

Spielwiese

Ein Hammer aus Wasser

H. JOACHIM SCHLICHTING | CHRISTIAN UCKE

Schnell bewegtes Wasser kann harte Geräusche erzeugen, die man einer Flüssigkeit nicht unbedingt zutrauen würde. Mit einem als Wasserhammer bekannten Kunstobjekt und einem einfachen Freihandexperiment kann man dem Phänomen auf den Grund gehen.

Wenn die Heizung wieder mal lärmt oder der Teekessel die Erwärmung des Wassers akustisch untermalt, haben wir es mit Effekten zu tun, deren physikalische Ursache sich nicht so ohne Weiteres erschließt. Eine interessante Verbindung zu diesen Vorgängen schafft das Kunstobjekt mit dem Namen Wasserhammer (Abbildung 1 links) [1].



Abb. 1 Links: Wasserhammer als Designobjekt. Rechts: Einfacher Nachbau des Wasserhammers.

Im Wesentlichen handelt es sich um eine verschlossene Glasröhre, die etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist. Auf den ersten Blick erinnert der Behälter an alles Mögliche, bloß nicht an einen Hammer. Das ändert sich aber, sobald man ihn in Aktion erlebt. Dazu hält man das Glas senkrecht und bewegt es nun mit einem kleinen Ruck kurz nach oben und gleich wieder nach unten. Dabei löst sich die Wassersäule durch Trägheit vom Boden und fällt gleich wieder zurück. Beim Zurückfallen des Wassers erklingt ein leicht klirrendes Geräusch, so als würde man mit einem harten Gegenstand, wie einem kleinen Hammer, gegen das Glas stoßen. Dem entspricht auch die Wahrnehmung des Aufpralls, der in seiner Heftigkeit so gar nicht an eine Flüssigkeit erinnert. Wie kommt es zu diesem merkwürdigen Effekt?

Auffallend an dem Knalleffekt ist die Tatsache, dass die herunterfallende Wassersäule nicht, wie man es normalerweise gewohnt ist, durch eine Luftschicht abgepolstert wird. Offenbar fehlt hier die Luft. In dem luftfreien Raum über dem Wasser befindet sich Wasserdampf, der im stationären Gleichgewicht mit dem flüssigen Wasser darunter ist. Wenn man nun die Wassersäule so nach oben bewegt, dass kein Wasserdampf von oberhalb der Säule zum Ausgleich nach unten strömen kann, entsteht unter der Wassersäule ein starker Unterdruck. Der Druckabfall ist so groß, dass das Wasser nahezu instantan verdampft, denn je niedriger der Druck, desto niedriger der Siedepunkt. Unterschreitet der Druck einen Wert von 23,37 hPa, so verdampft das Wasser bereits bei einer Temperatur von 20 °C.

Wenn die Wassersäule dann zurückfällt, vollzieht sich in etwa der umgekehrte Vorgang: Der Wasserdampf kondensiert wieder zu Wasser und die gerade entstandene Dampfblase implodiert. Aufgrund der dabei auftretenden sehr hohen Druckänderungen knallt das Wasser ungebremst gegen das Glas, was zu dem charakteristischen Geräusch führt.

Mit einem einfachen Freihandexperiment kann man dem vermuteten Ursprung des hämmernden Wassers nachspüren (Abbildung 1 rechts). Dazu füllt man in ein Reagenzglas etwas Wasser und bringt es zum Beispiel mit einem Campinggasbrenner zum Sieden. Man lässt es etwa 15 Sekunden lang sieden, bis man den Eindruck hat, dass sich keine Luft mehr oberhalb des Wassers befindet. Nun nimmt man den Brenner weg und verstößt das Reagenzglas luftdicht.

Während das Wasser abkühlt, kann man ein weiteres eindrucksvolles Phänomen erleben. Solange das Wasser noch heiß ist, genügen kleine Erschütterungen, um ein oft

explosionsartig verlaufendes Sieden hervorzurufen. Wenn die Temperatur sinkt, erreicht man Dasselbe durch eine lokale Abkühlung des dampfgefüllten Teils des Reagenzglases. Dazu genügt es, das Glas zum Beispiel mit feuchten Fingern oder einem feuchten Tuch zu berühren. Bei der Verdunstung der Feuchtigkeit wird dem Glas lokal Wärme entzogen. Diese Abkühlung führt dazu, dass im Glas ein Teil des Dampfes kondensiert, was eine drastische Volumenabnahme des Wasserdampfes im Innern zur Folge hat. Da das Gefäß hermetisch verschlossen ist, fällt der Druck so stark ab, dass das Wasser erneut zu sieden beginnt.

Dabei entstehen manchmal große Blasen im unteren Teil des Wassers, die dieses plötzlich hochschleudern. Beim Rückfall des Wassers vernimmt man das knallende Geräusch, das man – wie oben beschrieben – auch mechanisch hervorrufen kann. Ist das Wasser weit genug abgekühlt, kann man mit diesem Freihand-Wasserhammer wie beim kommerziellen Vorbild durch ruckweises Auf- und Abbewegen die harten Hammergeräusche entlocken – wenn auch nicht bei jedem Versuch und nicht ganz so laut.

