

Spielerisches mit Bimetall

Christian Ucke und Hans-Joachim Schlichting

Bimetalle sind technisch weit verbreitet und finden in Thermometern und als Schalter vielfältig Verwendung. Bei der Klickscheibe oder der Lichtwippe wird Bimetall in spielerischer Form eingesetzt. Ein Klangspiel mit Bimetallantrieb ist eine eher künstlerische Variante.

Erfindung und Eigenschaften von Bimetallen

Der Englische Uhrmacher John Harrison (1693-1776) konstruierte die erste Uhr, die so genau ging, dass damit auf See die Längengrade hinreichend genau berechnet werden konnten. Dazu erfand er den Bimetall-Streifen, mit dem er die Temperatureinflüsse auf seine Uhren kompensieren konnte.

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 darstellt, finden aus Bimetall gefertigte Spiralen heute vielfach in Thermometern Verwendung (Abbildung 1). Weit verbreitet sind so genannte Thermobimetall-Schnappscheiben als Elemente von Thermostaten, z.B. in Wasserkochern zur automatischen Abschaltung beim Erreichen der Siedetemperatur. Die üblicherweise runden Schnappscheiben mit einem Durchmesser von 1 - 3 cm bestehen aus einer abgestimmten Kombination von zwei Metallen, z.B. 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 im Vergleich zum Stahl einen etwa um den Faktor zehn kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten, ist also quasi invariant. Daher rührt der Name (INVARIANT).

Bei einer tiefen Temperatur haben Schnappscheiben eine konkave Form, bei einer hohen Temperatur klappen bzw. schnappen sie in eine konvexe Form um. Dabei entwickeln sie eine Kraft, mit der ohne Probleme mechanisch ein Schalter betätigt oder ein elektrischer Kontakt hergestellt werden kann. Der Übergang zwischen den Temperaturen weist einen Hystereseeffekt auf (Abbildung 2). Die untere bzw. obere Schnapptemperatur T_{us} bzw. T_{os} können in einem weiten Bereich durch Verwendung entsprechender Materialien und Formgebung eingestellt werden. 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.

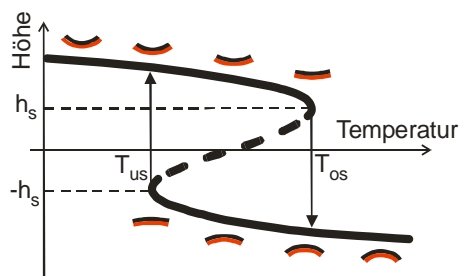


Abb.2: Qualitative Kennlinie einer Thermobimetall-Schnappscheibe. Die Durchbiegung ist überhöht dargestellt.

Schwarz ist die aktive Stahl-Komponente, rot die Invar-Schicht.

Vom technischen Nutzen zur Spielerei

Unter dem Namen „jumping disc“ wurden solche Schnappscheiben schon im vorigen Jahrhundert als Spielzeug vertrieben. Etwa 1990 versiegte die Produktion in den USA. Jetzt sind sie wieder dank eines Liebhabers dieser ehemaligen jumping discs über das Internet zu beziehen (Abbildung 3) [2]. Die Spielversion zeichnet sich dadurch aus, dass der durch Drücken zwischen den Fingern erreichbare umgeklappte Zustand für einige Zeit erhalten bleibt, sofern man die Temperatur der Scheibe dabei durch intensives Reiben zwischen den – trockenen – 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, 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 60cm Meter hoch.

Material der jumping discs

Der für die jumping discs verwendete Stahl (aktive Komponente) besteht aus 74% Eisen, 20% Nickel und 6% Mangan. Die passive Komponente besteht aus Invar (64% Eisen, 36% Nickel). Es hat im Vergleich zu dem Stahl einen etwa um den Faktor vierzehn kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten. Der auf den jumping discs nach dem Ablösen des Werbeaufdrucks erkennbare Aufdruck VAC 2036 bezieht sich darauf, dass das Grundmaterial von der Firma VACuumschmelze in Hanau hergestellt wird und gibt die Anteile des Nickels (20% bzw. 36%) wieder. Die Schichtdicken betragen für jede Komponente auf μm genau 0,15mm, die Gesamtdicke also 0,30mm.

