

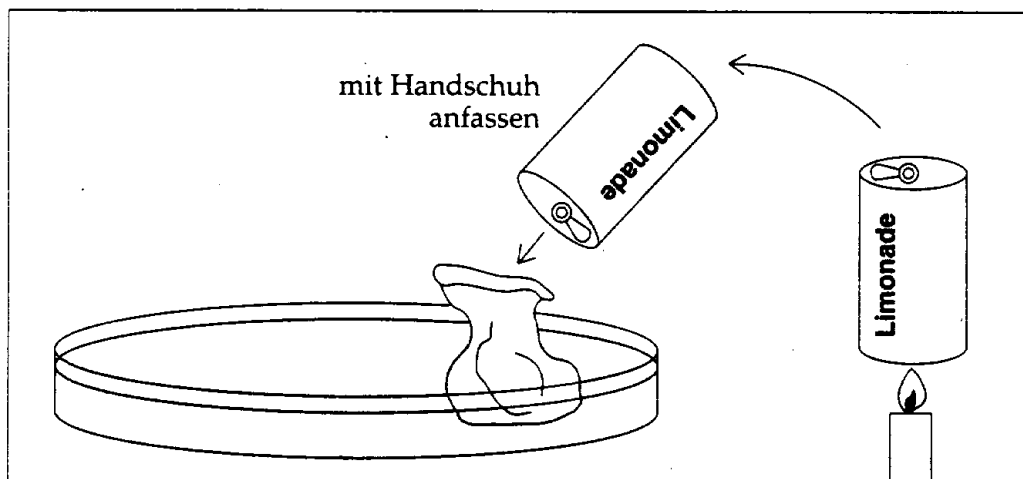
Implodierende Getränkedose

H. Joachim Schlichting

Das Phänomen

Wie kann man eine entleerte Getränkedose ohne Gewaltanwendung zermalmen? Eine Möglichkeit besteht darin, daß sich ein Schüler mit einem Fuß auf die (aufrecht stehende Dose) stellt. (Er darf sich dabei z.B. an der Wand abstützen. Die Dose erweist sich normalerweise als so stabil, daß sie unter dieser Belastung ganz bleibt. Es genügt aber, wenn ein zweiter Schüler z.B. mit einem Lineal leicht gegen die seitliche Wandung der Dose drückt und dadurch eine kleine Einbeulung hervorruft. Es kommt augenblicklich zur Katastrophe: Die Dose wird unter dem Gewicht des Schülers "förmlich" plattgedrückt (siehe [1]).

Obwohl die Zermalmung nur durch eine kleine Einwirkung ausgelöst wird, möchte man diesen Versuch nicht so recht als Antwort auf die obige Frage gelten lassen. Irgendwie erscheint der Unterschied zu einem profanen Zertreten der Dose nicht groß genug.



Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine geringe Menge Wasser in die Dose zu geben, es z.B. über einer Gasflamme zum Sieden zu bringen und abzuwarten bis der Wasserdampf aus der Dosenöffnung herausquillt. Wenn man die Dose dann schnell mit der Öffnung nach unten in eine Schale mit Wasser stülpt, bricht sie mit einer Art Knall in sich zusammen: sie implodiert.

Dieser Freihandversuch erinnert an mindestens zwei andere Versuche:

Erstens an den Versuch mit dem zerbeulten Kanister. Dieser besteht darin, daß ein Blechkanister zunächst erwärmt, sodann mit dem Schraubverschluß dicht gemacht und schließlich mit kaltem Wasser übergossen wird. Der Kanister bricht darauf unter blechernem Geräusch in sich zusammen. Besonders stark ist der Zusammenbruch, wenn man ähnlich verfährt wie bei der Getränkedose und im Kanister Wasser zum Sieden bringt.

Zweitens an den Versuch der "Befreiung einer Münze" (siehe z.B. [2]). In diesem Fall wird (z.B.) ein Erlenmeyerkolben erwärmt und dann wie die obige Getränkedose mit der schmalen Öffnung in eine flache Schale mit Wasser gestülpt, das gerade eine Münze bedeckt. Daraufhin steigt Wasser im Glaskolben

auf und legt die Münze in der Schale frei. Auch zu diesem Versuch gibt es effektvolle Varianten. Eine besteht darin, statt der Erwärmung des Kolbens ein brennendes Stück Papier hineinzuworfen und nach Erlöschen der Flamme das Gefäß ins Wasser zu stülpen. In einer anderen Variante wird wie bei der Getränkedose ein wenig Wasser zum Verdampfen gebracht. In diesem Fall steigt besonders viel Wasser im Glasgefäß auf. Natürlich kann man auch hier den Effekt verstärken, wenn man das Glas z.B. durch kaltes Wasser zusätzlich kühlt.

