

Ein Kamera-Auge sieht die Welt

Fallendes Wasser

Freihandversuche 23 11 01

Kittel Matthias
9502020
kittel@astro.univie.ac.at

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufbau des Versuches	1
3	Ergebnisse und Berechnungen	3
4	Auswertung und Diskussion	5

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsanordnung	2
2	Darstellung der <i>Trichterflasche</i>	6
3	Darstellung des unteren Flaschenteils mit <i>Pril-Verschluss</i>	7

Tabellenverzeichnis

1	Flaschenmassen	3
2	Messreihe 1	4
3	Messreihe 2	4

1 Einleitung

Ziel des Versuches war es, mittels einer Videokamera, das Verhalten einer mit Wasser gefüllten Flasche, auf Band aufzunehmen und auszuwerten. Da Fallvorgänge in der Regel sehr schnell vor sich gehen, ist das menschliche Auge nicht in der Lage, Details zu erkennen. Aus diesem Grund wird das aufgenommene Filmmaterial auf eine handelsübliche VHS-Videokassette überspielt und unter Verwendung eines Videorecorders mit *Jogg-shuttle* verlangsamt (*Pseudozeitlupe*) und Einzelbild für Einzelbild studiert. Aufgrund dieser Einzelbildbetrachtung ist es nun möglich Details genauer zu betrachten, beziehungsweise neue zu identifizieren. Weiters besteht nun die Möglichkeit durch Abmessen am Bildschirm (Achtung Maßstab!), qualitative Aussagen über Geschwindigkeiten und Beschleunigungen zu machen. Besondere Aufmerksamkeit wird auf die Wasseroberfläche und ihr Verhalten gelegt und im letzten Abschnitt diskutiert.

2 Aufbau des Versuches

Abbildung 1 (siehe Legende für Einzelheiten) zeigt detailliert den Versuchsaufbau. In der unten angefügten Liste werden alle bei diesem Versuch verwendeten Materialien in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet.

- Aluminiumleiter
- Fußabstreifer
- großer Karton
- Mistkübel
- Oberteil einer quer durchgeschnittenen 2-Liter-Pet-Flasche (Höhe: 12 cm, trichterförmig)
- Unterteil einer quer durchgeschnittenen 2-Liter-Pet-Flasche (Höhe: 20 cm, Durchmesser: 10 cm)
- Oberteil einer quer durchgeschnittenen 2-Liter-Pet-flasche mit *Pril-Verschluss*
- 1-Liter-Pet-Flasche mit vier gebohrten Löchern (Löcherabstand vom Boden: 4, 7.5, 11 und 15 cm)
- Sessel
- Tusche
- Verlängerungskabel
- Blaupunkt Video-8-Kamera
- Wasser