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

Die Kraft zum Durchdrücken der Scheibe mit den Fingern beträgt etwa 35N. Würde diese Kraft komplett zur gleichmäßigen Beschleunigung der Scheibe verwendet werden, ergäbe sich $a = F/m = 34\text{N}/0,001235\text{kg} = 27530\text{m/s}^2 = 2750g$ ($g = 10\text{m/s}^2$). Das ist immerhin 1/10 des Wertes, den Gewehrkugeln erreichen, allerdings mit erheblich größerem Aufwand als es bei der Klickscheibe der Fall ist.



Abb.3: Eine Klickscheibe (jumping disc; $\varnothing = 2,5\text{cm}$; $m = 1,235\text{ g}$) zwischen zwei Fingern.

Die Analyse des Absprungvorganges mittels eines High-Speed-Videos mit 16.000 Bildern pro Sekunde ergibt den in Abbildung 4 dargestellten Verlauf des Absprungvorganges [3].

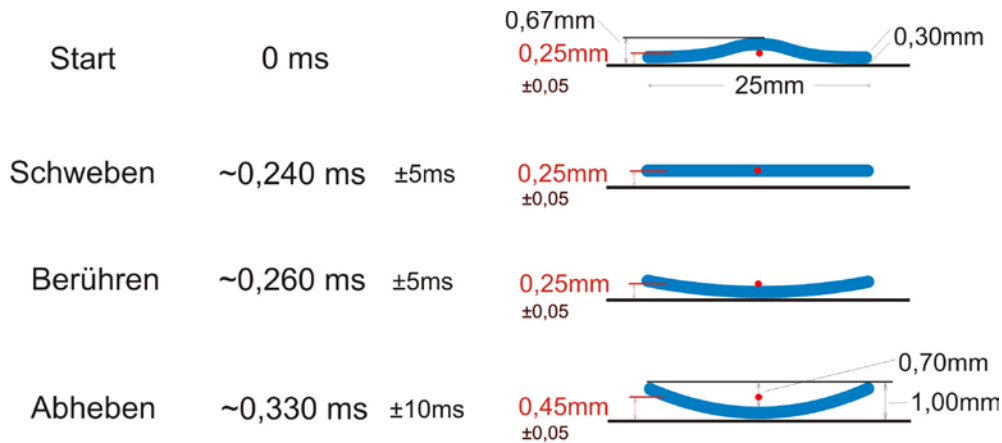


Abb.4: Schematische Darstellung des Absprungvorganges der Klickscheibe. Der rote Punkt markiert den – geschätzten – Schwerpunkt der Scheibe. Darstellung nicht maßstabsgerecht.

Die durchgedrückte Scheibe wird auf den Boden gelegt. Der Schwerpunkt befindet sich etwa 0,25mm über dem Boden. Die Scheibe schnappt nach etwa 240µs in eine flache Form. Das ist so schnell, dass die Scheibe kurzfristig in der Luft schwebt. Weil die Scheibe in dieser kurzen Zeit auf Grund der Schwerkraft nur um $s = 0,5 \cdot g \cdot t^2 = 0,5 \cdot 10ms^{-2} \cdot (0,24 \cdot 10^{-3}s)^2 \approx 0,3\mu m$ nach unten fällt, verändert sich die Lage des Schwerpunktes kaum. Nach etwa 260µs berührt die Scheibe den Boden und erst jetzt wird sie innerhalb von etwa 70µs auf einer Strecke von nur 0,2mm beschleunigt. Daraus ergibt sich eine – als gleichmäßig angenommene – Beschleunigung von etwa $a = v^2 / 2s = (3,5ms^{-1})^2 / (2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}m) \approx 30000ms^{-2} = 3000g$.

In Anbetracht der erheblichen Unsicherheiten bei den hier vorgenommenen Abschätzungen kann durch die beiden Rechnungen nur die Größenordnung der Beschleunigung bestimmt werden.

