

Spiele mit dem Schwerpunkt

Christian Ucke und Hans Joachim Schlichting

Manche ästhetisch ansprechenden Haushaltsgegenstände nutzen gewollt ein spielerisches Umgehen mit dem Schwerpunkt aus. Ein Salzstreuer verhält sich wie ein Stehaufmännchen, ein Trinkbecher neigt sich umso mehr, je weniger Flüssigkeit in ihm enthalten ist- er geht regelrecht zur Neige.

Salz- und Pfefferstreuer als Stehaufmännchen

Salz- und Pfefferstreuer sind seit jeher beliebte Gegenstände von Designern. Sie sollen stabil auf dem Tisch stehen. Fallen sie einmal um, soll sich der Inhalt nicht verstreuen: Die Anleihe an das bekannte Stehaufmännchen liegt nahe. Diese Idee griff u.a. der italienische Designer Maurizio Duranti auf und kreierte unter dem Namen Ercolino „unfall-sichere“ Salz- und Pfefferstreuer (Abbildung 1) [1]. Wie sie funktionieren zeigt ein Blick ins Innere.

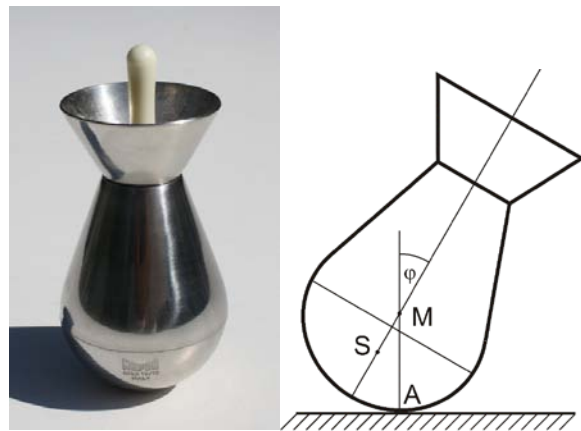


Abb.1: Stehauf- Salzstreuer Ercolino

Der Schwerpunkt S des gesamten Objekts liegt sowohl im leeren als auch im gefüllten Zustand deutlich unter dem Mittelpunkt M des unteren Kugelteils. Dadurch ergibt sich beim Neigen des Gerätes ein rücktreibendes Drehmoment, das den Streuer wieder aufrichtet. Das ist klassische Stehaufmännchenphysik.

Physiker neigen selbst bei Tisch zu Experimenten – nicht immer zur Freude aller. Doch kann dabei Erstaunliches zutage kommen. Lenkt man den – leeren - Salzstreuer nur geringfügig um einen kleinen Winkel φ aus der stabilen Position aus und lässt ihn dann los, so schwingt er mit einer Schwingungsdauer von etwa einer Sekunde. Lenkt man ihn sehr weit aus, ergibt sich eine merklich größere Schwingungsdauer bis fast zwei Sekunden. Ähnlich wie beim klassischen Fadenpendel ist in diesem Fall die Schwingungsdauer nicht mehr unabhängig von der Auslenkung. Die Sache wird nichtlinear und damit auch bei einem so einfach erscheinenden Objekt kompliziert. Hinzu kommt, dass der Salzstreuer nicht um einen Punkt schwingt, sondern auf der Kugelunterseite abrollt. Dadurch verändert sich auch noch das Trägheitsmoment bezüglich des Auflagepunktes A in Abhängigkeit vom Auslenkwinkel.

Der gefüllte Salzstreuer weist selbst bei kleinen Auslenkungen eine größere Schwingungsdauer auf, da der Schwerpunkt näher an den Kugelmittelpunkt heranrückt und damit das rücktreibende Drehmoment kleiner wird.

Ein auch für spielverliebte Physiker weniger empfehlenswertes Vorgehen besteht darin, den Salzstreuer kreiselnd um die Symmetrieachse in Drehung zu versetzen. Die anfängliche Rotation um die Symmetrieachse ist instabil und geht schnell in eine dazu senkrechte Richtung über. Dabei kann der Inhalt des Salzstreuers herausgeschleudert werden.

