

Physik zum Knacken

CHRISTIAN UCKE | HANS-JOACHIM SCHLICHTING

Nussknacker sind ein Spielfeld von Erfindern, Technikern und Designern, manche ästhetisch ansprechenden Geräte knacken nicht gut. Manche technisch sehr einfachen und wirkungsvollen Konstruktionen überzeugen ästhetisch nicht. Seit Jahrhunderten bemühen sich Erfinder und Designer um eine Balance.

Die Primitivmethode unserer Vorfahren zum Knacken von Nüssen bestand vermutlich darin, einen schweren Stein auf eine Nuss fallen zu lassen oder damit auf die Nuss zu hauen. So wirkungsvoll die Methode der Ausnutzung von kinetischer Energie auch war, so hatte sie doch den Nachteil, dass sich die Kräfte nicht sehr gut dosieren ließen. Das Ergebnis mündete häufig genug in eine nur mühsam konsumierbare Mischung aus zersprungenen Schalentteilen und zerquetschtem Inhalt.

Unsere zivilisierte Welt hat den Beruf des Designers hervorgebracht. So ist die steinzeitliche Methode jetzt ästhetisch vervollkommenet. Das Endergebnis der geknackten Nuss überzeugt aber noch immer nicht ganz. Bei dem Modell Steinschlag [1] zertrümmert eine glatt polierte Granitkugel im günstigsten Fall nur die Schale. Das Gerät ist auch unter der eingängigen Bezeichnung Schwerkraft-Nussknacker bekannt und in einer High-Tech-Ausführung mit einer Edelstahlkugel versehen (Abbildung 1).

Dieses Modell zusammen mit einigen Messungen lässt Abschätzungen über wirksame Energien und Kräfte beim Nussknacken zu. Beispielhaft behandeln wir hier Walnüsse. Zunächst bringt die Kugel mit einer Masse von 420 g beim freien Fall über 20 cm Höhe maximal eine Energie von $E_1 = mgh = 0,84 \text{ J}$ zustande. Damit werden so gut wie alle Nüsse geknackt. Es ist damit auf jeden Fall eine obere Grenze für den Knackpunkt gegeben.

Als nächstes kann man Walnüsse zwischen die Backen eines Schraubstockes klemmen und messen, wie stark Nüsse zusammengedrückt werden können, bis sie knacken. Es ergibt sich im

Mittel eine Strecke von 1,4 mm mit starken Variationen zwischen 1 mm bis 2,5 mm (bei zehn Nüssen). Das hängt vermutlich vom Alter der Nuss, von der Art (Herkunft) und auch von dem Angriffspunkt der Kraft ab, nämlich auf den verdickten Rändern oder auf der dünneren Schale. Die Nüsse wurden so eingespannt, dass der Wulst der Nüsse parallel zu den Schraubstockbacken lag. Knackt man Nüsse mit den Wülsten an den Schraubstockbacken anliegend, braucht man übrigens erheblich weniger Kraft. Das als kleiner Tipp für die weihnachtliche Zeit.

Experimentell lassen sich Walnüsse mit einer rohen Kraftereinwirkung von etwa 300 N knacken. Das kann man mit einer einfachen Personenwaage testen. Die Variationsbreite der Kräfte ist auch hier erheblich. Manche Nüsse geben schon bei 100 N nach, andere halten bis 500 N stand. Im Durchschnitt hat eine Walnuss eine Masse von etwa 11 g. Als Physiker kann man mit diesen Werten einige Rechnungen anstellen, wobei es sich wirklich nur um sehr grobe Überschlagsrechnungen handelt.

Wir gehen davon aus, dass sich die Nuss bis zum Knackpunkt elastisch verhält. Zwischen einer Kraftereinwirkung von 0 bis 300 N werde ein linearer Zusammenhang angenommen, das heißt $F(s) = 300 \cdot s/s_0$ mit $s_0 = 1,4 \text{ mm} = 0,0014 \text{ m}$. Somit muss bis zum Knackpunkt eine Arbeit von $E_2 = 0,5 \cdot 300 \text{ N} \cdot 0,0014 \text{ m} = 0,21 \text{ J}$ aufgebracht werden. Das ist erheblich weniger als der obige Wert von 0,84 J, der ja auch eine Obergrenze darstellt.