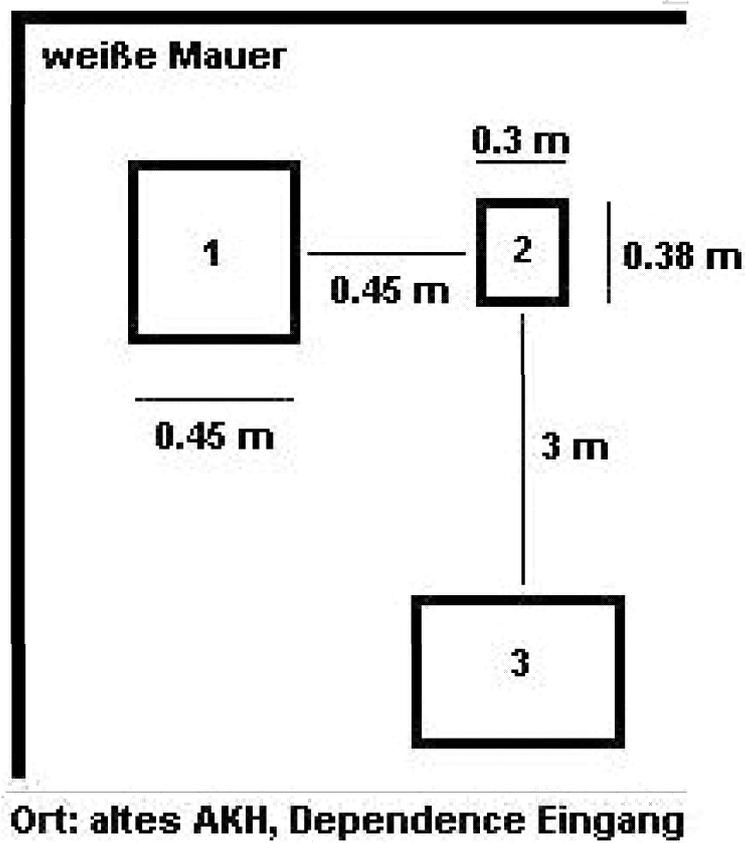


Abbildung 1: Als Versuchsort wird ein Mauerwinkel beim Eingang in die Dependence des Physik Instituts im Alten AKH verwendet, dieser stellt sich als ideal heraus, da die Mauer weiß ist und somit einen guten Hintergrund für Videoaufnahmen bietet. Der Versuch wird im Freien durchgeführt, um keine Wasserschäden im Gebäude zu hinterlassen. In dieser Abbildung bezeichnet *1* die verwendete Aluminiumleiter, von der aus die Flaschen fallen gelassen werden. *2* bezieht sich auf den mit einem Fußabstreifer ausgelegten Mistkübel, der als Auffangbehälter dient. *3* kennzeichnet den Platz der Kamera, die auf einem Sessel angebracht ist, der wiederum auf einer Kartonkiste steht. Alle relevanten Abstände sind in der Abbildung eingezeichnet.

Das Wasser wird mit Tusche eingefärbt, um den Kontrast der Flüssigkeitsoberfläche mit der weißen Wand zu erhöhen, und damit die Auswertung zu erleichtern. Die mit dem gefärbten Wasser gefüllten Plastikflaschen(teile) werden von einer Person, die auf der Leiter steht, fallen gelassen. Vor dem Fallenlassen wird die Kamera so eingerichtet, dass man die Hand, die die Flasche hält gerade noch erkennen kann, damit man den Zeitpunkt des Loslassens genau bestimmen kann. Dies ist deshalb wichtig, da sonst die Flasche unerwartet ins Bild kommt und ihre Geschwindigkeit höher als tatsächlich eingeschätzt wird. Der aufgestellte Mistkübel dient dazu, die Pet-Flaschen aufzufangen, und das Wasserspritzen zu minimieren. Dieser Kübel wird mit einem, als *Dämpfungsmaterial* dienenden, Fußabstreifer ausgelegt, um Zersplitterungen der Flaschen und des Kübels zu verhindern. *Tabelle 1* gibt die mit Federwaagen gemessenen Massen der unterschiedlichen, mit Flüssigkeit gefüllten Flaschen, sowie die dabei auftretenden Kräfte an.

Flasche	Masse [kg]	Kraft $F = mg$ [N]
2-Liter-Pet-Flaschenunterteil	0.64 bis 0.96	6.4 bis 9.6
<i>Trichterflasche</i>	0.2 bis 0.3	2 bis 3
Flasche mit <i>Prilverschluss</i>	1	10

Tabelle 1: Flaschenmassen

Als Podest dient eine alte Kartonkiste und ein Sessel, auf die die Kamera gelegt wird, um die Kameraführung einigermaßen erschütterungsfrei zu gestalten. Als Belichtungszeit wird die bei dieser Kamera kürzestmögliche mit $\frac{1}{1000}$ Sekunde gewählt. Für das Erkennen von Einzelheiten ist eine kurze Belichtungsdauer von Vorteil. Sollten aber kleinere als hier gewählte Belichtungszeiten gewünscht werden, müsste für eine ausreichende Beleuchtung gesorgt werden, um alle relevanten Bildteile optimal darstellen zu können.

Die Kamera selbst wird seitlich aufgestellt, um später die Fernseherbreite anstatt der -höhe auszunutzen. Da das Längenverhältnis der Seiten beim Fernseher 4:3 beträgt, kann auf diese Weise eine um 33% längere Fallhöhe am Bildschirm beobachtet werden. Auf dem Bildschirm wird der Versuch mittels Standbilder (Frames) untersucht, die einen Zeitabstand von $\frac{1}{25}$ Sekunden besitzen.