Salz- und Pfefferstreuer als Wobblers

Auf einem gänzlich anderen stabilisierenden Prinzip beruht der von dem deutschen Designer Alexander Schenk entworfene und aus massivem Zinkguss bestehende Salz-/Pfefferstreuer Doublette [2]. Sie werden ausdrücklich auch als Handschmeichler und Spielzeug bezeichnet, womit bewusst über den rein praktischen Zweck dieses Gebrauchsgegenstandes hinausgegangen wird.

Die beiden Teile der Doublette werden mit Magneten zusammengehalten (Abbildung 2). Tippt man den kompletten Streuer leicht an, wackelt er auf der Stelle hin und her. Im Englischen heißen derartige Objekte auch Wobblers (Taumler, Wackler). Bei stärkerem Anstoßen rollt er allerdings ein kleines Stück – nicht gerade ideal für ein derartiges Objekt. Denn dann kann er vom Tisch fallen – mit unerwünschten Konsequenzen.

Dieser Streuer gehört auf Grund seiner Form zu einer ganzen Klasse von Objekten, die in der einfachsten Version A.T. Stewart schon 1966 beschrieben hat [3]. Verbindet man zwei Kreis- oder Ellipsenscheiben senkrecht miteinander (Abbildung 3), ergibt sich das dem Salz-/Pfefferstreuer zugrunde liegende "Gerüst". Wenn der Abstand c zwischen den Mittelpunkten der Scheiben die Bedingung $c = \sqrt{4a^2 - 2b^2}$ erfüllt, bleibt der Abstand des Schwerpunktes S vom Untergrund während der Rollbewegung gerade konstant [4]. Bei kreisförmigen Scheiben mit $a = b = r$ wird dies zu $c = r\sqrt{2}$. Dann rollt der Zwei-Scheiben-Roller sehr gut über eine nur leicht geneigte Ebene, beispielsweise einen schiefen Tisch, hinunter. Parallel zum Untergrund beschreibt der Schwerpunkt dabei eine sinus-ähnliche Kurve.

Es ist ein Glück, dass die Doublette diese Bedingung gerade nicht erfüllt ($c \approx 2r$; $r = 28,6\text{mm}$). Ein Gespräch mit dem Designer ergab, dass er diese Bedingung zwar nicht kannte, sich bei seinem Entwurf aber der Auf- und Abbewegung des Schwerpunkts bewusst war. Allerdings ist der Hub des Schwerpunkts beim Rollen recht klein ($\approx 6\text{mm}$), so dass die Doublette eben manchmal doch vom Tisch rollt.

Trinkbecher Balance

Ein Trinkgefäß der besonderen Art stellt der Balance Becher der Designerin Katja Höltermann dar [5]. Im leeren Zustand steht er schief mit einem Winkel von etwa 23° (Abbildung 4). Füllt man hinreichend viel Wein oder Wasser ein, steht das Gefäß gerade. Zwar haben Wein und Wasser normalerweise nicht die gleiche Dichte. Der Unterschied ist jedoch so klein, dass er durch etwas mehr oder weniger Füllen ausgeglichen werden kann.



Abb.2: Salz-/Pfefferstreuer Doublette

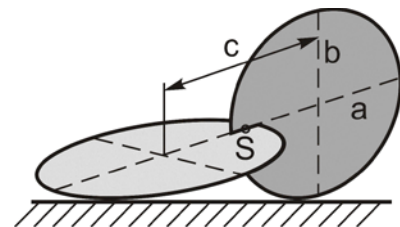


Abb.3: Zwei-Scheiben-Roller



Abb.4: Der Trinkbecher Balance, vorne gefüllt, hinten leer.