C. Isenberg schlägt als Experiment vor, durch quasistatisches Abkühlen im Wasserbad die untere Schnapptemperatur T_{us} zu bestimmen [4]. Sie beträgt etwa 30°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°C ermitteln. So groß ist also der Hystereseeffekt! Die Herstellerfirma Wurmb [4] teilt als untere und obere Schnapptemperatur 31°C bzw. 99°C mit einer Toleranz von ± 4 °C mit. Erwärmen auf 240°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.

Eine Wippe mit Bimetallantrieb

Eine ebenso einfache wie genial-spielerische Umsetzung der Eigenschaften einer Thermobimetallspirale ist in der 'Lichtwippe' der Firma Kraul [5] realisiert. Oberhalb der Flamme des Teelichtes befindet sich eine Spirale aus Thermobimetall (Abbildung 5). Bei Erwärmung der Spirale dreht diese den mit einer roten Kugel belasteten Stab so

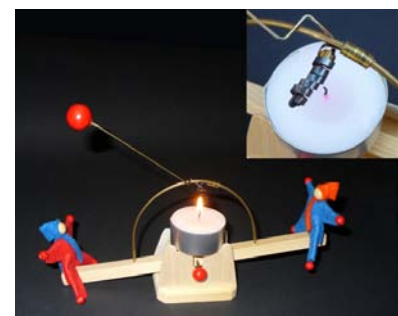


Abb. 5: Die Lichtwippe wird mit einem Teelicht betrieben. Rechts oben im Bild die Bimetallspirale.

hoch, dass er zur anderen Seite kippt. Dadurch wird der Schwerpunkt der Wippe so verlagert, dass sie zur anderen Seite schwingt. Gleichzeitig wird dadurch die Spirale aus der Hitze der Flamme heraus bewegt. Sie kühlt sich ab, die Kugel und die 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.

Ein Klangobjekt mit Bimetallantrieb

In einer ästhetisch und akustisch ansprechenden Form ist bei dem Klangobjekt 'Inner Vibes' die Umsetzung von Temperaturunterschieden in Bewegung und Ton realisiert [6]. Ein klassisches Bimetallband wird mit einem Teelicht erwärmt und bewegt dadurch einen Klöppel von der Kerze weg (Abbildung 6 rechts). Nach Abkühlung geht der Klöppel wieder zurück usw. Die ganze Vorrichtung ist im Inneren eines frei aufgehängten, 20cm hohen Messingzylinders angebracht (Abbildung 6 links), so dass der Klöppel beim Anstoßen das Messingrohr zum Klingen bringt. Der Zylinder tönt verhalten und angenehm wie eine Glocke. Aufgrund des Flackerns der Flamme stellt sich keine feste, sondern eher chaotische Wiederholffrequenz des Tones ein. Die mittlere Wiederholffrequenz kann durch lokale Verschiebung der Flamme des Teelichtes dem eigenen Wohlempfinden entsprechend variiert werden. Der akustische Effekt wird durch die Wirkung des oben und unten aus dem Zylinder herausleuchtenden Kerzenlichts durch einen entsprechenden optischen Reiz bereichert.



Abb. 6: Das Klangobjekt 'Inner Vibes' hat einen Kerzen-Bimetallantrieb.

Zusammenfassung:

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

Literatur bzw. weblinks:

- [1] Ein aus zwei übereinanderliegenden Metallen bestehendes Plättchen, Patentschrift Nr. 487164 (1929), Reichspatentamt, Deutsches Reich.

- [2] www.jumpingdisc.com und www.grand-illusions.com
[3] Ucke, C., Schlichting, H.-J.: Revival of the jumping disc, *Physics Education* **44** (2009), 612-617
[4] Isenberg, C.: The jumping disc, *Physics Education* **22** (1987), 158-159
[5] www.spielzeug-kraul.de
[6] www.bsuk.de und www.grand-illusions.com

Stichwörter:

Bimetall, Schnappscheibe, Klickscheibe, jumping disc, Lichtwippe, Klangspiel

Anschriften:

Dr. Christian Ucke, Rofanstr. 14B, 81825 München

e-mail: ucke@mytum.de

Prof. Dr. Hans-Joachim Schlichting, Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster

e-mail: schlichting@uni-muenster.de