

Bier erhitzen

Martin Lieberherr, MNG Rämibühl, martin.lieberherr@mng.ch

1 Einleitung

Können Sie sich vorstellen, dass ein Mann zwei Stunden neben einem Bier sitzt und zuschaut, wie es warm wird? Genau das habe ich gemacht. Und dann habe ich es auch noch erhitzt. Die sumerische Göttin der Braukunst, Ninkasi¹, würde mich wohl gerne in einem speziellen Winkel der Bierhöhle rösten, ginge es nicht um ein höheres Ziel, das mich unter den Schutz von Athene², der griechischen Göttin der Weisheit und des Kampfes stellt. Für die alten Griechen war Bier ohnehin ein barbarisches Gesöff.

Die Temperatur eines heissen Gegenstands vermindert sich nach den Newtonschen Abkühlungsgesetz³. Die Messung der Abkühlkurve, eine exponentielle Abnahme zur Umgebungstemperatur hin, ist auch an Gymnasien ein gerne durchgeführtes Experiment, weil es mit wenig Aufwand verbunden ist.

Die Erwärmung eines kalten Gegenstands zeigt dagegen ein paar Überraschungen, die mit der Luftfeuchtigkeit zu tun haben. Der Gegenstand beschlägt, wenn seine Temperatur unter dem Taupunkt liegt. Dabei deponiert der Wasserdampf die Kondensationswärme. Ist der Taupunkt einmal überschritten, so verdunstet der Tau wieder und hilft etwas kühlen.

Dampfdruck und Luftfeuchtigkeit wären wunderbare Themen in der Wärmelehre. Man lernt, mit Tabellen umzugehen und findet einen Zugang zur Atmosphärenphysik, der Meteorologie oder der Klimakunde. Wasserdampf ist das wichtigste Treibhausgas und es würde einem gebildeten Bürger oder einer Bürgerin gut anstehen, wenigstens ein paar Eckdaten zu kennen. Heute können nicht einmal Studierende der Physik mit Sicherheit sagen, ob der Wasserdampf in der Luft die Zustandsgleichung des idealen Gases erfüllt!

2 Experiment

Ich nahm eine 5 dL Aludose "Quöllfrisch", befestigte aussen eine kleine Temperatursonde mit Klebeband und stellte die geschlossene Büchse in den Kühlschrank. Nach langer Zeit verband ich die Temperatursonde mit einem digitalen Anzeigegerät (Auflösung 0.1 °C), die Büchse blieb im Kühlschrank. Dann stellte ich die Dose auf den Küchentisch und las die Temperaturanzeige als Funktion der Zeit auf einer Stoppuhr ab. Im Verlauf des zweistündigen, abendlichen Versuchs fiel die Zimmertemperatur von 24.6 auf 23.9 °C.

Dann stellte ich die Dose über Nacht wieder in den Kühlschrank. Die Temperatur war anfänglich so rasch gestiegen, dass ich nicht mit Schreiben nachkam. Der zweite Blick zeigte, dass die Temperatur während der ersten 10-15 s mit Grössenordnung 0.1 °C/s zunimmt. Das Klebeband, unter dem sich der Sensor befand, kommt einerseits mit der warmen Zimmerluft in Kontakt und andererseits kondensiert Wasserdampf.

Als zweites nahm ich eine 50 cL Aluminiumbüchse Feldschlösschen Lager alkoholfrei, klebte wieder die Sonde drauf und stellte sie in ein heisses Wasserbad. Als die Dose 50-60 °C erreicht hatte, nahm ich sie aus dem Bad, trocknete sie ab und las wieder die Thermometeranzeige als Funktion der Zeit ab. Im Verlauf des vierstündigen, morgendlichen Experiments stieg die Temperatur in meiner Küche von 23.5 auf 24.2 °C.