3 Ergebnisse und Berechnungen

Als erstes lässt sich erkennen, dass die Flasche eine beschleunigte Bewegung durchführt. Man erkennt, dass in gleicher Zeit ($\frac{1}{25}$ Sekunde), der zurückgelegte Wegabschnitt von Frame zu Frame immer größer wird. Durch das Abmessen der Flaschenpositionen am Bildschirm ist es möglich, die Fallgeschwindigkeiten (über die Formel für die Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, wobei s für den zurückgelegten Weg und t für die dafür benötigte Zeit steht) an mehreren Zeitpunkten zu bestimmen, und daraus wieder einen Wert für die Fallbeschleunigung zu errechnen. In den beiden folgenden Messreihen zu jeweils zwölf Zeitpunkten wird der Abstand der Flasche vom Bildschirmrand gemessen. Aus diesen Messergebnissen ist es nun möglich die Geschwindigkeit an den, dem Ausgangspunkt folgenden elf Messpunkten, zu bestimmen. Aus diesen Geschwindigkeiten werden nun die Beschleunigungen von einem Zeitpunkt zum anderen berechnet. Diese berechneten Beschleunigungen sollten der Erdbeschleunigung äquivalent sein. Zu beachten ist, dass die Bilder am Fernsehschirm verkleinert dargestellt sind, jedoch kannüber die gemessene Originalgröße der Objekte ein *Skalierungsfaktor* bestimmt werden, der in die Rechnungen eingeht (siehe Legende *Tabelle 2* und *3*). Dieser Effekt hängt von der Entfernung

der Kamera zum Beobachtungspunkt ab. Da die Kamera zwischen den Messreihen bewegt wird, kann es zu geringfügigen Abweichungen zwischen den Skalierungsfaktoren bei den einzelnen Versuchen kommen. Dieser Faktor lässt sich nun leicht berechnen. Die Flaschenlänge wurde zu 20 cm in Originalgröße bestimmt, der Quotient aus diesem Wert mit der abgemessenen Flaschenlänge am Bildschirm gibt nun den Maßstab für die Versuchsreihe an.

Die hier angegebenen Messergebnisse sind auf Millimeter genau angegeben, alle berechneten Werte auf zwei Nachkommastellen gerundet. Genauere Messung erhöht aufgrund der Versuchsanordnung und angenommener Vereinfachungen die Genauigkeit nicht. Eine präzisere Angabe der Rechenergebnisse ist bei den gemachten Messungen ebenfalls nicht zielführend.

Abstand am Bildschirm [cm]	Geschwindigkeit [ms^{-1}]	Beschleunigung [ms^{-2}]
16.0	—	—
16.2	0.15	—
16.8	0.45	7.50
18.0	0.90	11.25
19.8	1.35	11.25
22.3	1.88	13.13
25.3	2.25	9.38
29.0	2.78	13.13
33.0	3.00	5.63
37.8	3.60	15.00
43.4	4.20	15.00
50.0	4.95	18.75 (*)

Tabelle 2: Die Flaschenlänge wurde bei dieser Messreihe zu 6.70 cm bestimmt, was zu einem Skalierungsfaktor von 3.00 führt. Das heißt, alle am Bildschirm dargestellten Objekte haben ein Drittel der Größe der Originalobjekte.

Abstand am Bildschirm [cm]	Geschwindigkeit [ms^{-1}]	Beschleunigung [ms^{-2}]
22.1	—	—
22.3	0.15	—
22.8	0.39	5.78
23.8	0.77	9.63
25.5	1.16	9.63
27.5	1.54	9.63
30.3	2.16	15.40
33.6	2.54	9.63
37.6	3.08	13.48
42.6	3.85	19.25 (*)
48.3	4.39	13.48
54.8	5.01	15.40

Tabelle 3: Der hier auftretende Skalierungsfaktor beträgt 3.08

Der mittels der Messreihen bestimmte Wert für die Fallbeschleunigung beträgt $12.07 ms^{-2}$. Vernachlässigt man die mit dem Stern (*) gekennzeichneten Werte, die offensichtlich besonders ungenau sind, ergibt sich ein Betrag von $11.56 ms^{-2}$ für die Fallbeschleunigung. Die am Ende der Messreihen gemessenen Geschwindigkeiten

sind schon so groß, dass kleine Abweichungen in der Abmessung am Bildschirm zu großen Fehlern in der Berechnung führen. Das Abmessen am Bildschirm kann dadurch erschwert werden, dass das Bild etwas unscharf und verschwommen, und somit eine klare Abgrenzung des Flaschenrandes nicht mehr möglich ist. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren und dem Versuchsaufbau, geben die Ergebnisse eine akzeptable Genauigkeit wider.

