

Der Kaffeekugelschreiber oder das Liebesthermometer

Christian Ucke und Hans-Joachim Schlichting

Auch Temperamentsmesser oder gar baromètre d'amour wird dieses Spielzeug genannt. Jedoch weder Temperament noch Temperatur können damit bestimmt werden.

Der Kaffeekugelschreiber besteht rein äußerlich aus zwei gläsernen Hohlkugeln, die mit einem kleinen Röhrchen verbunden sind. Umfaßt man den unteren Teil des abgebildeten Glasgefäßes mit der Hand, steigt die meist deutlich angefärbte Flüssigkeit im zentralen Röhrchen hoch und brodelt im oberen Teil. Je wärmer die Hand, um so schneller steigt die Flüssigkeit. Wird dann der obere Teil höheren Temperaturen ausgesetzt als der untere Teil, fließt die Flüssigkeit wieder zurück.

Naturgemäß reizt es besonders Kinder auszuprobieren, wer wärmere Hände hat. Die Gefahr des Glasbruchs ist dann gegeben. Aus Sicherheitsgründen ist das Spielzeug in dieser Form heute im Handel in Deutschland praktisch nicht erhältlich. Es enthielt früher Diethylether, Freon bzw. Methylchlorid, jetzt meist das weniger kritische Methanol. In etwas abgewandelter und sicherer Form findet man es heute als 'Kaffee-Kugelschreiber', wie er zur Zeit als Begrüßungsgeschenk für einen neuen Abonnenten der PhiuZ gibt. Im oberen Teil des Kugelschreibers ist stark verkleinert das entscheidende Gefäß enthalten. Die Flüssigkeit ist braun gefärbt und suggeriert - mit etwas Wohlwollen - beim Erwärmen das Brodeln einer Kaffeemaschine. Früher gab es alle möglichen Variationen dieses Spielzeugs, mit spiralförmig oder herzförmig hochlaufenden Röhrchen bis hin zu ziemlich erotisch-anzüglichen Stücken. Wenn man Glück hat, findet man auch heute noch in Zauber- bzw. Scherzartikelläden Exemplare.

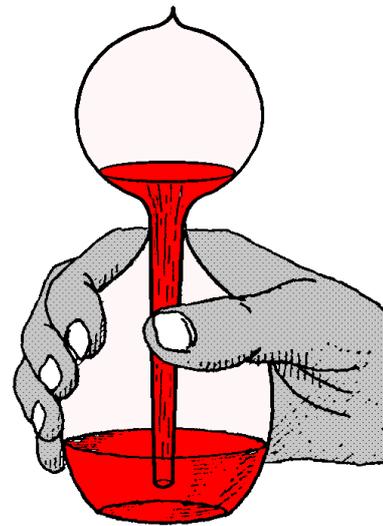


Abb.1: Aufbau eines einfachen Liebesthermometers

Das Spielzeug ist vom physikalischen her sehr interessant und hat den Didaktiker der Physik Richard Kluge veranlaßt, es beispielhaft und ausführlich zu untersuchen [1]. Das Glasgefäß besteht aus zwei Teilen. Vom oberen Teil ragt ein schmales Röhrchen bis fast zum Boden des unteren Teils und taucht in die Flüssigkeit ein. Die Flüssigkeit im Inneren weist eine große Abhängigkeit des Dampfdrucks von der Temperatur auf (siehe Informationskasten). Sie steht nur mit ihrem eigenen Dampfdruck im Gleichgewicht. Es ist keine Luft enthalten. Wird die Flüssigkeit im unteren Teil durch Umfassen mit der Hand oder durch eine andere Quelle erwärmt, verdampft etwas von der Flüssigkeit und erhöht den Druck. Die Flüssigkeit kann nur durch das Röhrchen ausweichen und steigt nach oben. Da sich die Flüssigkeit auch im oberen, kühleren Teil mit ihrem Dampfdruck im Gleichgewicht befindet, entsteht dort kein Überdruck, sondern es wird Dampf kondensieren. Es kann nur solange Flüssigkeit hochsteigen, wie eine genügend große Temperaturdifferenz zwischen oberem und unterem Teil besteht. Wie man aus der Tabelle im Informationskasten entnimmt, sind bei den üblicherweise verwendeten Flüssigkeiten dazu schon Temperaturunterschiede von 1K ausreichend. Deswegen schafft man es normalerweise auch noch mit 'kalten' Händen (ca. 25 °C) bei normaler Raumtemperatur (ca. 20 °C), die Flüssigkeit steigen zu lassen. Ein Thermometer im üblichen Sinn ist dieses Gerät nicht, da es höchstens grob qualitative Aussagen über die Temperatur erlaubt.