Die etwas akademisch anmutende Frage, aus welcher Höhe man eine Nuss auf einen (stein-) harten Boden fallen lassen müsste, so dass sie zerschellt, lässt sich ebenfalls abschätzen. Bei einem Fall aus der Höhe h ergibt sich eine Energie $E = m \cdot g \cdot h$. Daraus errechnet sich eine Höhe von $h = E_2/m \cdot g = 0,21 \text{ J} / (0,011 \text{ kg} \cdot 10 \text{ ms}^{-2}) = 1,9 \text{ m}$ mit der Erdbeschleunigung g . Der Luftwiderstand kann auf dieser kurzen Strecke vernachlässigt werden. Experimente ergaben eine grobe Bestätigung dieses Wertes.

Andere Nussknacker nutzen andere physikalische Prinzipien. Am häufigsten ist das Hebelprinzip im Spiel. Die ent-

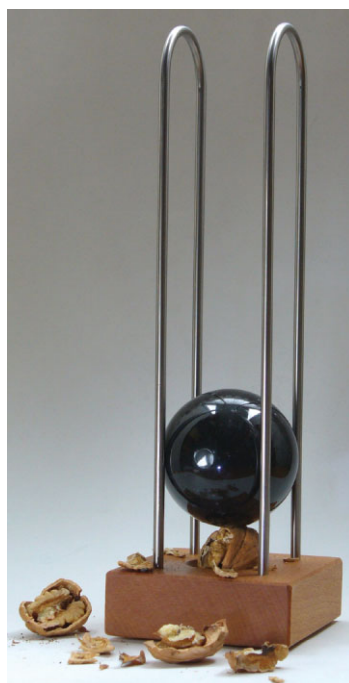


Abb. 1 Die klassische Nussknackmethode führt zwar meist zum Ziel, lässt sich aber kaum dosieren.

wickelten und patentierten Formen sind Legion. Der emnente Vorteil dieses Prinzips ist bei entsprechender Konstruktion die feinfühlig dosierbare Kraft. Damit kann das Zerquetschen des Nussinneren erheblich vermindert werden. Die einfachen Modelle sind so weit verbreitet und einfach zu durchschauen, dass wir darauf hier nicht eingehen.

Eine interessante und komplizierte Variante des Hebelprinzips stellt der seit dem Jahre 2003 auf dem Markt befindliche Nussknacker Twister dar (Abbildung 2) [2]. Zwischen zwei mit Öffnungen versehenen Scheiben befinden sich drei Stäbe, die an ihren Enden in den Scheiben mit freibeweglichen Lagern eingelassen sind. Die Scheiben sind gegeneinander verdrehbar. Befindet sich eine Nuss zwischen den Stäben, wird sie beim Drehen mehr und mehr eingeklemmt und kann so letztlich gefühlvoll geknackt werden. Aufgrund der Konstruktion können nur Nüsse bis zu einem Durchmesser von etwa 35 mm bearbeitet werden, da größere Exemplare nicht zwischen die Stäbe passen. Harte Nüsse mit einem Durchmesser von weniger als etwa 22 mm sind kaum zu knacken, da sie nur mit einem ungünstigen Hebelarm bearbeitbar sind.

Beim Verschenken dieses Nussknackers empfiehlt es sich deshalb, ihn mit ausgesuchten Nüssen mittlerer bis geringer Härte mit Durchmessern zwischen etwa 25 bis 32 mm in einer Gesamtverpackung zu versehen. Unabhängig von seiner Funktion als Nussknacker ist der Twister ein wunderbarer Handschmeichler, mit dem man auch ohne Nüsse gerne spielt.