4 Auswertung und Diskussion

Neben der Berechnung der Fallbeschleunigung kann aus der Betrachtung der Einzelbilder auch quantitativ auf das Verhalten der Flüssigkeit in der Flasche Bezug genommen und ausgewertet werden. Aus diesem Grund wurde, das aus der Flasche auströmende Wasser, beziehungsweise die Flüssigkeitsoberfläche während des freien Falles genauer betrachtet.

Auf dem Film ist zu erkennen, dass solange man die Flasche mit den gebohrten Löchern hält, das Wasser in unterschiedlichen Parabelbahnen aus den Öffnungen austritt. Nach zwei Frames (d.h. nach $\frac{2}{25}$ Sekunden) hört das Wasser auf aus den Öffnungen zu fließen. Der Grund dafür ist das Fehlen des *hydrostatischen Druckes* während des freien Falles. Wasser und Flasche befinden sich beide im freien Fall, die Flüssigkeit und der Behälter verhalten sich beide, als ob sie sich in eine *microgravity environment* befinden würden. Das Wasser wird sozusagen nicht mehr durch den hydrostatischen Druck (der ja nur aufgrund der Schwerkraft wirkt) aus der Flasche *herausgedrückt*.

Weiters war auffällig, dass sich die Form der Wasseroberfläche während des Fallvorganges verändert. In *Abbildung 2* und *3* sind die beobachteten Oberflächenveränderungen graphisch dargestellt.

Aufgrund des freien Falles wird ja die *Schwerkraft* sozusagen ausgeschaltet. Nun können Kräfte beobachtet werden, die in unserer *normalen Schwereumgebung* in der Regel vernachlässigt oder nicht beobachtbar sind. Bei diesen Fallversuchen ist es vorgekommen, dass die Flasche, die mit beiden Händen gehalten wird, nicht zeitgleich losgelassen wird. Durch diese geringfügige Verzögerung von einer Seite zur anderen wird der fallenden Flasche ein Drehimpuls mitgegeben. Die Flasche dreht sich nun im freien Fall, das Wasser in der Flasche verhält sich aber einem starren Körper ähnlich.

Der bemerkenswerteste Effekt der beobachtet wird, ist die parabelförmige Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche. Flüssigkeitsteilchen verschieben sich leicht tangential zur Oberfläche, sobald entsprechende Kräfte wirken. Gleichgewicht kann daher nur bestehen, wenn die Oberfläche überall senkrecht auf die Kräfte steht. Anders als im homogenen Schwerfeld, wo die Oberfläche horizontal ist, kommt es hier im freien Fall zu einer Krümmung, weil die Schwerkraft andere Kräfte nicht mehr überdeckt. Die hier relevante Kraft, welche die Oberflächenkrümmung bewirkt entsteht nun wie folgt: Zwischen Flasche und Flüssigkeit besteht Reibung. Durch das Kippen der Flasche, kommt es zu einer Bewegung der Flüssigkeit entlang der Flaschenwand, die auftretenden Reibungskräfte werden nun durch die zurückgelegte Wegstrecke an der Flächeninnenseite bestimmt. Die Kräfte werden im Wasser seitlich verteilt und in Verbindung mit der Oberflächenspannung führen diese Reibungskräfte zur Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche. All diese Kräfte wirken auch im Schwerfeld, werden aber durch die Schwerkraft überdeckt, sodass Auswirkungen nicht beobachtet werden können. Im freien Fall ist die Reibungskraft nun diejenige, die beobachtbar wird.