Aus dem vorhergehenden ergibt sich, daß die Flüssigkeit auch durch Abkühlen des oberen Gefäßteils hochgezogen werden kann. Dadurch kondensiert nämlich oben Flüssigkeit und der entstehende Unterdruck bewirkt das Hochziehen der Flüssigkeit bzw. der dann unten vorhandene größere Druck bewirkt das Steigen.

Stellt man das ganze Gefäß für einige Zeit in den Kühlschrank und umfaßt es dann unten mit der warmen Hand, spritzt die Flüssigkeit geradezu hoch. Hat sich das ganze Gefäß z.B. in der Sonne gleichmäßig bis etwa Handtemperatur erwärmt, passiert gegebenenfalls beim Umfassen garnichts.

Herrscht im unteren und oberen Teil gleiche Temperatur, wird die Flüssigkeit aufgrund der Schwerkraft in den unteren Teil fließen. Im ganzen System herrscht im übrigen im Normalfall Unterdruck, denn der Siedepunkt der heute verwendeten Flüssigkeiten liegt über den normalen Extremitäten- bzw. Raumtemperaturen.

Das Verhalten der Flüssigkeit läßt sich mit der Volumenausdehnung von Gasen bei Temperaturerhöhung nicht hinreichend begründen. Zwar würde bei luftgefüllten Volumina bei Erwärmung des unteren Gefäßteiles die Flüssigkeit zunächst aufgrund des erhöhten Drucks im Röhrchen hochsteigen. Da der Druck im oberen Gefäßteil dann aber zunimmt, ergibt sich ein Steigen nur bis zum Druckausgleich. Von dem Innendurchmesser des Röhrchens, vom Luftvolumen unten und oben und natürlich von der Temperaturdifferenz würde es abhängen, ob man tatsächlich etwas Flüssigkeit bis in das obere Gefäßteil hineinbringt. Ist nur die Flüssigkeit mit ihrem eigenen Dampf vorhanden, spielen der Innendurchmesser des Röhrchens bzw. die Dampf volumina keine Rolle, da Dampf kondensiert bzw. Flüssigkeit verdampft und dadurch der Druck angepaßt wird. Gesättigter Dampf unterhalb der Siedetemperatur verhält sich eben nicht wie ein Gas bzw. ideales Gas.

Eine sehr enge Verwandtschaft dieses Spielzeugs besteht mit der bekannten trinkenden Ente. Sie ist im Inneren praktisch identisch aufgebaut. Bei ihr wird durch einen befeuchteten Überzug am Oberteil eine Verdunstungskühlung bewirkt. Mit einer geeigneten Anordnung und der Halterung, in der sich die Ente bewegen kann, wird dann der Kippeffekt erreicht.

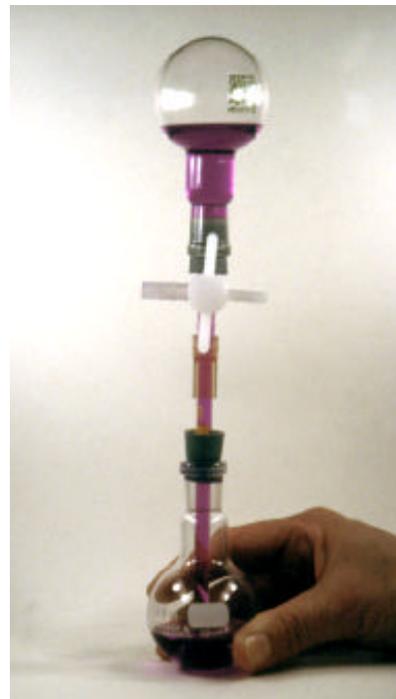
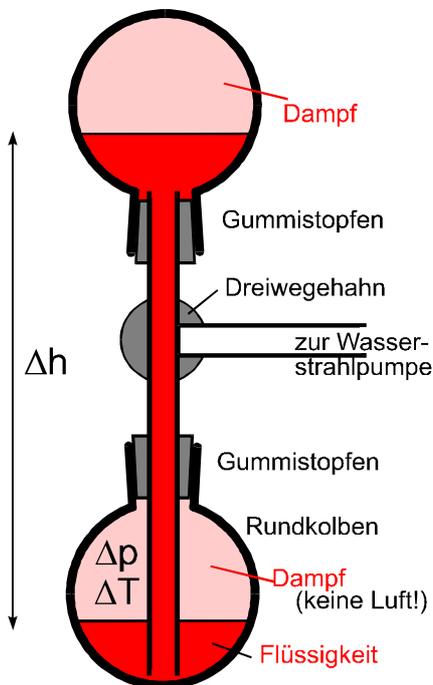