Man könnte vermuten, dass das Gefäß aus massivem Edelstahl besteht. Aus einer Messung der Masse ($m = 153\text{g}$) und des verdrängten Volumens des leeren Gefäßes ($V = 75\text{cm}^3$) ergäbe sich eine Dichte von $\rho = m/V \approx 2,0\text{g/cm}^3$. Da Edelstahl eine Dichte von $\rho = 7,9\text{g/cm}^3$ besitzt, ist die Vermutung sofort widerlegt.

Ein Querschnitt durch das Gefäß klärt den genauen Aufbau (Abbildung 5). Der Becher ist aus Edelstahlblech einer Dicke von etwa 0,7 mm gefertigt. Die Stärke der Linie entspricht maßstabsgerecht der Blechdicke. M_1 ist der Mittelpunkt der äußeren, M_2 der der inneren Kugelkalotte. Der Gesamtschwerpunkt des leeren Bechers läge damit auf der rechten Seite (der Rand oben fällt nicht wesentlich ins Gewicht) und der Becher würde sich zu dieser Seite neigen. Das kann aber nicht beabsichtigt sein, weil sich in diesem Fall der Becher beim Hinzufügen der Flüssigkeit noch weiter neigen würde. Damit das nicht geschieht, musste ein zusätzliches Gewichtstück G angebracht werden. Es bewirkt, dass der Schwerpunkt (blaues Kreuz) des leeren (unter etwa 23° schief stehenden Gefäßes) auf die von M_1 ausgehende 23° -Linie gedreht wird.

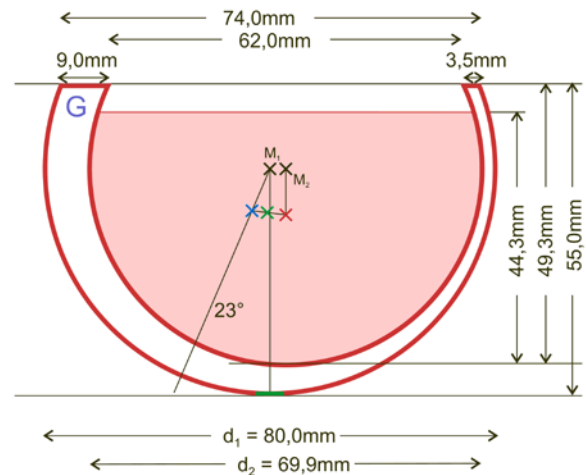


Abb.5: Lage der Schwerpunkte im leeren und gefüllten Balance Becher

Wird nun genügend Wein oder Wasser eingegossen, wandert der Gesamtschwerpunkt (grünes Kreuz) von Wein und Becher zu der von M_1 senkrecht nach unten ausgehenden Linie und befindet sich im optimalen Fall direkt unter M_1 . Dann steht der Becher gerade. Der Schwerpunkt der Flüssigkeit senkrecht unter M_2 ist durch ein rotes Kreuz gekennzeichnet und hängt von der Füllhöhe ab. Die Berechnung aller Einzelschwerpunkte und der Gesamtschwerpunkte erfordert einige Überlegungen. Sie ist ein attraktives Projekt für Schüler und Studenten (siehe auf www.phiuz.de unter Special Features/Zusatzmaterial zu den Heften).

Ein kleiner Trick verbessert die Standfähigkeit des gefüllten Gefäßes. Der untere Pol des kugelrunden Gefäßes ist um etwa $0,2\text{mm}$ abgeflacht, was gegenüber einem Durchmesser von 80mm kaum sichtbar, aber mit der Fingerkuppe gut ertastbar ist. Dadurch ist eine Standfläche (grüne Linie unten) geschaffen, die auch bei kleinen Abweichungen der optimalen Füllhöhe noch ein gerades Stehen ermöglicht.

