DPK

Wasserballon und Schlauchmilch

Martin Lieberherr
MNG Rämibühl, 8001 Zürich

Einleitung

Neulich hat mich mein Kleinster durch Geschrei dazu gebracht, ihm Milch aus dem Kühlschrank zu geben. Abgelenkt durch sein Gebrüll ist mir die Milch im Beutel aus der Hand gerutscht und auf den harten Küchenboden geklatscht. Ich konnte mich trotz des Gekrähs noch wundern, dass der Beutel nicht geplatzt ist. Dieser Vorfall hat mich an einen Streich aus der Kindheit erinnert: Ich hatte Wasser in Ballone gefüllt und damit die Katze aus dem dritten Stock unseres Hauses bombardiert. Zum Glück traf ich die Katze nicht. Erst als ich den Ballon platzen gesehen hatte, ist mir aufgegangen, was ich da hätte anrichten können. Die Katze faucht mich wahrscheinlich immer noch aus dem Katzenhimmel an.
Und nach dem "Klatsch" der Schlauchmilch wollte ich natürlich wissen, welchen Druck so ein Milchbeutel während des Aufpralls aushalten muss.

Theorie

Eine untere Grenze für den Druck im Beutel stellt sicher der Staudruck dar. Wird eine Strömung abgebremst, so steigt der Druck um den Staudruck an. Den Staudruck kann man aus dem Strömungsgesetz von Bernoulli oder dem Torricelli'schen Ausflussgesetz ablesen.

$$\Delta p = \tfrac{1}{2}\rho v^2 = \tfrac{1}{2}\rho\left(\sqrt{2gh}\right)^2 = \rho g h \approx 0.1 \text{ bar}$$

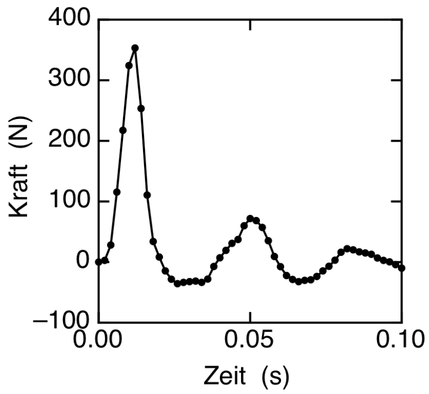
In einem Beutel ist die Bewegung der Milch eingeschränkt, in einer Dose wäre sie fast ganz unterbunden. Eine Dose verhält sich entsprechend (fast) wie ein starrer Körper, wo wegen der kurzen Abbremszeiten kurzzeitig riesige Kräfte und Drücke auftreten. Ich erwartete einen etwas höheren Druck als 0.1 bar, aber wie viel höher?

Experiment

Ich füllte einen Gummiballon mit Wasser und liess ihn auf eine Kraftmessplatte (Vernier) fallen. Auf die Kraftmessplatte hatte ich eine grosse Glasschale gestellt, um das Wasser aufzufangen, falls der Ballon geplatzt wäre. Das mit LoggerPro (Vernier) aufgezeichnete Signal ist in Abb. 1 dargestellt.
Wie man sieht, treten beim Fall aus einem Meter Höhe Kräfte auf, die fast dem hundertfachen Gewicht des Wasserballons entsprechen. Der Wasserballon hatte einen Durchmesser von ca. 0.1 m und belastete während des Aufpralls die Kraftmessplatte auf einer rundlichen Fläche von 0.1 bis 0.15 m Durchmesser. Daraus kann man einen Druck zwischen 0.2 und 0.5 bar abschätzen. Aber ich wollte es noch etwas genauer wissen. Dazu musste ich eine kleine Fläche definieren, auf der die Kraft gemessen wird. Ich nahm einen Aluminiumzylinder und stellte ihn durch ein

Loch in einem Holzbrett auf die Kraftmessplatte. Das Holzbrett, das ungefähr bündig mit dem Deckel des Zylinders war, wurde neben der Kraftmessplatte mit Holzklötzen abgestützt (Abb. 2).

Abb. 1: Kraft auf die Kraftmessplatte als Funktion der Zeit während des Aufpralls eines Wasserballons (0.48 kg) nach freiem Fall aus 1.0 m Höhe. Der eigentliche Aufprall (erste Spitze) dauert 0.020 s. Die Fläche unter der ersten Spitze beträgt 2.89 Ns. Die Fläche unter der Kurve von 0.000 s bis 0.040 s (zweiter Nulldurchgang) beträgt 2.4 Ns.

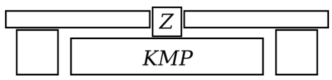


Die Messung mit der Apparatur von Abb. 2 ergab Kraftspitzen von 60 N, wenn der Wasserballon (0.48 kg) aus 1.0 m Höhe drauf fiel. Dies ergibt einen Druck von

$$p = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 60\ \text{N}}{\pi \cdot (0.039\ \text{m})^2} = 0.50\ \text{bar}$$

Der Milchbeutel ist weniger elastisch als ein Gummiballon. Die Drücke sind also noch etwas höher. Lebensmittel soll man ja nicht verschwenden, deshalb habe ich ein analoges Experiment bleiben lassen.

Abb. 2: Um den Druck zu bestimmen, stellte ich einen Zylinder Z mit Durchmesser 39 mm auf die Kraftmessplatte KMP. Der Zylinder stand in einer Bohrung in einem starken Sperrholzbrett, das seitlich abgestützt war.



Da ich schon mal die Daten zu Abbildung 1 hatte, liess ich vom Datenanalyse- und Darstellungsprogramm (pro Fit von QuantumSoft, quansoft.com) die Fläche unter der $F(t)$-Kurve berechen. Unter der ersten Spitze beträgt sie 2.89 Ns. Der Impuls des Ballons vor dem Aufprall ist

$$mv = m\sqrt{2gh} = 0.48\ \text{kg} \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81\ \text{m/s}^2 \cdot 1.0\ \text{m}} = 2.1\ \text{Ns}$$

Bei einem vollkommen unelastischen Stoss müsste die Impulsänderung (Kraftstoss) 2.1 Ns betragen, bei einem vollkommen elastischen Stoss das Doppelte. Der Messwert liegt dazwischen, näher beim unelastischen Fall. Das passt auch zur Beobachtung: Der Wasserballon springt fast nicht mehr hoch.