

Spielwiese

Spielerisches Bimetall

CHRISTIAN UCKE | HANS JOACHIM SCHLICHTING

Bimetalle sind technisch weit verbreitet und finden in Thermometern oder als Schalter vielfältige Verwendung. Bei der Klickscheibe oder der Lichtwippe werden Bimetalle in spielerischer Form eingesetzt. Eine eher künstlerische Variante ist ein Klangspiel mit Bimetallantrieb.

In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts konstruierte der Englische Uhrmacher John Harrison (1693-1776) die erste Uhr, die so genau ging, dass damit auf See die Längengrade hinreichend genau berechnet werden konnten. Dazu erfand er den Bimetallstreifen, mit dem er die Temperatureinflüsse auf seine Uhren kompensieren konnte. Heute haben Bimetalle zahlreiche Anwendungen. Ihr Prinzip ist einfach: Wenn zwei Metallstreifen mit unterschiedlichem thermischem Ausdehnungskoeffizienten miteinander verbunden werden, krümmt sich die Vorrichtung bei Temperaturänderungen in die eine oder andere Richtung.

Da die Krümmung ein Maß für die Temperaturänderung ist, finden aus Bimetall gefertigte Spiralen heute vielfach Verwendung in Thermometern (Abbildung 1). Weit verbreitet sind auch Thermobimetall-Schnappscheiben als Elemente von Thermostaten. In Wasserkochern beispielswei-

se unterbrechen sie automatisch den Stromkreis sobald die Siedetemperatur erreicht ist.

Die üblicherweise runden Schnappscheiben mit einem Durchmesser von 1 bis 3 cm bestehen aus einer abgestimmten Kombination von zwei Metallen, wie Stahl und Invar (eine Eisen-Nickel-Legierung). Den Stahl bezeichnet man auch als aktive Komponente, da er einen relativ großen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist. Invar hat dagegen einen um den Faktor zehn bis zwanzig kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten als Stahl, ist also nahezu invariant. Daher der Name Invar.

Bei einer tiefen Temperatur haben Schnappscheiben eine konkave Form, bei einer hohen Temperatur klappen sie in eine konvexe Form um. Dabei entwickeln sie eine Kraft, mit der sie ohne Probleme mechanisch einen Schalter betätigen oder einen elektrischen Kontakt herstellen können. Die unteren und oberen Schnapptemperaturen T_{us} und T_{os} können in einem weiten Bereich durch Verwendung entsprechender Materialien und Formgebung eingestellt werden. Die Schichtdicken bei den hier behandelten Schnappscheiben betragen für jede Komponente auf Mikrometer genau 0,15 mm, die Gesamtdicke also 0,30 mm. Ein deutsches Patent aus dem Jahr 1929 beschreibt derartige Schnappscheiben für Werbezwecke ziemlich genau [1].

Abb. 1 Thermometer mit Bimetallspirale. Die Spirale ist links unten im Bild vergrößert dargestellt.

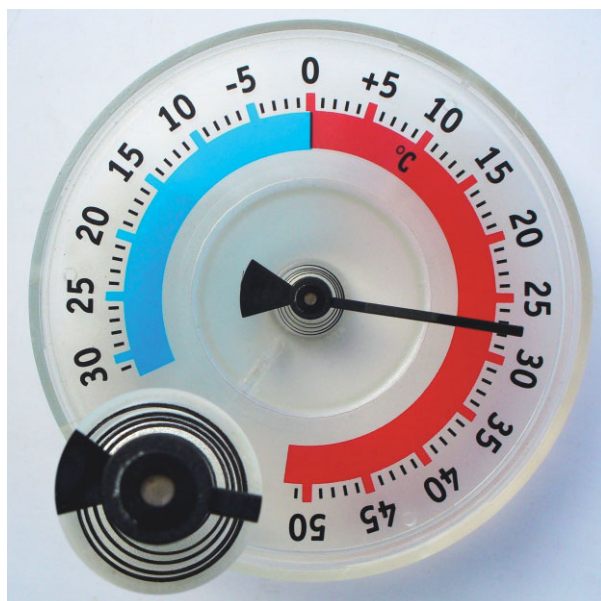
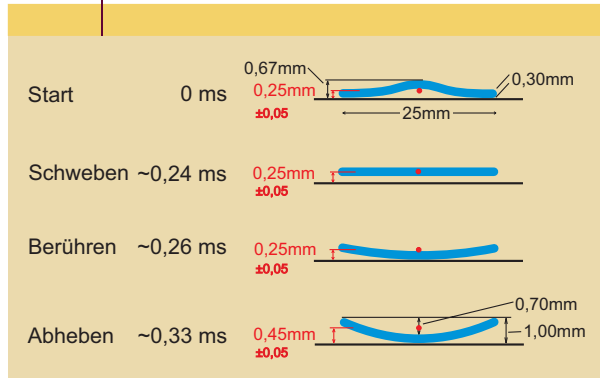