3 Resultate

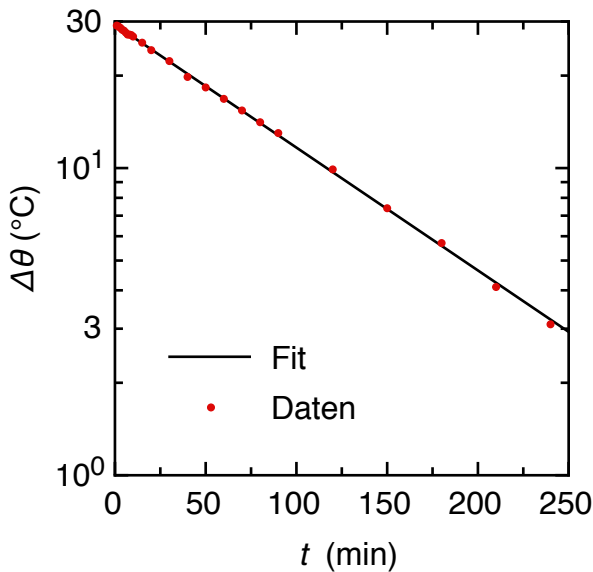


Abbildung 1: Abkühlung einer heissen Bierdose gegen die Umgebungstemperatur. Der Fit ist eine Exponentialfunktion $\Delta\theta \sim \exp(-t/\tau)$ mit Zeitkonstante $\tau = 108.6$ min. $\Delta\theta = \theta_{\text{Bier}} - \theta_{\text{Zimmer}}$

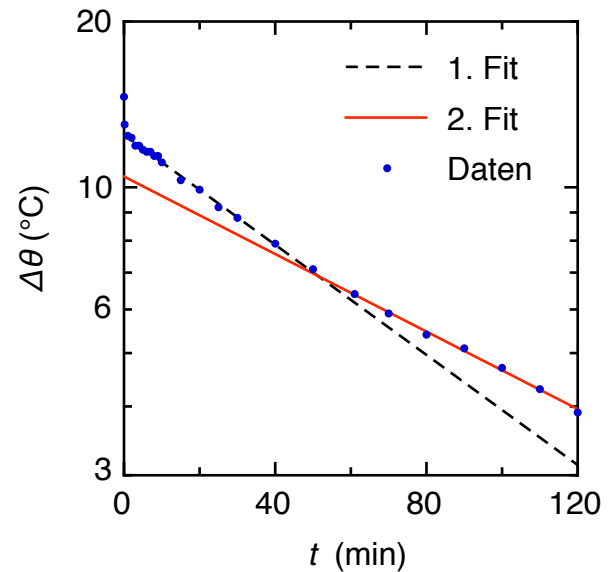


Abbildung 2: Erwärmung einer kalten Bierdose gegen die Umgebungstemperatur. Die Fits sind Exponentialfunktionen mit Zeitkonstanten $\tau_1 = 86.88$ min und $\tau_2 = 123.4$ min. $\Delta\theta = \theta_{\text{Zimmer}} - \theta_{\text{Bier}}$

In der Aufwärmkurve (Abb. 2) sind in der halblogarithmischen Darstellung zwei Bereiche erkennbar: Während der ersten Stunde erwärmt es sich mit grösserer Rate als nachher. Der “Knick” ist in der Nähe von 60 min respektive von 16 °C, d.h. 7 bis 8 °C unter der Zimmertemperatur von etwa 24 °C. Die Zeitkonstante der Abkühlkurve (Abb. 1) liegt zwischen den zwei relevanten Zeitkonstanten der Aufwärmkurve.

Nehmen wir an, der Taupunkt sei bei 16 °C während die Zimmertemperatur bei 24 °C liege. Wie gross ist dann die relative Luftfeuchtigkeit? In der FoTa³ stehen die Sättigungs-Dampfdrücke $p_{24} = p_S(24\text{ °C}) = 2984$ Pa und $p_{16} = 1817$ Pa. Die relative Feuchte ist das Verhältnis der Sättigungsdampfdrücke:

$$f_r = \frac{p_{16}}{p_{24}} = \frac{1817 \text{ Pa}}{2984 \text{ Pa}} = 0.609$$

Um die Genauigkeit abzuschätzen, gehen wir mit der Zimmertemperatur 1 °C nach oben und mit der Taupunkttemperatur 1 °C nach unten. Dann erhalten wir nur noch $f_r = 1707 \text{ Pa}/3173 \text{ Pa} = 0.538$. Mein altes Haar-Hygrometer zeigte etwas in dieser Grössenordnung. Wir dürfen also mit Grund vermuten, dass der Knick in Abbildung 2 mit der Überschreitung der Taupunkt-Temperatur zu tun hat. Unterhalb des Taupunkts kondensiert Wasserdampf auf der Büchse⁵, darüber verdunstet er wieder.

¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Ninkasi> (4. Juli 2020)

² <https://de.wikipedia.org/wiki/Athene> (4. Juli 2020)

³ I. Newton, “Scala Graduum Caloris”, Phil. Trans. Bd. 22 (1701), S. 824-829

⁴ DMK, DPK, DCK, “Formeln, Tabellen, Begriffe”, Orell Füssli Verlag, 5. Auflage, 2015

⁵ D. R. Durran and D. M. W. Frierson, “Condensation, atmospheric motion, and cold beer”, Physics Today, April 2013, 74-75