

Eine Freundin für kalte Tage: Die Wärmepumpe

geschrieben von AR Göhring | 27. Februar 2022

von Hans Hofmann-Reinecke

Als Wunderwaffe gegen CO₂ ist neuerdings eine Kandidatin ins Rampenlicht getreten, die verlangt, dass man sich näher mit ihr beschäftigt: die Wärmepumpe. Dieses Wunderwerk der Ingenieurskunst pumpt nicht etwa warmes Wasser oder warme Luft von A nach B, sondern bloße Wärme; und dabei spart sie jede Menge Energie. Das sollten wir uns mal näher anschauen.

Das Versprechen dieser Maschine ist:

„Für jede Kilowattstunde Wärme (= 860 Kilokalorien), die ich dir ins Wohnzimmer bringe, hole ich nur einen Bruchteil davon als Strom aus der Steckdose. Den Rest hole ich mir von der Luft da draußen.“

„Wie soll das gehen?“ werden Sie fragen, „wo es draußen doch viel kälter ist als hier drinnen. Im Garten liegt Schnee und ich will hier angenehme 22° haben!“ Ihre Frage ist mehr als berechtigt. Um sie zu beantworten müssen wir in die Physik einsteigen.

Der berühmte Zweite Hauptsatz

Eine Tasse mit heißem Kaffee nimmt nach ein paar Minuten die umgebende Zimmertemperatur an, denn die Wärme fließt immer spontan von Warm nach Kalt. Das ist eine Konsequenz des Zweiten Hauptsatzes, den ich hier nicht in seiner Allgemeinheit formulieren möchte. Er stellt sehr hohe Anforderungen an unsere kognitiven Fähigkeiten, und der Hinweis darauf, dass sein Schöpfer, ein gewisser Sadi Carnot, mit 36 Jahren in geistiger Umnachtung endete, soll uns als Warnung dienen.

Auf unser konkretes Beispiel angewandt fordert der Zweite Hauptsatz jedenfalls, dass der Kaffee sich nicht wieder spontan, auf Kosten der Umgebung, auf die alte Temperatur erhitzt – so etwas ist noch nie beobachtet worden.

Vielleicht protestieren Sie jetzt: Ihr Kühlschrank nimmt keineswegs spontan Zimmertemperatur an, im Gegenteil: er kühlt all die Köstlichkeiten aus dem Supermarkt auf vernünftige Kältegrade, um sie frisch zu halten. Woher kommt diese Kälte?

Dazu müssen wir eine weitere Gesetzmäßigkeit zu Rate ziehen.

Moleküle beim Stabhochsprung

Substanzen sind, je nach Umgebung, fest, flüssig oder gasförmig. Von Wasser wissen wir, dass es bei normalem Druck bis 100 °C durchaus flüssig ist, dann aber verdampft. Bei schwächerem Druck, etwa auf 8.000 m Bergeshöhe, verdampft es schon bei 75 °C. Druck und Temperatur bestimmen also, welchen Zustand eine Substanz annimmt.

Flüssig bedeutet, dass die Moleküle (z.B. im Wasser) in engstem Kontakt mit ihren Artgenossen sind und sich, je nach Temperatur, mehr oder weniger schnell bewegen. Zwischen den Molekülen besteht starke Anziehung, die sich zeigt, wenn sie im freien Fall aus den Wolken kleine Kugeln bilden – die Regentropfen.

Erhöht man die Temperatur, dann befreien sich die Moleküle aus ihrem Kollektiv. Sie benutzen ihre Bewegungsenergie, um die gegenseitige Anziehungskraft zu überwinden. Haben sie sich dann aus der Flüssigkeit befreit, ist ihr Schwung verloren. Das entstandene Gases ist jetzt deutlich kälter.

Diesen Effekt kann man beim Stabhochsprung beobachten. Da rast einer so schnell er kann auf die Sprunggrube zu und rammt diese Stange in den Boden, um sich in die Höhe zu katapultieren. Über der Latte angekommen, vielleicht in fünf Meter Höhe, verharrt er dann für eine Millisekunde fast bewegungslos in der Luft. Seine kinetische Energie ist jetzt null, er hat sie in potentielle Energie verwandelt.