Abb. 2 Eine Klickscheibe (Jumping Disc; Durchmesser: 2,5 cm, Masse: 1,235 g) zwischen zwei Fingern.



ABB. 3 | ABSPRUNGVORGANG



Schematische Darstellung des Absprungvorgangs der Klickscheibe. Der rote Punkt markiert den geschätzten Schwerpunkt der Scheibe. Darstellung nicht maßstabsgerecht.

Die Klickscheibe Jumping Disc

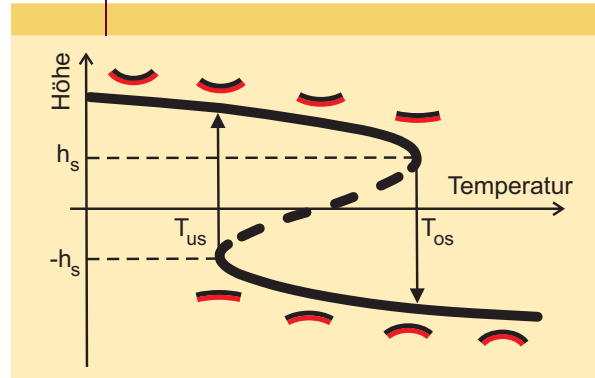
Solche Schnappscheiben wurden schon vor längerer Zeit unter dem Namen Jumping Disc als Spielzeug vertrieben, bis etwa 1990 die Produktion in den USA versiegte. Dank eines Liebhabers lassen sie sich jetzt wieder über das Internet beziehen (Abbildung 2) [2]. Die Jumping Disc oder Klickscheibe lässt sich zwischen den Fingern in einen der beiden umgeklappten Zustände drücken. Dieser Zustand bleibt für einige Zeit erhalten, wenn man die Temperatur der Scheibe durch intensives Reiben zwischen den Fingern auf etwa 30 bis 40 °C erhöht. Legt man die umgeklappte Scheibe dann schnell genug mit der konkaven Seite nach unten auf eine harte, kühle Unterlage, so schnappt sie nach einiger Zeit in den bei üblicher Raumtemperatur stabilen Zustand zurück. Weil sie dabei mit dem Mittelteil heftig auf die Unterlage prallt, springt sie etwa 60 cm hoch.

Aus $v = \sqrt{2gh}$ ergibt sich eine Absprunggeschwindigkeit v von 3,5 m/s. Den Luftwiderstand kann man bei dieser geringen Geschwindigkeit vernachlässigen. Auch die in eventueller Rotation der Scheibe enthaltene Energie ist vergleichsweise klein.

Interessant ist die beim Start auftretende Beschleunigung, die sich auf mehreren Wegen abschätzen lässt. Die Kraft zum Durchdrücken der Scheibe mit den Fingern beträgt etwa 34 N. Würde diese Kraft komplett zur gleichmäßigen Beschleunigung a der Scheibe verwendet werden, ergäbe sich $a = F/m = 34\text{ N}/0,001235\text{ kg} = 27530\text{ m/s}^2 = 2753\text{ g}$ ($g = 10\text{ m/s}^2$). Das ist immerhin ein Zehntel des Wertes, den Gewehrkugeln erreichen.

Die Analyse des Absprungvorgangs mit einem High-Speed-Video mit 16 000 Bildern pro Sekunde ergibt den in Abbildung 3 dargestellten Verlauf des Absprungvorgangs [3]. Dieses Video steht Ihnen auf www.phiuз.de „Zusatzmaterial zu den Heften“ zur Verfügung. Sie erlaubt es, die Beschleunigung auf andere Weise abzuschätzen. Die durchgedrückte Scheibe wird auf den Boden gelegt. Der Schwerpunkt befindet sich etwa 0,25 mm über dem Boden. Die Scheibe schnappt innerhalb von etwa 240 μs in eine flache

ABB. 4 | KENNLINIE



Qualitative Kennlinie einer Thermobimetall-Schnappscheibe. Die Durchbiegung ist überhöht dargestellt. Schwarz ist die aktive Stahlkomponente, rot die Invar-Schicht.