Erklärung

Volumen- und Druckänderung

Gemeinsam ist allen diesen Versuchen die Erwärmung des Gefäßes, der Luft oder des Wassers im Gefäß. Ausgenutzt werden ebenfalls in allen Fällen Volumen- oder Druckänderungen der in den Gefäßen enthaltenen Luft aufgrund der durch gezielte Erwärmung und Abkühlung herbeigeführten Temperaturänderungen. Im Falle der direkten oder indirekten Erwärmung der Luft dehnt sich diese aus und verläßt ihrem größeren Volumen entsprechend teilweise das Gefäß. Wenn es dann anschließend wieder zu einer allmählichen oder durch eine zusätzliche Kühlung beschleunigten Abkühlung der Luft im Gefäß kommt, "drängt es" die aufgrund der Erwärmung vertriebene Luft, wieder ins Gefäß zurückzuströmen.

Die Schwere der äußeren Luft

Dies wird jedoch dadurch behindert, daß zwischenzeitlich der Ausweg - im Falle des Blechkanisters durch einen Deckel und in allen anderen Fällen durch eine Wasserschicht- versperrt worden ist. Daher wird innerhalb des Gefäßes der Druck niedriger als außen. Ein Druckausgleich kann nur dadurch realisiert werden, daß im Falle des nur durch die Wasserschicht abgeschlossenen Gefäßes Wasser ins Gefäß hineingedrückt wird. Im Falle des fest verschlossenen Blechkanisters übt der äußere Luftdruck eine so starke Kraft auf die Wandungen des Kanisters aus, daß diese unter Verringerung des Kanistervolumens verformt werden.

Druckerniedrigung durch Kondensation

Wird in den Gefäßen die Erwärmung sogar soweit getrieben, daß es zum Verdampfen von Wasser kommt, dann wird nicht nur ein der Ausdehnung der Luft entsprechender Teil der Luft ausgetrieben, sondern die Luft insgesamt aus dem Gefäß verdrängt und durch den entstehenden Wasserdampf ersetzt. In diesem Fall führt die anschließende Abkühlung dazu, daß sich Wasserdampf an den kühlen Gefäßwänden niederschlägt, bzw. kondensiert. Die mit diesem Übergang von der gasförmigen in die flüssige Phase bedingte praktisch augenblicklich stattfindende Volumenverringern hat einen ebenso plötzlichen wie drastischen Druckabfall im Gefäß zur Folge, der um einiges größer ist als bei der Abkühlung erwärmter Luft. Daher kann der äußere Luftdruck in katastrophaler Weise "spürbar" werden. Dementsprechend stark fällt die Wasseraufnahme bzw. Zermalmung des Gefäßes aus.

Die implodierende Getränkedose scheint rein phänomenologisch eine Art Kombination der beiden Versuche zu sein. Einerseits wird die Dose wie der Erlenmeyerkolben nur mit Wasser "verschlossen", andererseits wird sie ganz

ähnlich wie der Blechkanister durch den äußeren Luftdruck zermalmt. Es stellt sich die Frage, wieso das Wasser, das die äußere Luft während der Abkühlung daran hindert, in die Dose einzudringen, nicht genauso in der Dose aufsteigt wie im Falle des Erlenmeyerkolbens. Dies ist bei einer bloßen Erwärmung der Luft in der Dose auf eine der oben geschilderten Weisen auch tatsächlich zu beobachten. Wenn sich jedoch in der Dose vor allem Wasserdampf befindet, dann kommt ein weiteres physikalisches Prinzip ins Spiel: Stülpt man die Wasserdampf gefüllte Dose ins kalte Wasserbad so wird sie dadurch gewissermaßen "abgeschreckt". Unterstützt durch die gute Wärmeleitung des Aluminiums kommt es zu einer schnellen Abkühlung des Bodens und eines Teils der seitlichen Wandungen der Dose. Dort schlägt sich dann ein Teil des in der Dose befindlichen Wasserdampfes nieder und kondensiert.

