

## Kühlschrank

Eine Hausfrau<sup>1</sup> räumt in ihrem Kühlschrank auf. Dabei bleibt die Tür so lange offen, dass die ganze Luft im Kühlschrank ausgetauscht wird und sich auf Zimmertemperatur (22 °C) erwärmt. Darauf wird der Kühlschrank wieder geschlossen. Nach einer kurzen Zeit hat sich die Luft im Kühlschrank wieder auf den Sollwert von 7 °C abgekühlt. Mit welcher Kraft muss die Hausfrau am Türgriff ziehen, wenn sie den Kühlschrank wieder öffnen will? Vorausgesetzt wird, dass die Dichtung der Kühlschranktüre perfekt abdichtet. Die Türe ist 0.5 m breit und 1.5 m hoch. Die Distanz zwischen Türgriff und Türkante ist gleich gross wie die Distanz zwischen Türkante und Dichtungsgummi. Der Luftdruck ist 960 hPa.

Für das konstante Luftvolumen im Kühlschrank gilt die Gasgleichung

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0}. \quad (1)$$

$p$  und  $T$  sind Druck und Temperatur im Kühlschrank,  $p_0$  ist der Luftdruck und  $T_0$  ist die Zimmertemperatur. Da die Resultierende der Druckkräfte in der Mitte der Türe angreift, die Zugkraft  $F$  für das Öffnen der Türe jedoch am Rande, gilt:

$$F = \frac{1}{2} A (p_0 - p). \quad (2)$$

$A$  ist die Fläche innerhalb der Gummidichtung. Mit Hilfe der Beziehung (1) ergibt sich daraus:

$$F = \frac{1}{2} A p_0 \left(1 - \frac{T}{T_0}\right). \quad (3)$$

Mit  $p_0 = 960 \text{ hPa} = 9.6 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ,  $T = 7^\circ\text{C} = 280 \text{ K}$ ,  $T_0 = 22^\circ\text{C} = 295 \text{ K}$  und  $A = 0.5 \text{ m} \cdot 1.5 \text{ m} = 0.75 \text{ m}^2$  wird

$$F = \frac{1}{2} 0.75 \cdot 9.6 \cdot 10^4 \left(1 - \frac{280}{295}\right) = 1830. \quad (4)$$

Die Hausperson<sup>2</sup> muss also mit einer Kraft von 1830 N am Türgriff ziehen, wenn sie den Kühlschrank öffnen will.

Bei einem Gefrierschrank mit einer Innentemperatur von  $-18^\circ\text{C} = 255 \text{ K}$  ist der Effekt natürlich noch stärker. Es ergibt sich eine Kraft (bei gleichen Abmessungen der Türe) von 4880 N.

Im Internet findet man tatsächlich Klagen, dass sich die Türe des Kühlschranks oder des Gefrierschranks kurz nach dem Schliessen kaum oder gar nicht mehr öffnen lasse [1].

Eine Forumsteilnehmerin berichtet sogar, dass sie beim Versuch, mit aller Kraft die Türe zu öffnen, den Türgriff abgerissen habe.

Ich glaube, es kann durchaus auch sein, dass das so bleibt. Unser uralter Gefrierschrank ist nämlich so einer. Und ich (zierliches Mädchen) habe mal mit aller Wucht dran gerissen und hatte den Griff(!) in der Hand. (Nicht hilfreich, befürchte ich, aber die Anekdote musste sein.) [2].

---

<sup>1</sup> Damit es „political correct“ ist: Es könnte auch ein Hausmann sein.

<sup>2</sup> politisch korrekt?

Da die Türdichtung nicht absolut dicht ist, stellt sich nach einer gewissen Zeit ein Druckausgleich ein und die Türe lässt sich wieder leichter öffnen.

Den Effekt mit festgesaugter Tür kenne ich seit den 70er-Jahre Gefrierschränken. Hat wohl nichts mit Energiesparvariante zu tun. Direkt nach dem Schließen war es völlig unmöglich die Tür wieder auf zu bekommen. Da musste man einfach ein paar Minuten warten und es ging wieder. 100% dicht ist die Dichtung eben auch nicht. Je niedriger die Temperatur eingestellt und je größer der Innenraum ist, desto stärker saugt die Tür sich fest. Mit der Zeit wird der Effekt aber geringer, da leichter Schmutz und Verschleiß an der Dichtung diese minimal undichter machen. [3]

Man findet auch den Hinweis, dass eigentlich das Ablaufloch für das Kondenswasser für einen Druckausgleich sorgen sollte, aber dass dieses auch verstopft sein könnte.

Also mein KS hat hinten an der Wand ein Ablaufloch für das Kondenswasser. Das führt nach draußen. Sprich eigentlich kann sich kein Vakuum bilden. Wenn Deiner auch so ein Loch haben sollte ist es evtl verstopft oder ein werkseitiger Stopfen drin. [4]

Haben die neuen Kühlschränke nicht mehr diesen Kondensatablauf unten an der Rückwand? Wenn sich das Festsaugproblem erst später ergibt, ist dieser Kondensatablauf vielleicht verstopft? Wenn der Kondensatablauf offen ist, kann sich ja eigentlich kein Unterdruck bilden. [5]

Ich werd' noch verrückt! Hab den Kondensatablauf gereinigt. Wo kommt denn nach nur einem halben Jahr dieser Schmutz her? Jetzt wollte ich es wissen: also hab ich den Heißkleber wieder abgelöst und siehe da - das war's! Ich hätte wetten können, dass der Unterdruck, der sich nach jedem Schließen des Kühlschranks bilden möchte, das Loch frei halten sollte, wenn es doch die einzige Stelle ist, die Luft hergibt - und das bei jedem Öffnen. Gut, ein Waschbeckenabfluß setzt sich auch irgendwann zu, obwohl immer wieder Wasser durchfließt. Jedoch haben wir beim Kühlschrank noch etwas Druck dazu - und trotzdem! Egal. Problem scheint nun jedenfalls gelöst.

