

## Die Physihexe ...heute: Weihnachtliche Wärmekraftmaschine

Zu den schönsten Spielereien mit Kerzen gehören zweifelsohne die Weihnachtspyramiden (Abb. 1), die es in den unterschiedlichsten Ausführungen zu kaufen gibt. Hinter dem gemächlichen Rundlauf der Figuren stecken als Antrieb natürlich die nach oben steigenden heißen Gase der brennenden Kerzen. So eine Weihnachtspyramide ist eine Wärmekraftmaschine in einfachster Form: Das heiße Verbrennungsgas ersetzt den Dampf, das Flügelrad stellt den Vorläufer der Turbine dar.



Abb. 1: Weihnachtspyramide aus dem Erzgebirge (© H. Dittmar-Ilgen)  
(Wegen des relativ großen Abstandes zwischen den Kerzen und dem Flügelrad dreht sie sich übrigens hervorragend.)

So eine kleine Wärmekraftmaschine, eine drehende Mühle, kann mit wenig Aufwand selbst gebaut werden. Für den Selbstbau klebt man in einen durchbohrten Korken ein mit Knete verstopftes Röhrchen. Nun in gleichen Abständen ringsherum in den Korken kleinere, schräge Einschnitte mit einem Messer anbringen. In diese fügt man flügelartige Abschnitte aus dünnem Karton ein. Um das Flügelrad über einer Kerze zu befestigen, stecken Sie am besten eine Stricknadel in ein Korkstück, das Sie auf eine festere Unterlage geklebt haben. Nun das Flügelrad vorsichtig auf dem anderen Ende der Nadel deponieren. Nun können Sie kleinere Kerzen oder Teelichter unter ihre Wärmemühle stellen. Wie Sie feststellen werden, genügt es, wenn ein Teil des Flügelrades sich im Strom der aufsteigenden Luft befindet. Eine besonders einfache Wärmemühle entsteht, wenn Sie eine spiralige Papierschlange ausschneiden und diese vorsichtig auf eine dünne Nadel spießen. Solche Spiralen sieht man auch ab und zu in Geschäften als Dekorationsobjekte. Sie drehen sich in der aufsteigenden warmen Zimmerluft sehr grazil. Bei guter Lagerung ergeben sich unerwartete Drehgeschwindigkeiten, obwohl der

Wirkungsgrad der Maschine nur sehr klein ist: Tatsächlich geht nur ein winziger Anteil der Wärmeleistung einer Kerze in die Konvektion der Verbrennungsgase, und auch diese gelangen nicht komplett zum Flügel und treiben ihn an.

Wie erwartet, hängt die rasante Drehfahrt unseres Wärmekraftwerkes entscheidend von der Stellung der Flügel ab. Vollkommen flach gestellt, bieten Sie dem Aufwind zwar eine größtmögliche Angriffsfläche, die Luft staut sich jedoch unter ihnen und bremst den Aufwind ab. Sehr steile Flügel beheben dieses Problem, bieten jedoch nur eine minimale Angriffsfläche. Außerdem wird die aufsteigende Luft durch den Fahrtwind leicht abgelenkt; der optimale Anstellwinkel ist also auch abhängig von der Drehgeschwindigkeit. Die Effizienz der Mühle hängt natürlich auch von der Geschwindigkeit<sup>1</sup> des heißen Luftstroms ab, also von der Temperaturdifferenz zwischen Flamme und Umgebung. Erstaunlich ist allerdings, dass ein kleiner Abstand zwischen Kerze und Flügelrad für einen raschen Umlauf ungünstig ist. Die Gase der Kerze sind zwar sehr heiß, erreichen aber auf ihrem kurzen Aufstiegsweg keine großen Geschwindigkeiten, die für einen guten Antrieb notwendig sind. Man kann dies vergleichen mit einer Heizung, die einen zu kurzen Schornstein besitzt, der nicht zieht.