Für weitere Versuche dieser Art wäre es interessant, Flüssigkeiten wie Honig oder Glycerin zu verwenden, die eine hohe Viskosität und damit eine hohe innere Reibung

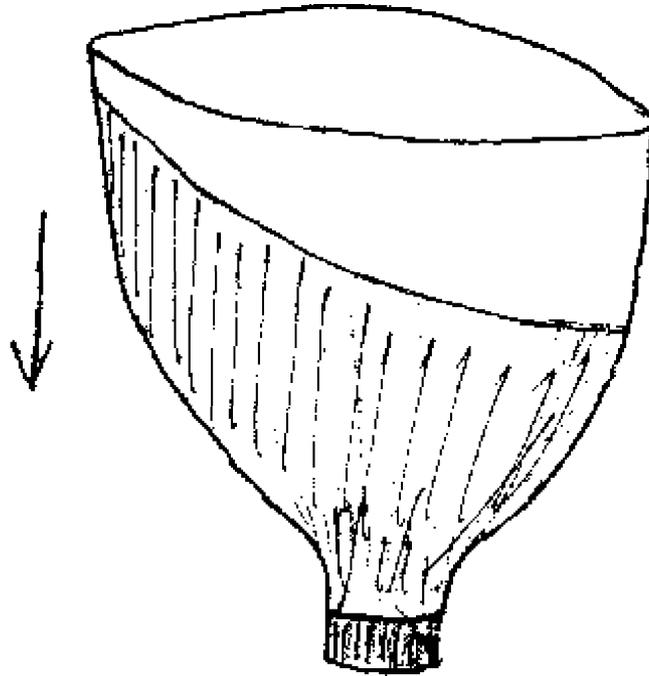


Abbildung 2: In dieser Abbildung ist die Oberfläche der Flüssigkeit in dem von uns *Trichterflasche* genannten Gefäß während des Fallens skizziert. Die Krümmung der Oberfläche ist deutlich zu erkennen.

aufweisen.

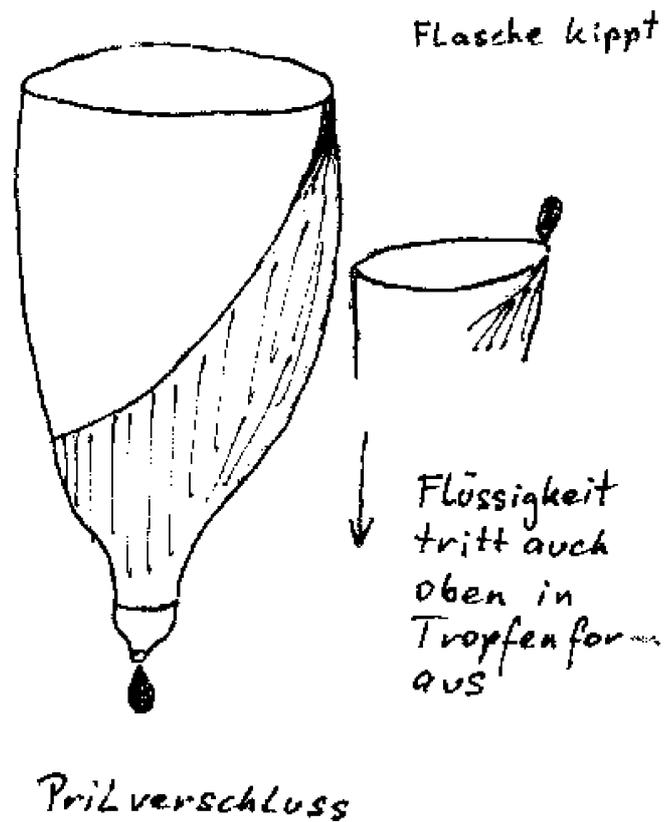


Abbildung 3: In dieser Abbildung ist wiederum die Oberfläche der Flüssigkeit dargestellt, diesmal in der *Trichterflasche* mit einem Verschluss, der langsames Ausströmen der Flüssigkeit zulässt. In der kleinen Abbildung auf der rechten Seite ist das *Überschwappen* der Flüssigkeit skizziert, das bei starker Kipplage auftreten kann. Das *Austropfen* der Flüssigkeit findet im freien Fall nicht mehr statt (siehe Text für Details).