Die Rolle der Trägheit

Im Unterschied zum Erlenmeyerkolben kommt es aber nicht zu einem nur erhöhten Wasseranstieg in der Dose, sondern wie beim Blechkanister zu einem kartenhausähnlichen Zusammensturz. Ursache dafür ist die Plötzlichkeit, mit der der Druckabfall im Gefäß eintritt. Bevor das Wasser "merkt", daß es vom übermächtig gewordenen äußeren Luftdruck durch die enge Gefäßöffnung "geschoben" wird, geben die relativ dünnen Wände der Dose nach: Die Trägheit des Wassers verhindert eine genügend schnelle Reaktion und wirkt demnach wie der feste Verschluss im Falle des Blechkanisters. Zwar besitzen auch die Dosenwände eine gewisse Trägheit. Diese ist aber im Vergleich zum Wasser sehr klein.

Anmerkungen zur Methodik

Die implodierende Getränkedose ist weniger aufwendig als der klassische Blechkanisterversuch. Im Unterschied zum Blechkanister verursacht die Dose keine Kosten und produziert keinen zusätzlichen Abfall. Der Knalleffekt und die damit verbundene Motivation der Schüler dürfte aber vergleichbar sein:

Ein physikalischer Versuch, der knallt, ist allemal mehr wert als ein stiller, man kann also den Himmel nicht genug bitten, daß wenn er einen etwas will erfinden lassen, es etwas sein möge, das knallt; es schallt in die Ewigkeit (G.Chr. Lichtenberg: Sudelbücher).

Entsprechend der physikalischen Mehrschichtigkeit dieses Freihandversuchs kann er an verschiedenen Stellen im Physikunterricht eingesetzt werden.

Besonders geeignet erscheint der Versuch zur Demonstration der Kondensation von Wasserdampf. Dabei kann insbesondere die Aufmerksamkeit auf den Aspekt des sogenannten Phasenübergangs gerichtet werden: Eine relativ unauffällige Einwirkung: die Abkühlung eines Teils der Dose, hat eine drastische Auswirkung: die plötzliche starke Volumenverminderung des kondensierenden Wassers zur Folge. Außerdem zeigen sich in der zerstörenden Wirkung des Versuchs die verhältnismäßig großen Kräfte, die die uns umgebende Luft auszuüben vermag. Die häufig als künstlich empfundene Deutung von Unterdruckphänomenen als Wirkung des äußeren Luftdrucks wird hier konkret nachvollziehbar. Die

zermalmte Dose bringt das augenscheinlich zum Ausdruck. Aber auch im Zusammenhang mit der Diskussion von Trägheitseffekten (vgl.[3]) kann dieser Freihandversuch insbesondere dazu dienen, die Trägheit von flüssigen Körpern zu demonstrieren. Meiner Erfahrung nach bringen Schüler Trägheit häufig mit den Eigenschaften fester Körper, fest und hart zu sein, in Verbindung. Hier erfahren sie, daß auch eine Flüssigkeit ähnlich "hart" wie ein Deckel sein kann.

Um die unterschiedliche Volumenverringerng durch Abkühlung und Kondensation zu zeigen, kann es hilfreich sein, als Variante die erwärmte Dose wie oben beschrieben zur Befreiung einer Münze zu benutzen. In diesem Fall sieht man, daß die Dose anstatt zusammengedrückt zu werden, Wasser aufnimmt. Einer allmählichen Abkühlung und der damit verbundenen Volumenverringerng vermag das Wasser zu folgen, einer plötzlichen Volumenverringerng wie bei der Kondensation hingegen nicht.

Bevor die zermalmte Dose weggeworfen wird, kann sie uns noch einmal nützlich sein. Die Wassermenge, die in das gefüllt werden kann, was von der Dose übriggeblieben ist, stellt ein direktes Maß des verbliebenen Dosenvolumens dar. Setzt man das Volumen der zermalmten zum Volumen der intakten Dose ins Verhältnis, dann kann man so etwas wie den Wirkungsgrad mit der die Zermalmung stattfand abschätzen.

Literatur

[1] Schlichting, H.J.: Zu Phasenübergängen. Physik und Didaktik 16/2, 163 (1988)

[2] Schlichting, H.J.: Wenn Luft Druck macht... Freihandversuche zum Thema: Luftdruck. Naturwissenschaften im Unterricht/ Physik 1/5, 39 (1990)

[3] Schlichting, H.J.: Die List der Trägheit (in diesem Heft) □