Mathematisch gesehen ergeben die Stäbe beim Verdrehen der beiden Scheiben des Twisters ein Hyperboloid, eine der einfachsten mathematischen Flächen, die in vielen Bereichen der Technik bis hin zur Architektur von Kühltürmen bei großen Kraftwerken eine Rolle spielt. Da beim Twister nur drei Verbindungslinien vorhanden sind, ist der hyperbolische Eindruck nicht sehr markant.

Abbildung 3 zeigt eine schematische Aufsicht des Twisters, in dem die Stäbe perspektivisch stark verkürzt erscheinen. Eine Nuss mit 30 mm Durchmesser befindet sich zwischen den Stäben über dem Loch der kleineren Scheibe. Die große Scheibe sei gegenüber der kleinen um etwa 30° verdreht.

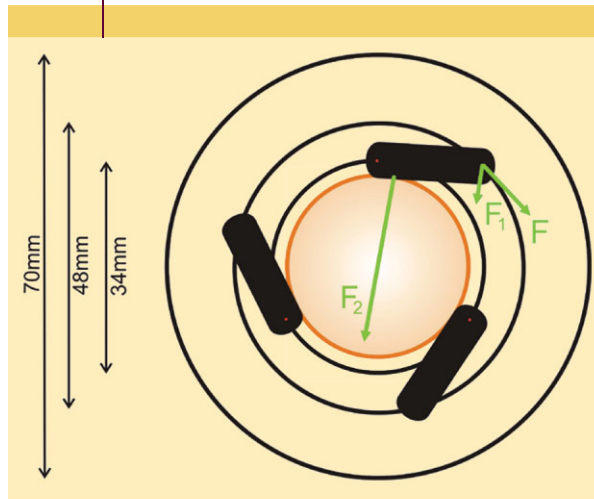
Beim Verdrehen der Scheiben gegeneinander kann man mit den Händen ein Drehmoment bis zu 5 Nm erzeugen, wie sich mit einem geeigneten Drehmomentschlüssel ermitteln lässt. Bereits zum bloßen Verdrehen der Scheiben gegeneinander ist ein Drehmoment von etwa 0,5 Nm zu überwinden, da die Kugelendteile der Edelstahlstäbe ziemlich fest in Plastiklager eingelassen sind. Unter Lasteinwirkung wird sich die Reibung noch vergrößern, so dass ein wirksames Drehmoment von 4 Nm geschätzt wird.

Die in Abbildung 3 mit F bezeichnete Kraft ergibt sich aus dem Radius von $r = 0,024$ m und dem Drehmoment $M = 4$ Nm zu etwa $F = M/r \approx 170$ N. F greift tangential an der Scheibe an. Wirksam ist jedoch nur die Komponente F_1 parallel zur Richtung des Berührungspunktes des Stabes mit der Nuss zum Nussmittelpunkt (F_2). Der Winkel zwischen



Abb. 2 Der Nussknacker Twister, links in neutralem Zustand, in der Mitte mit Walnuss, rechts maximal verdreht.

ABB. 3 KRÄFTE IM TWISTER



◀ Der Nussknacker Twister in einer Aufsicht. Die Nuss befindet sich zwischen den Stäben.

F und F_1 variiert je nach Verdrehung der Scheiben gegeneinander. Wir schätzen den Winkel hier zu etwa 60°, womit sich für $F_1 = F \cdot \cos 60^\circ = 85$ N ergibt. (Die Pfeile in Abbildung 3 illustrieren nur grob die Richtung der auf die Nuss ausgeübten Kräfte. Die rückwirkende elastische Kraft der Nuss und andere Kräfte wurden der Übersicht halber weggelassen.) Der Hebelarm zwischen F_1 und dem Berührungspunkt des Stabes mit der Nuss beträgt etwa 7 zu 1, so dass sich für $F_2 = 7 \cdot F_1 = 600$ N ergibt. Dem sollten sich auch härtere Walnüsse ergeben.