Flaschenhalter

Für Weinflaschen gibt es eine enorme Vielfalt von Haltevorrichtungen. Zwei davon besitzen einen physikalisch interessanten Hintergrund. Der in Abbildung 6 oben gezeigte Halter benötigt ein relativ genaues Austarieren der Flasche im Halter, denn der gemeinsame Schwerpunkt von Halter und Flasche muss sich senkrecht oberhalb der kleinen Auflagefläche befinden. Das ist eine wackelige Angelegenheit, verblüfft aber natürlich gerade durch die scheinbar so leichte und schwebend wirkende Balance.



Abb.6: Flaschenhalter für Wein

Vom physikalischen und auch praktischen Standpunkt aus ist der in Abbildung 6 unten gezeigte Halter erheblich sinnvoller [6]. Die Skizze in Abbildung 7 zeigt die Einzelschwerpunkte von Halter (blaues Kreuz) und Flasche (rotes Kreuz). Da der Gesamtschwerpunkt S_G (grünes Kreuz) unterhalb des Mittelpunkts M der äußeren Kreisrundung des Halters liegt, ergibt sich bei einer Veränderung der Neigung des Systems, beispielsweise durch Anstoßen, ein rücktreibendes, stabilisierendes Drehmoment. Außerdem stellt sich das System bei Flaschen unterschiedlicher Masse durch eine entsprechende Drehung des Halters automatisch auf das jeweilige Gleichgewicht ein.

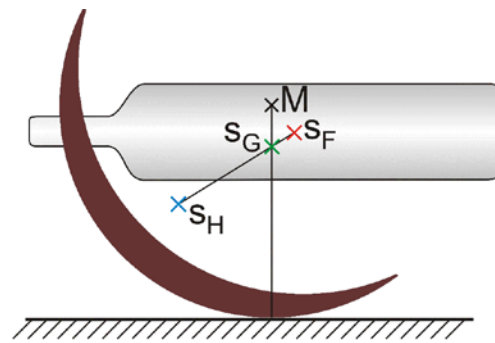


Abb.7: Flaschenhalter für Wein.
 M ist der Mittelpunkt der äußeren Kreisrundung; S_F ist der Schwerpunkt der Flasche, S_H der Schwerpunkt des Flaschenhalters und S_G der Gesamtschwerpunkt von Halter und Flasche.

Es ist interessant zu sehen, dass beim Surfen im Internet überwiegend die obere, weniger praktische Form in allen möglichen Variationen mit Holz, Metall oder Plastik auftaucht

Zusammenfassung:

Bei einigen Designer-Haushaltsgegenständen hat das Spiel mit dem Schwerpunkt große Bedeutung. Die Salz- und Pfefferstreuer Ercolino besitzen die Form eines Stehaufmännchens und können deshalb nicht umfallen. Der Streuer Doublette kann nicht wegrollen, weil er die Form eines Zwei-Scheiben-Rollers besitzt. Ein Trinkbecher namens Balance steht in gefülltem Zustand gerade und neigt sich beim Austrinken durch Verschieben des Schwerpunktes zur Seite. Weinflaschen werden scheinbar schwebend gehalten.

Literatur bzw. weblinks:

- [1] www.mepra.it, siehe auch www.silit.de und philippi humpty dumpty streuer
- [2] www.berendsohn.de
- [3] Stewart, A.T.: Two-Circle Roller, American Journal of Physics **34** (1966), 166
- [4] Engelhardt, Chr., Ucke, C.: Zwei-Scheiben-Roller, Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht) **48/5** (1995), 259-263
- [5] www.carl-mertens.com
- [6] www.silkwoodtraders.com

Stichwörter:

Schwerpunkt, Salzstreuer, Stehaufmännchen, Zwei-Scheiben-Roller, Wobbler, Balance-Becher, Flaschenhalter

Die Autoren



Christian Ucke und Hans-Joachim Schlichting sind die Begründer der Kolumne Spielwiese.

Anschriften:

Dr. Christian Ucke, Rofanstr. 14B, 81825 München

e-mail: ucke@mytum.de

Prof. Dr. Hans Joachim Schlichting, Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster

e-mail: schlichting@uni-muenster.de