Form. Das ist so schnell, dass die Scheibe kurzfristig in der Luft schwebt. Weil sie in dieser kurzen Zeit wegen der Schwerkraft nur um $s = 0,5\text{ gt}^2 = 0,5 \cdot 10\text{ ms}^{-2} \cdot (0,24 \cdot 10^{-3}\text{ s})^2 \approx 0,3\text{ μm}$ nach unten fällt, verändert sich die Lage des Schwerpunkts kaum. Nach etwa 260 μs berührt die Scheibe den Boden, und erst jetzt wird sie innerhalb von etwa 70 μs auf einer Strecke von nur 0,2 mm beschleunigt. Daraus ergibt sich eine als gleichmäßig angenommene Beschleunigung von etwa

$$a = v^2 / 2s = (3,5\text{ ms}^{-1})^2 / (2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}\text{ m}) \approx 30000\text{ ms}^{-2} = 3000\text{ g}.$$

In Anbetracht der erheblichen Unsicherheiten bei den hier vorgenommenen Abschätzungen kann nur die Größenordnung der Beschleunigung bestimmt werden. Die stimmt in beiden Fällen passabel überein.

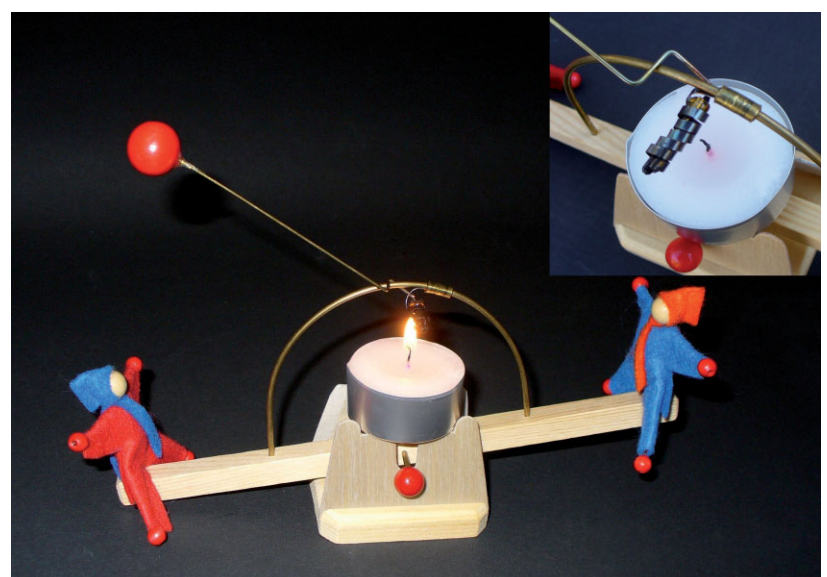


Abb. 5 Die Lichtwippe wird mit einem Teelicht betrieben. Rechts oben im Bild die Bimetallspirale.



Abb. 6a und b
Das Klangobjekt
Inner Vibes mit
Kerzen-Bimetall-
antrieb. Rechts:
Ausschnitts-
vergrößerung.

Der Übergang zwischen den beiden Schnapptemperaturen weist einen starken Hystereseffekt auf (Abbildung 4). Von hohen Temperaturen kommend schnappt die Scheibe schlagartig bei T_{us} mit einer Gesamtschnapphöhe von $2b_s$ um. Die untere Schnapptemperatur T_{us} lässt sich zum Beispiel durch quasistatisches Abkühlen im Wasserbad bestimmen [4]. Sie betrug bei unserer Jumping Disc etwa $30\text{ }^\circ\text{C}$. Die obere Schnapptemperatur T_{os} liegt oberhalb der Siedetemperatur von Wasser. Mit berührungsloser Temperaturmessung auf einer langsam hoch heizenden Herdplatte lässt sie sich zu etwa $100\text{ }^\circ\text{C}$ ermitteln. So groß ist also der Hystereseffekt bei den Jumping Discs! Die Herstellerfirma Wurmb [5] teilt als untere und obere Schnapptemperatur $31\text{ }^\circ\text{C}$ und $99\text{ }^\circ\text{C}$ mit einer Toleranz von $\pm 4\text{ }^\circ\text{C}$ mit.