Ach ja! Doch noch ein Geistesblitz, woher der Dreck kommt. Der läuft nicht aus dem Kühlschrank in den Ablauf, sondern nur das Wasser. Von außen saugt der Kühlschrank die Luft an, die sich hinter dem Kühlschrank befindet und ... leider nicht gerade sauber ist. Das hat sich in unserem Fall zu einem Pfropfen vermischt und das Loch zugesetzt. Alles klar! [6]

Die Frage nach der Kraft, die es braucht, um die Kühlschrank- oder Gefrierschrank-Türe zu öffnen, bietet sich als Thema für eine schöne Physikaufgabe an. Mit den Stichworten „Unterdruck Kühlschrank berechnen“ findet Google eine ganze Anzahl von derartigen Physikaufgaben.

Es verwundert etwas, dass ein Autor eine solche Aufgabe als „schwere Aufgabe“ bewertet. [7]

Wenn man dann manche Fragen von Schülern oder Schülerinnen liest, die nicht das richtige Resultat erhalten haben, weil sie im Gasgesetz nicht die absolute Temperatur, sondern die Temperatur in Celsius eingesetzt haben, oder weil sie Probleme haben mit den Drehmomenten an der Türe, versteht man etwas besser, warum eine solch einfache Aufgabe als „schwer“ gelten kann.

Allerdings ist die in Gleichung (3) gegebene Lösung genau genommen nicht korrekt. Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit wurde nicht berücksichtigt.

Die relative Luftfeuchtigkeit in der Küche betrage 70 %. Der Sättigungsdampfdruck  $p_s$  bei der Zimmertemperatur ergibt sich in guter Näherung aus der Formel von Magnus [8]:

$$p_s = p_0 \exp\left(\frac{17.62 \cdot t}{243.12 + t}\right). \quad (5)$$

$t$  ist die Temperatur in Celsius und  $p_0 = 6.112$  hPa ist der Sättigungsdruck bei 0 °C.

Für  $t = 22$  °C wird  $p_s = 26.37$  hPa. Wenn die relative Luftfeuchtigkeit 70 % beträgt, ist der Wasserdampf-Partialdruck somit 18.46 hPa, und bei einem Luftdruck von 960 hPa ist der Partialdruck der trockenen Luft 941.5 hPa. Beim Abkühlen auf 7 °C sinkt der Partialdruck der trockenen Luft auf

$$p = 941.5 \text{ hPa} \cdot \frac{280}{295} = 893.6 \text{ hPa}. \quad (6)$$

Beim Abkühlen der feuchten Luft wird schnell Sättigung erreicht, und der Sättigungsdruck bei der Temperatur 7 °C ist

$$p_s = 6.112 \text{ hPa} \cdot \exp\left(\frac{17.62 \cdot 7}{243.12 + 7}\right) = 10.01 \text{ hPa}. \quad (7)$$

Der Gesamtdruck der feuchten Luft im Kühlschrank wird damit  $p = 903.6$  hPa. Daraus ergibt sich für die Kraft am Türgriff:

$$F = \frac{1}{2} 0.75 (960.0 - 903.6) \cdot 10^2 = 2114. \quad (8)$$

Die aufzuwendende Zugkraft beträgt also 2114 N, also deutlich mehr als die 1830 N, die sich aus der einfachen Rechnung ergeben, bei der die Kondensation der Luftfeuchtigkeit nicht berücksichtigt wird.

Begreiflicherweise wird dieser Effekt in den Physikaufgaben nicht betrachtet, um die Aufgabe nicht noch „schwerer“ zu machen. Aber es wäre didaktisch sicher sinnvoll, die Lernenden wenigstens auf die Existenz dieses Effekts aufmerksam zu machen.

## Quellen

- [1] [Kühlschranktür öffnet schwer](https://www.chefkoch.de/forum/2,8,698928/neuer-kuehlschrank-tuer-saugt-sich-extrem-fest-oeffnet-schwer.html)  
<https://www.chefkoch.de/forum/2,8,698928/neuer-kuehlschrank-tuer-saugt-sich-extrem-fest-oeffnet-schwer.html>
- [2] [Kühlschranktür öffnet schwer](#), Lay Shazam
- [3] [Kühlschranktür öffnet schwer](#), Der-Nippes
- [4] [Kühlschranktür öffnet schwer](#), Brandysnap
- [5] [Kühlschranktür öffnet schwer](#), TPunkt
- [6] [Kühlschranktür öffnet schwer](#), Küchendonner
- [7] <https://www.leifiphysik.de/waermelehre/allgemeines-gasgesetz/aufgabe/abgedichteter-kuehlschrank>
- [8] [Sättigungsdampfdruck](#)