Ein Lob der Schlange

Zurück zu unserem Kühlschrank. In dem befinden sich ja nicht nur Bierflaschen und Pizzas, sondern auch irgendwelche geheimnisvollen technischen Aggregate. Die treiben nun die Moleküle zum Stabhochsprung an!

Da wird eine geeignete Flüssigkeit durch einen Kompressor in eine schlangenförmige Rohrleitung gepresst, die außen, am Rücken des Kühlschranks befestigt ist. Oben kriecht die Schlange dann ins Innere und endet hier in einer Düse, welche die Flüssigkeit an eine zweite Rohrleitung weiter gibt. Das anderen Ende dieser zweiten Leitung ist ebenfalls mit dem Kompressor verbunden, allerdings auf der Seite, wo er ansaugt.

Kompressor und besagte Düse sind so dimensioniert, dass sich in der ersten Schlange ein Druck von 8 Bar aufbaut, während nach der Düse in der zweiten Schlange nur noch 1 Bar herrschen.

Die Kühlflüssigkeit, TFE genannt, ist nun so beschaffen, dass sie bei 8 Bar und Zimmertemperatur, d.h. in der äußeren Schlange, flüssig ist. Bei 1 Bar aber ist sie gasförmig.

Wenn das TFE nun durch die Düse in das interne Rohr gespritzt wird, dann

verwandelt es sich in ein Gas. Die Energie für die Loslösung von der Flüssigkeit, quasi der Anlauf jeden Moleküls für seinen Sprung in die Freiheit, kommt von der Wärme. Nach ihrem Sprung haben die Moleküle ihre thermische Bewegung eingebüßt und das entstehende Gas ist saukalt. Diese Kälte wird an die Wandungen der Rohrleitung weitergegeben, und von dort an die Bierflaschen und die Pizza.

Am Ende seiner Reise durch den Kühlschrank wird das Gas vom Kompressor wieder in Flüssigkeit verwandelt. Dabei wird die in die Gasbildung investierte Energie wieder frei – so wie der Stabhochspringer beim Aufprall am Boden auch wieder kinetische Energie hat. Die entstandene heiße Flüssigkeit wird dann durch die externe Leitung an der Rückseite des Kühlschranks wieder auf Zimmertemperatur abgekühlt.

Kühlschrank verkehrt

Der Kühlschrank pumpt quasi Wärmeenergie aus seinem Inneren nach außen; er ist eine Wärmepumpe. Würden wir ihn im Winter, mit geöffneter Türe in den Hauseingang stellen, so dass seine Rückseite mit der Schlangenleitung in die Wohnung ragt, dann könnten wir damit heizen. Wir würden der Außenluft Wärme entziehen und sie nach innen pumpen. Das würde natürlich nur dann Sinn machen, wenn es draußen kälter wäre als drinnen – sonst würden wir einfach die Fenster öffnen.

Womit wir bei der Wärmepumpe angekommen sind, der vermeintlichen Geheimwaffe gegen Global Warming. Beim Pumpen von Wärmeenergie zur Heizung von Heim und Badewasser geht es allerdings um andere Dimensionen als beim Kühlschrank. Unsere Wohnungen haben ein größeres Volumen; die Wärmeverluste die Wände und Fenster sind beträchtlich. Der jährliche Wärmebedarf liegt bei 10 – 20.000 kWh.

Das ist so, egal ob wir mit Kohle, Gas, Öl oder eben mit der Wärmepumpe heizen. Bei den fossilen Brennstoffen müssen wir allerdings die volle Wärmemenge durch ihr Verheizen erzeugen. Die Wärmepumpe verspricht uns jedoch, dass wir einen Teil der Wärme von der Umwelt geschenkt bekommen. Ja, auch wenn es draußen kalt ist, kann man der Luft oder gar dem Grundwasser immer noch einiges an Wärme rauben.

Die entscheidende Frage ist nun: wie viel Energie können wir oder und Wasser rauben, und was müssen wir selbst in den Raub investieren? Eines ist sicher: wir brauchen jetzt eine Maschinerie, die um ein paar Nummern größer ist, als der kleine Kerl, der im Kühlschrank so harmlos vor sich hin brummt. Was würde die wohl an Strom schlucken?