Dieses Phänomen des „kalten Siedens“ durch lokales Abkühlen der Wasserdampfatmosfera lässt sich einfach wiederholen. Dazu genügt es, den Wasserhammer leicht zu erwärmen, denn wie gesagt funktioniert das kalte Sieden auch weit unterhalb der Siedetemperatur. Eine solche Reaktivierung gelingt so lange, wie das Glas luftdicht verschlossen bleibt. Der gezeigte Prototyp funktionierte auch noch ein halbes Jahr nach seiner Herstellung so gut wie beim ersten Mal.

Kavitation im Alltag

Das Phänomen des Wasserhammers kann auch als Elementarereignis dessen angesehen werden, was in einer Heizungsanlage passiert, wenn diese zu hämmern anfängt. Durch plötzliche Beschleunigungen des luftfreien Wassers (beim Öffnen oder Schließen eines Ventils oder beim Passieren von Rohrverengungen) treten drastische Druckänderungen auf (Bernoulli-Prinzip). Sie haben wie gerade beschrieben abwechselnde Siede- und Kondensationsvorgänge mit den bekannten akustischen Untermalungen zur Folge. Diese oft in schneller Folge auftretenden Geräusche werden durch das Leitungssystem, das als Schalleiter gute Dienste tut, sehr effektiv in alle Räume geleitet, die an der Heizungsanlage angeschlossen sind. Dieses als Kavitation bezeichnete Phänomen tritt beispielsweise auch bei Pumpen, Wasserturbinen und Schiffsschrauben auf. Es kann die Geräte beschädigen oder gar zerstören. Es gibt aber auch eine Reihe nützlicher Anwendungen der Kavitation, etwa zum Reinigen. Dabei wird in Flüssigkeitsbädern mit Hilfe von Ultraschall Kavitation erzeugt, die Oberflächenschmutz beispielsweise auf Brillengläsern und Schmuck entfernt.

Schließlich sei noch einmal auf die charakteristischen Geräusche beim Erwärmen von Wasser in einem Topf oder Kessel verwiesen, die ebenfalls durch Kavitation zustande kommen. Lange bevor das in einem Kessel erhitzte Wasser insgesamt siedet, entstehen bereits am heißen Boden

Dampfblasen. Beim Aufsteigen zur Wasseroberfläche müssen sie die kühlere Wasserschicht durchqueren. Dabei kondensieren und implodieren sie und machen sich entsprechend akustisch bemerkbar. Jedes Gefäß hat sein eigenes Kochgeräusch, weil nur die zu den Abmessungen des Gefäßes passenden Frequenzen der entstehenden Töne durch Resonanz verstärkt werden. Das Geräusch verschwindet beim Sieden, weil dann das gesamte Wasser Siedetemperatur angenommen hat und die Dampfblasen die Oberfläche erreichen. Von da an hört man nur noch das Plätschern des bewegten Wassers [2].

Der Wasserhammer ist übrigens nicht neu. Eine Beschreibung und Bauanleitung findet man bereits in dem berühmten Physikalischen Wörterbuch von Gehler aus dem Jahre 1791. Dort wurde auch die Siedepunktniedrigung durch Druckminderung beschrieben: „Ausserdem kan man am Wasserhammer zeigen, daß das Wasser bey weggenommenem Drucke der Luft in sehr geringer Wärme kocht. Wenn er recht luftleer ist, so muß schon eine warme Hand sein Wasser zum Kochen bringen“ [3].

Zusammenfassung

Ein luftdicht verschlossener, etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllter Glaszylinder gibt ein erstaunlich hartes Geräusch von sich, wenn man ihn ruckartig auf und ab bewegt. Ursache hierfür ist ein schlagartig aufeinander folgendes Sieden und Kondensieren von Wasserdampf unter der Flüssigkeitssäule. Die in diesem Wasserhammer ablaufenden Vorgänge sind ebenso für das Hämmern einer Heizungsanlage wie für das Rauschen von siedendem Wasser verantwortlich.

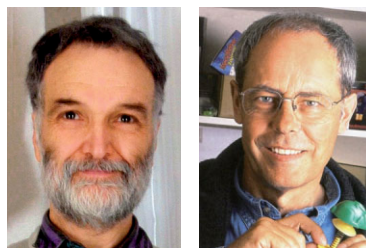
Stichwörter

Wasserhammer, Siedepunkt, Kavitation.

Literatur

- [1] www.hg-neumann.de/Produkte/produkte.html
- [2] H. J. Schlichting, Physik in der Schule **1995**, 33, 23.
- [3] J. S. T. Gehler, Physicalisches Wörterbuch, vierter Teil, Leipzig 1791, S. 656.

Die Autoren



Hans Joachim Schlichting (links) und Christian Ucke sind die Begründer der Rubrik Spielwiese.

Anschriften

Prof. Dr. Hans Joachim Schlichting, Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster. Schlichting@uni-muenster.de
Dr. Christian Ucke, Rofanstraße 14B, 81825 München. Ucke@mytum.de