Erheblich ungünstiger werden die möglichen Kräfte, wenn die Nüsse etwa in die Mitte zwischen beiden Scheiben eingespannt werden, da dann der Hebelarm nur noch 2 zu 1 beträgt. Das ist beispielsweise der Fall für Nüsse mit Durchmessern von weniger als 22 mm oder mehr als 30 mm. Eine ähnliche Betrachtung wie oben ergibt Kräfte von nur noch grob 200 N. Da kann es schon mal passieren, dass



Abb. 4 Der Kugelknacker.

man mit dem Twister nicht mehr zum Knackpunkt kommt. Übrigens zeigt die Anleitung des Nussknackers Twister gerade diesen physikalisch ungünstigen Fall.

Das Prinzip des Twisters ist im Übrigen nicht neu. Schon 1976 ließ sich der Amerikaner Jess Miller sein Modell in den USA patentieren [3]. Ihm folgte 1990 sein Landsmann John W. Hambright mit einem weiteren Patent [3].

Auf dem Prinzip Schraube beruhen ebenfalls viele Nussknacker. Dazu sei das von dem Design-Studenten Christian Marx 1989 entwickelte formschöne Modell seines Kugelknackers [4] hier vorgestellt (Abbildung 4). Hier legt man die Nuss zwischen zwei gegeneinander verdrehbare Kugelhälften, die mit einem durch die Drehung sich verjüngenden Spalt versehen sind. Zusätzlich zu der Kraft, die zum eigentlichen Nussknacken erforderlich ist, kommen hier die zu überwindende Gleitreibung zwischen dem Holz der Kugel und der Nuss sowie die im Drehgelenk unter Belastung auftretende Reibung hinzu.

Auch auf einem Hebelprinzip, aber auf einer gänzlich anderen und eigentlich viel sinnvolleren Vorgehensweise, beruht der Nussknacker Pico [5]. Mit ihm spaltet man die Schalenhälften einer Walnuss (Abbildung 5). Findet man einen Ansatzpunkt, so ist die Chance sehr groß, das Innere der Nuss unversehrt zu erhalten, da die Schalenhälften nicht nach innen, sondern auseinander gedrückt werden. Mit den Seitenteilen dieses edlen Edelmetallinstruments kann man den Inhalt aus den beiden Schalenhälften herausholen.

Zusammenfassung:

Prinzipiell lassen sich drei Möglichkeiten unterscheiden, um Nüsse zu knacken: Brachiale Gewalt zerschmettert die Nuss, die auf Hebel- oder Schraubenwirkung basierenden Geräte erlauben ein besser dosiertes Knacken. Auf Nussknacker lassen sich einfache Überlegungen aus der Physik anwenden, um die wirksamen Kräfte zu ermitteln. Einige weniger bekannte Modelle werden exemplarisch behandelt.

Stichworte

Nussknacker, Twister, Kugelknacker.



Abb. 5 Ein wirklich einfacher Nussknacker (Foto: mono).

Literatur und Internet

- [1] www.take2-design.de
- [2] www.odin.de
- [3] USA-Patente 3.965.810 (Jess Miller) und 4.944.219 (John W. Hambright).
- [4] Dieser Nussknacker ist nicht mehr lieferbar. Eine quantitative Betrachtung der Kräfte bei diesem Nussknacker findet sich in W. Bürger, Der Traum des Seglers bei Flaute, Birkhäuser-Verlag, Basel 1998.
- [5] Modell Pico der Firma mono, www.mono.de

Ausdrücklicher Dank für wertvolle Hilfe geht an die Nussknacker-Zentralkartei von Klaus Peter Rosolleck, Koldeuweystr. 4, 38126 Braunschweig.

Die Autoren



Christian Ucke und Hans-Joachim Schlichting verfassen seit rund zehn Jahren Artikel für die Serie Spielwiese.



Anschriften

*Dr. Christian Ucke, Technische Universität München, FMI, Abt. Physik, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching. ucke@mytum.de.
Prof. Dr. Hans-Joachim Schlichting, Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster. schlichting@uni-muenster.de.*