Unglaublich

Anders ausgedrückt: Das Wievielfache dessen, das wir in die Maschine stecken, bekommen wir als Wärme zurück? Da gibt uns die Physik eine Formel für die maximale theoretische Ausbeute:

$$\eta = T_H / (T_H - T_N)$$

T_H und T_N sind die beiden Temperaturen, zwischen denen die Wärme gepumpt wird, und η ist der Faktor des Vielfachen. Nehmen wir einen typischen Wintertag mit

draußen $T_N = -5^\circ\text{C} = 268$ Kelvin und

in der Wohnung $T_H = 20^\circ\text{C} = 293$ K,

dann bekommen wir $\eta = 293 / (293 - 268) \approx 12$

Das ist der Wahnsinn! Wir bekommen für hundert elektrische Watt, die wir in die Wärmepumpe stecken, 1.200 Watt an Wärme zurück. Worauf warten wir noch?

Wie in so vielen Situationen ist die maximale theoretische Ausbeute weit höher als die praktisch erzielbare. Erfahrungswerte für η liegen im Bereich von 3 bis 4. Das liegt daran, dass Motor und Kompressor einen Wirkungsgrad von weniger als 100% haben, und insbesondere auch daran, dass es nicht so einfach ist, der Außenluft ihre Wärme zu entziehen.

Stellen Sie sich die meist eisbedeckte Kühlturbine im Inneren Ihres Kühlschranks vor, aber hundertmal so groß. Die hängen Sie jetzt draußen an die Hauswand, damit sie sich aus der -5°C kalten Luft die Wärme holt, die Sie ins Haus pumpen wollen. Die Turbine ist natürlich noch kälter als die Luft – sonst würde sie ihr ja keine Wärme entziehen – und sieht bald so aus, wie eine Tanne an weißen Weihnachten. Dadurch wird der Wärmeaustausch mit der Luft schlecht, die Turbine kühlt sich weiter ab, und das tatsächliche Temperaturgefälle, das überwunden werden muss, beträgt jetzt vielleicht 45°C , nämlich von -25°C an der Turbine auf 20°C in der Wohnung. Der theoretische Wirkungsgrad sinkt dann auf

$\eta = 293 / 45 = 6,5$

Um die Riesenkühlturbine eisfrei und auf Lufttemperatur zu halten müssen wir ein Gebläse installieren – und was für eines. Das braucht viel Strom und macht viel Krach. Sie kennen dieses Geräusch von Ihren sommerlichen USA Reisen, wo solche Aggregate auf Dächern und in Hinterhöfen Tag und Nacht ihre Arbeit tun – allerdings zum Kühlen, und nicht zum Heizen.

Das grüne Image

Auch wenn sie letztlich vielleicht nur einen Wirkungsgrad von 3 hat – ist die Wärmepumpe dennoch eine ernst zu nehmende Waffe gegen CO₂? Gegenfrage: woher soll der Strom für ihren Betrieb kommen?

Falls der aus Kohle- oder Gaskraftwerken käme, die nur 40% der verbrauchten Primärenergie in Strom verwandeln, dann wäre das eine schlechte Bilanz. Es wäre dann ökonomischer und ökologischer, das Gas oder das Öl oder die Kohle direkt in die hauseigene Zentralheizung zu füttern, oder aber, die im Kraftwerk anfallende Hitze durch Fernwärme zu

nutzen, so wie im guten alten Heizkraftwerk.

Käme der Strom aber aus Windenergie, dann würde die Wärmepumpe kaum CO₂ produzieren. Der Wind müsste natürlich im richtigen Moment blasen. Allerdings hält die Temperatur von Wohnung und Wasser ja längere vor, sodass die momentane Verfügbarkeit nicht so wichtig ist, wie beim Betrieb eines Fahrstuhls im Wolkenkratzer oder der Beleuchtung einer *Shopping Mall*. Und käme der Strom aus Kernkraftwerken, dann wären wir ohnehin alle Sorgen in Sachen CO₂ los

So steht die Wärmepumpe unter dem Verdacht, ihr forcierter Einsatz sei nicht Resultat einer kritischen ökonomisch / ökologisch / technologischen Analyse, sondern dass ihr alternatives Image genügt, um sie zu mit großzügigen Subventionen in den Markt zu drücken, ähnlich wie die E-Autos. Hersteller und Installateure ziehen natürlich auch hier gerne gemeinsam mit der Politik Strang.

Dieser Artikel erschien zuerst im Blog des Autors Think-Again. Sein Bestseller „Grün und Dumm“ ist bei Amazon erhältlich.