %.

Fehlerrechnung:

Für die Fehlerrechnung wird die Standardabweichung des Mittelwertes berechnet.

$$\begin{gathered}\sigma(\overline{t_{co2}}) = \frac{1}{\sqrt{N}}\sigma(t) \\ \approx \sqrt{\frac{1}{N-1}[(t_1-\bar{t})^2 + (t_2-\bar{t})^2 + (t_3-\bar{t})^2]} \\ = \sqrt{\frac{1}{2}[(1.195-1.251)^2 + (1.251-1.251)^2 + (1.306-1.251)^2]} \\ \approx 0.0555\end{gathered} \tag{18}$$

????

$$\begin{gathered}\sigma(\overline{t_{Luft}}) = \frac{1}{\sqrt{N}}\sigma(t) \\ \approx \sqrt{\frac{1}{N-1}[(t_1-\bar{t})^2 + (t_2-\bar{t})^2 + (t_3-\bar{t})^2]} \\ = \sqrt{\frac{1}{2}[(1.542-1.528)^2 + (1.528-1.528)^2 + (1.515-1.525)^2]} \\ \approx 0.0122\end{gathered} \tag{19}$$

Prallaxe von Video??? Nicht auf gleiche Höhe am Anfang. Luftstömungen?

TODO: Fehler Luftballon aufgepustet nicht Umgebungsluft? TODO: Fehler Luft im Co2 ballon, alternativ Sodastream? TODO: Schwer zu sehen wann Boden berührt TODO: Wiegen sie den Luftballon. TODO: Fehler Luftballon wiegt 2g TODO: (Wasser in Ballon?) TODO: Video aufgenommen ausgewertet mit Media Player Classic?App ausgewertet TODO: Beachten Vidoe nur mit 30fps aufgenommen Fehlerrechnung TODO: Umfangfehlerrechnung aus Versuch 6 klauen. Hier aber mehr auf schwierig Umfänge zu vergleichen eingehen. Volumenfehler TODO: Theoriefehler aus Herleitung??? TODO: Wie lange beschleunigt der Luftballon?

8 Fall auf der Venus

Wir bestimmen nun, wie lang der Fall des mit $\mathrm{CO_2}$ gefüllten Luftballons auf der Venus dauern würde. Wir nehmen an, das die Atmosphäre der Venus zu 100% aus $\mathrm{CO_2}$ besteht. Die Schwerkraft auf der Venus beträgt $g_{Venus} = 8{,}87\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Die Atmosphäre auf der Venus ist mit mehr als 400 °C sehr heiß und die Viskosität ist abhängig von der Temperatur. Wir nehmen für diese Rechnung an, das es auf der Venus nur Raumtemparatur mit $T = 20\,°\mathrm{C}$ warm ist. Die Viskosität von $\mathrm{CO_2}$ ist dann $\eta_{\mathrm{CO_2}} = 14{,}73 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa} \cdot \mathrm{s}$

Wir gehen hier beim aufstellen der Formel ähnlich vor wie bei der Formel für die Dichte. Wir nehmen Formel10 und setzen die Werte für den Fall eines mit $\mathrm{CO_2}$ gefüllten Luftballons auf der

Erde und auf der Venus ein:

$$v_{Erde} = \frac{(m_H + \rho_{\mathrm{CO_2}\cdot V}) \cdot g_{Erde} - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g_{Erde}}{6\pi \cdot r \cdot \eta_{Luft}} \tag{20}$$

$$v_{Venus} = \frac{(m_H + \rho_{\mathrm{CO_2}\cdot V}) \cdot g_{Venus} - \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V \cdot g_{Venus}}{6\pi \cdot r \cdot \eta_{\mathrm{CO_2}}} \tag{21}$$

Wir bilden nun das Verhältnis der beiden Fallgeschwindigkeiten:

$$\begin{aligned}
\frac{v_{Erde}}{v_{Venus}} &= \frac{\frac{(m_H+\rho_{\mathrm{CO_2}}\cdot V)\cdot g_{Erde} - \rho_{Luft}\cdot V\cdot g_{Erde}}{6\pi\cdot r\cdot\eta_{Luft}}}{\frac{(m_H+\rho_{\mathrm{CO_2}}\cdot V)\cdot g_{Venus} - \rho_{\mathrm{CO_2}}\cdot V\cdot g_{Venus}}{6\pi\cdot r\cdot\eta_{\mathrm{CO_2}}}} = \\
\frac{\eta_{\mathrm{CO_2}}}{\eta_{Luft}} \cdot \frac{(m_H + \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V) \cdot g_{Erde} - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g_{Erde}}{(m_H + \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V) \cdot g_{Venus} - \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V \cdot g_{Venus}} &= \\
\frac{\eta_{\mathrm{CO_2}}}{\eta_{Luft}} \cdot \frac{(m_H + \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V) \cdot g_{Erde} - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g_{Erde}}{m_H \cdot g_{Venus} + \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V \cdot g_{Venus} - \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V \cdot g_{Venus}} &= \\
\frac{\eta_{\mathrm{CO_2}}}{\eta_{Luft}} \cdot \frac{(m_H + \rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V) \cdot g_{Erde} - \rho_{Luft} \cdot V \cdot g_{Erde}}{m_H \cdot g_{Venus}} &=_{\text{Bruch aufteilen}} \\
\frac{\eta_{\mathrm{CO_2}}}{\eta_{Luft}} \cdot \left(\frac{g_{Erde}}{g_{Venus}} + \frac{g_{Erde}}{g_{Venus}} \cdot \frac{\rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V}{m_H} - \frac{g_{Erde}}{g_{Venus}} \cdot \frac{\rho_{Luft} \cdot V}{m_H}\right) &=_{\text{Ausklammern}} \\
\frac{\eta_{\mathrm{CO_2}}}{\eta_{Luft}} \cdot \frac{g_{Erde}}{g_{Venus}} \cdot \left(1 + \frac{\rho_{\mathrm{CO_2}} \cdot V}{m_H} - \frac{\rho_{Luft} \cdot V}{m_H}\right) &= \\
\frac{\eta_{\mathrm{CO_2}}}{\eta_{Luft}} \cdot \frac{g_{Erde}}{g_{Venus}} \cdot \left(1 + \frac{V}{m_H} \cdot (\rho_{\mathrm{CO_2}} - \rho_{Luft})\right)
\end{aligned} \tag{22}$$

Jetzt setzen wir für die Geschwindigkeiten die Beziehung zur Fallzeit und Geschwindigkeit6 ein:

$$\frac{v_{Erde}}{v_{Venus}} = \frac{\frac{h}{t_{Erde}}}{\frac{h}{t_{Venus}}} = \frac{t_{Venus}}{t_{Erde}} \tag{23}$$

Wir setzen das Geschwindigkeits-22 und Zeitverhältnis23 gleich und setzen die Werte für das Volumen $V = TODO : Einsetzen 1\,\mathrm{m^3}$ für die Beschleunigungen $g_{Erde} = 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}$, $g_{Venus} = 8{,}87\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}$, sowie die Viskositäten $\eta_{\mathrm{CO_2}} = 14{,}73 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa\cdot s}$, $\eta_{Luft} = 18{,}21 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa\cdot s}$ und die Dichte von Luft $\rho_{Luft} = 1{,}2041\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$ und die im vorherigen Experiment bestimmte Dichte von $\mathrm{CO_2}$ $\rho_{\mathrm{CO_2}} = TODO : Einsetzen 1\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$ ein. Werte aus Aufgabenstellung[1].

$$\frac{t_{Venus}}{t_{Erde}} = \frac{\eta_{\mathrm{CO_2}}}{\eta_{Luft}} \cdot \frac{g_{Erde}}{g_{Venus}} \cdot \left(1 + \frac{V}{m_H} \cdot (\rho_{\mathrm{CO_2}} - \rho_{Luft})\right) = \frac{14{,}73 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa\cdot s}}{18{,}21 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Pa\cdot s}} \cdot \frac{8{,}87\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}}{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}} \cdot \left(1 + \frac{TODO : Volumen 1\,\mathrm{m^3}}{0{,}005\,\mathrm{kg}} \cdot \left(T\right.\right. \tag{24}$$

TODO: $t_v = 1.274s$ TODO: Das Verhältnis ist, die Fallzeit auf der Venus ist länger/kürzer TODO: Aufgabe vergleichen Sie Fallzeiten! Warum länger/kürzer, Abhängigkeit Dichte, Viskosität, Gewichtskraft.

TODO: Aufgabenstellung nochmal genau lesen. TODO: Messergebnise nochmal neu aufschreiben und anheften.

9 Diskussion Ergebnis

TODO: Plot, ort, zeit geschwindigkeit des Luftballons beim Fall? mit pgfplots

TODO: Prozent abweichung vom Literaturwert

TODO: Wieviel Co2 in Wasserflasche gelöst. TODO:Literaturwert Quelle angeben

10 Diskusion

TODO:

Quellen

[1] Dr. Jens Sören Lange. „Anleitung zum Physikalischen Grundpraktikum Teil I (Mechanik und Thermodynamik)“. Version 1.3. In: (28. Feb. 2022).

[2] Wikipedia. *Gesetz von Stokes*. 2022. URL: `https://de.wikipedia.org/wiki/Fall_mit_Luftwiderstand` (Abruf vom 11. 03. 2022).

TODO: FOTOS und Messwerte TODO: Warum Fallhöhe messen? Für andere Berechnung für t_{Venus}?