

Feynmans Rätsel der brechenden Spaghetti

Eine Unterrichtsidee von Matthias Hauck

Das im Folgenden dargestellte Unterrichtsmaterial wurde zur Einbindung des Artikels „Feynmans Rätsel der brechenden Spaghetti“ aus der Zeitschrift „Physik in unserer Zeit“ (Vollmer & Möllmann 2012) entwickelt. Es kann in der Einheit mechanische Wellen in der Kursstufe eingesetzt werden.

Fachgebiet	Physik
Bezug zu	Naturwissenschaft und Technik (NwT)
Thema	mechanische Wellen
Stichwort	Eigenschwingungen, begrenzte Wellenträger, BiegeWellen, Reflexion, am festen oder freien Ende, Hochgeschwindigkeitsvideos, Kraftstoß, Impuls
Klassenstufe	Kursstufe
Zeit	1 Stunde

Hintergrundinformationen

1. Einführung

Viele Vorgänge in der Natur laufen so schnell ab, dass sie für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar sind und daher in der Regel nur indirekt beobachtet werden können. Gerade im Schulunterricht ist dies von großem Nachteil, da eine konkrete Anschauung den Schülerinnen und Schülern meist beim Verständnis physikalischer Vorgänge hilft. Eine Möglichkeit hinter diese, dem Auge verborgenen, Geheimnisse zu kommen, stellen Hochgeschwindigkeitsaufnahmen dar. Allerdings waren entsprechende Kameras bisher meist zu teuer für eine gewöhnliche Schulphysiksammlung, weshalb man auf ihren Einsatz verzichten musste. Mittlerweile gibt es jedoch einige Digitalkameras, die mit sehr hohen Frequenzen Bilder aufnehmen können und dennoch bezahlbar sind. Stellvertretend sei hier die Exilim-Serie von Casio erwähnt.

Als Einstieg für die Physik mit Hochgeschwindigkeitsaufnahmen sind viele Beispiele geeignet. Eine große Fundgrube inklusive Videos bietet die Rubrik „Rasante Physik“ aus „Physik in unserer Zeit“. Für die Kursstufe ist das Beispiel von Feynmans Spaghetti Rätsel gut geeignet. Zum einen basiert die Lösung des Problems auf grundlegenden Inhalten der Sekundarstufe 2 und zum anderen finden die Schülerinnen und Schüler die Person Richard Feynman in der Regel sehr spannend. Darüber hinaus können sie mit Alltagsmaterialien selbstständig experimentieren und den entsprechenden Versuch zu Hause problemlos mehrfach wiederholen. Im Folgenden wird zunächst auf die allgemeinen physikalischen Zusammenhänge, die diesem Problem zugrunde liegen, eingegangen und im Anschluss ein Vorschlag für die Verwendung brechender Spaghetti im Unterricht gemacht.

2. Zur Theorie einer brechenden Spaghetti

Wird eine Spaghetti über ihre Elastizitätsgrenze hinweg gebogen, so zerbricht sie typischerweise nicht einfach in zwei Hälften, sondern in drei bis zehn Stücke. Nachdem die

beiden Physiker Richard Feynman¹ und Pierre-Gilles de Gennes² dieses Problem populär machten, waren es Basile Audoly und Sébastien Neukirch, die 2005 dessen Lösung im Journal „Physical Review Letters“ veröffentlichten. In ihren Versuchen wurden ungekochte Spaghetti bis knapp vor ihre Belastungsgrenze gebogen und losgelassen. Sie verglichen das Verhalten der Spaghetti mit der Dynamik eines elastischen Stabes, basierend auf der analytischen Lösung der Kirchhoff-Gleichung mit der Krümmung κ , der Länge des Stabes L , der Bogenlänge s ($0 \leq s \leq L$), der Zeit t und der materialabhängigen Zeitskala T .

Ihre analytischen Überlegungen untermauerten Audoly und Neukirch mit numerischen Simulationen für verschiedene Spaghettisorten. Nach ihren Ergebnissen kommt es nach einem Bruch zu einer abrupten Relaxation der freien Enden. Dadurch entstehen BiegeWellen, die sich auf der Nudel ausbreiten und an deren Enden reflektiert werden. Somit vergrößert sich lokal die Krümmung der Spaghetti. Die Modellierung zeigt, dass sich die lokalen Biegeradien um mehr als das Dreifache erhöhen, wodurch die Belastungen auf das Material extrem zunehmen. Pasta-Teig kann in seiner Mikrostruktur als inhomogen betrachtet werden. So besitzt er beispielsweise kleine Risse, die unter der Belastung der entstehenden BiegeWellen zu Bruchstellen führen. Die Spaghetti brechen also an den Stellen, an denen ihr struktureller Aufbau am schwächsten ist. Da es hiervon viele gibt, zerbrechen sie kaskadenartig an mehreren Stellen, unabhängig von der Spaghettisorte oder -dicke.

Diese Arbeit brachte den beiden Forschern unter anderem im Jahr 2006 den IgNobel-Preis ein, der besonders skurrile Forschungsarbeiten auszeichnet.

3. Umsetzung des Phänomens im Unterricht

Das ungewöhnliche Verhalten brechender Spaghetti kann in einer Schulstunde zur Wiederholung der Unterrichtseinheit „Stehende Wellen auf begrenzten Wellenträgern“ eingesetzt werden. Es ist für die Schülerinnen und Schüler in der Regel sehr motivierend, da sie spielerisch das zuvor erarbeitete Wissen anwenden können. Gerade die Arbeit mit den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen macht ihnen erfahrungsgemäß großen Spaß. Einen Vorschlag für entsprechende Arbeitsaufträge befindet sich in dem Arbeitsblatt zu diesem Dokument.

Die Lehrperson sollte sich bei der Behandlung des Spaghetti-Problems mit Hilfe des Arbeitsblattes die gesamte Unterrichtsstunde im Hintergrund halten und lediglich Hilfestellungen bei Verständnisproblemen geben. Des Weiteren erscheint es sinnvoll, die Sachverhalte von den Schülerinnen und Schülern zunächst eigenständig erarbeiten zu lassen und erst am Ende der Arbeitsphase den Artikel von Vollmer und Möllmann auszuteilen.

Literatur

V. Vollmer und K.-P. Möllmann (2012). *Feynmans Rätsel der brechenden Spaghetti*. Physik in unserer Zeit, 43: 46–47.

B. Audoly und S. Neukirch (2005). *Fragmentation of rods by cascading cracks: why spaghetti do not break in half*. Physical Review Letters, 95.

¹ Erhielt 1965 den Physik-Nobelpreis für seine Arbeit zur Quantenelektrodynamik

² Erhielt 1991 den Physik-Nobelpreis insbesondere für seine Arbeiten zu Flüssigkristallen und Polymeren