Schnappscheiben für andere Anwendungen, wie Wasserkocher, haben gegebenenfalls andere Schnapptemperaturen und eine erheblich kleinere Hysterese. Erwärmen auf $240\text{ }^\circ\text{C}$ oder mehr verschiebt die Schnapptemperaturen. Gewaltiges Erhitzen mit einem Gasbrenner verändert die Materialeigenschaften so stark, dass die Schnappscheiben gar nicht mehr funktionieren. Das ist eine Eigenschaft von Invar. Es verändert seine mechanischen Eigenschaften irreversibel bei zu starker Erhitzung.

Lichtwippe und Klangobjekt

Eine ebenso einfache wie genial-spielerische Umsetzung der Eigenschaften einer Thermobimetallspirale ist in der Lichtwippe der Firma Kraul [6] realisiert. Oberhalb der Teelichtflamme befindet sich eine Spirale aus Thermobimetall (Abbildung 5). Erwärmt sich die Spirale, so dreht diese den mit einer roten Kugel belasteten Stab so hoch, dass er zur anderen Seite kippt. Dadurch verlagert sich der Schwerpunkt der Wippe so weit, dass sie zur anderen Seite schwingt. Gleichzeitig wird dadurch die Spirale aus der Hitze der Flamme heraus bewegt. Sie kühlt sich ab, Kugel und Wippe schwingen zurück mit der Folge, dass die Bimetallspirale wieder in die Flamme hinein gedreht wird. Das Spiel beginnt von Neuem.

Eine Feinabstimmung des Vorgangs kann durch eine Justierung der Hebelarme vorgenommen werden. Man kann

die Position der Puppen durch Verbiegen des Haltedrahtes etwas verändern. Auch der Hebelarm mit der Kugel lässt sich verbiegen, so dass damit kleinen Variationen Raum gegeben wird.

In einer ästhetisch und akustisch ansprechenden Form ist bei dem Klangobjekt Inner Vibes die Umsetzung von Temperaturunterschieden in Bewegung und Ton realisiert [7]. Ein klassisches Bimetallband wird mit einem Teelicht erwärmt und bewegt dadurch einen Klöppel von der Kerze weg (Abbildung 6 rechts). Nach Abkühlung schwingt der Klöppel wieder zurück usw. Die ganze Vorrichtung ist im Innern eines frei aufgehängten, 20 cm hohen Messingzylinders angebracht (Abbildung 6 links), so dass der Klöppel beim Anstoßen das Messingrohr zum Klingeln bringt. Der Zylinder tönt verhalten und angenehm wie eine Glocke.

Wegen des Flackerns der Flamme stellt sich keine feste, sondern eine eher chaotische Wiederholfrequenz des Tones ein. Die mittlere Wiederholfrequenz lässt sich aber dem eigenen Wohlempfinden anpassen, indem man das Teelicht verschiebt. Der akustische Effekt wird übrigens durch einen optischen Reiz bereichert, weil das Kerzenlicht oben und unten aus dem Zylinder herausleuchtet.

Zusammenfassung

Bimetalle sind technisch weit verbreitet und finden in Thermometern und als Schalter vielfältig Verwendung. Bei der Klickscheibe und der Lichtwippe wird ein Bimetall in spielerischer Form eingesetzt. Ein Klangobjekt mit Bimetallantrieb ist ein eher künstlerisches Beispiel.

Literatur

- [1] Ein aus zwei übereinander liegenden Metallen bestehendes Plättchen, Patentschrift Nr. 487164 (1929), Reichspatentamt, Deutsches Reich.
- [2] www.jumpingdisc.com und www.grand-illusions.com
- [3] C. Ucke, H. J. Schlichting, *Physics Education* **2009**, *44*, 612.
- [4] C. Isenberg, *Physics Education* **1987**, *22*, 158.
- [5] www.wurmb.at.
- [6] www.spielzeug-kraul.de
- [7] www.bsuk.de und www.grand-illusions.com

Stichwörter

Bimetall, Schnappscheibe, Klickscheibe, Jumping Disc, Lichtwippe, Klangspiel.

Die Autoren



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

Anschriften

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