Abb.2: Selbstbau eines Liebesthermometers aus Rundkolben und Dreivegehahn

Mit wenigen Bauteilen aus einem Chemielabor läßt sich so ein Liebesthermometer selbst zusammenstellen. Über einen Dreivegehahn verbinde man luftdicht zwei kleine Rundkolben. In einem Kolben muß ein Röhrchen bis fast zum Boden reichen. Füllt man einen Kolben etwa halbvoll mit Spiritus

(Ethanol) und evakuiert mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe das Gesamtgefäß, hat man nach dem geeigneten Schließen des Dreiwegehahnes schon das fertige Liebesthermometer. Man kann auch leicht andere Flüssigkeiten probieren.

Der Dampfdruck

Bei vielen Flüssigkeiten läßt sich innerhalb kleiner Temperaturintervalle der Dampfdruck p ganz gut mit folgender Formel beschreiben:

$$\log p = -\frac{A}{T} + B \quad \text{bzw.} \quad p = 10^{-\frac{A}{T} + B}$$

p = Dampfdruck in Pa; T = Temperatur in K; A, B charakteristische Konstanten.

Für Wasser gilt ein formelmäßig komplizierterer Zusammenhang. Dafür läßt sich der Dampfdruck von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur in vielen Tabellenwerken direkt auffinden.

Aus der Formel läßt sich dp/dT berechnen. Bei einer geeigneten Anordnung, wie sie in den Liebesthermometern vorliegt, vermag eine Druckzunahme Δp die Flüssigkeit um $\Delta h = \Delta p/\rho \cdot g$ anzuheben (ρ = Dichte; g = Erdbeschleunigung). Daraus ergibt sich die maximal pro Temperaturdifferenz ΔT erzielbare Höhe Δh . In der Tabelle ist dies für zwei Temperaturen (Raumtemperatur von $T = 20^\circ\text{C}$ und Extremitätentemperatur von $T = 30^\circ\text{C}$) berechnet. Man ersieht die starke Abhängigkeit von der Temperatur.

Flüssigkeit	A [K]	B	T = 20 °C r [g/cm ³]	T = 20 °C Dh/DT [cm/K]	T = 30 °C Dh/DT [cm/K]	Siede- temperatur [°C]
Diethylether (C ₂ H ₆ O)	1657	10,492	0,71	43,0	61,8	34,5
Methylenchlorid (CH ₂ Cl ₂)	1698	10,497	1,33	17,2	25,0	40,2
Methanol (CH ₄ O)	2077	11,206	0,79	9,2	14,8	68,7
Ethanol (C ₂ H ₆ O)	2257	11,461	0,79	4,4	7,4	78,3
Wasser (H ₂ O)			1,00	1,5	2,5	100,0

Die Werte der Tabelle sind entnommen aus: Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen, II.Band, 2.Teil, 6. Aufl. 1960 und umgerechnet auf SI-Einheiten.

Am günstigsten wäre gemäß der Tabelle Diethylether; es ist aber wegen Explosionsgefahr und als Narkotikum zu gefährlich. Methylenchlorid wurde früher verwendet, gilt jedoch heute als gesundheitsschädlich. Methanol ist jetzt die Wahl für dieses Spielzeug. Ethanol (Spiritus) ist nur halb so gut wie Methanol, Wasser noch schlechter geeignet.

Literatur:

[1] Kluge, R.: Spielzeuge als Zugang zur Physik, Verlag M. Diesterweg, Frankfurt am Main 1973

Anschriften:

Dr. Christian Ucke, Physikdepartment E 20, Techn. Univ. München, 85747 Garching

Prof. Dr. Hans-Joachim Schlichting, FB Physik, Universität GH, Universitätsstr. 5, 45117 Essen