**Blick über den Tellerrand:** Dem Prinzip der Weihnachtspyramide folgen Aufwindkraftwerke, die den Auftrieb heißer Luft nutzen und dabei sehr umweltverträglich elektrischen Strom erzeugen. Energielieferant für die heißen Gase ist dabei jedoch nicht die Verbrennung wie bei der Kerze, sondern die Sonneneinstrahlung. Solch ein Aufwindkraftwerk besteht aus einem großen, kreisförmigen Dach aus Glas oder Folie, unter dem sich die Luft bei Sonneneinstrahlung stark erhitzt. Im Zentrum des Kraftwerkes befindet sich ein hoher Kamin, in dem die erhitzte Luft aufsteigt und dabei eingebaute Turbinen antreibt. Der Kamineffekt verstärkt den Auftrieb zusätzlich und wächst mit der Höhe des Kamins. Kühle Umgebungsluft strömt an den Rändern von außen nach. Nachteilig ist, dass nur die Bewegungsenergie der aufsteigenden Luft genutzt wird, die Wärmeenergie der Luft strömt ungenutzt zum Kamin hinaus.

Schon 1980 wurde in der sonnenreichen spanischen Ebene von La Mancha das Aufwindkraftwerk Manzares als Pilotanlage errichtet. Immerhin konnte das Kraftwerk in den 1980er Jahren eine elektrische Leistung von bis zu 50 kW erbringen. Der Sonnenkollektor hat einen Durchmesser von 240 m, der Kamin ist bei 10 m Durchmesser fast 200 m hoch. Leider musste das Kraftwerk 1989 demontiert werden, weil ein Sturm den Kamin umgeworfen hatte. Dieser Unfall zeigt auch das ingenieurtechnische Hauptproblem beim Bau solcher Kraftwerke auf: Der Kamin muss eine ausreichende Standfestigkeit gegenüber Belastungen haben. Geplant ist nun die Errichtung eines wesentlich größeren Aufwindkraftwerkes im Südosten von Australien. Das Glasdach wird dabei mit einem Durchmesser von vier Kilometern über dem Boden liegen, der Kamin soll eine Höhe von 1000 m bei einem Durchmesser von 130 m erreichen. Die Anlage ist für eine elektrische Leistung von 200 MW konzipiert. Ein solches Kraftwerk könnte etwa 200 000 Menschen mit Strom versorgen.

### **Übrigens: Kerzenflammen sind manchmal eigensinnig**

Schon beim leichten Hin- und Herschwenken einer Laterne, bei der sich die Kerzenflamme hinter Glas befindet, kann man erste Erfahrungen mit dieser Eigensinnigkeit sammeln. Die Flamme bewegt sich folgerichtig von einer Seite zur anderen, bei genauerer Beobachtung bemerkt man aber, dass sich die Flamme erstaunlicherweise in die gleiche Richtung wie die ganze Laterne bewegt; die Flamme folgt der Laternenbewegung sogar äußerst gehorsam. Das

---

<sup>1</sup> Genauer: vom Quadrat der Geschwindigkeit

Verhalten der Kerze sollte erstaunen, denn führt man den gleichen Versuch mit einem Eimer Wasser durch, kann es schnell passieren, dass sich das Wasser am entgegen gesetzten Rand des Eimers staut und dort überschwappt. Es kann in seiner Trägheit der Bewegung nicht folgen. Doch warum verhält sich die Kerzenflamme nicht genauso wie Wasser? Die wesentliche Rolle spielt bei der Kerzenflamme das Zusammenspiel mit der umgebenden Luft, das beim Wasser unerheblich ist. In der Laterne haben wir es mit Luft unterschiedlicher Temperatur und Dichte zu tun. Die kühleren Anteile verhalten sich genauso träge wie das Wasser im Eimer; sie verdichten sich im hinteren Teil der Laterne. Die heiße, flexible Flamme aber weicht jedes Mal zur luftverdünnten Seite hin aus und folgt damit der Bewegung der Laterne äußerst gehorsam.

Einen ähnlichen Versuch können Sie mit einem Windlicht, also einer Kerze mit Windschutz aus Glas, durchführen. Halten Sie das brennende Windlicht in der Hand und drehen Sie sich mit ihm im Kreis herum. Alternativ können Sie ihre Kerze auch in einem ausreichend großen Becherglas befestigen. Nun kann ihre Kerze auf einem Drehstuhl oder altem Plattenspieler Karussell fahren. Wählen Sie dabei ihre Geschwindigkeit so, dass Sie das Verhalten der Kerzenflamme gut beobachten können, vielleicht müssen Sie das Glas zusätzlich gegen Wegrutschen sichern. Wahrscheinlich haben Sie vermutet, dass die Flamme der Zentrifugalkraft folgt, die auch Sie in ihrem Arm bei der Drehbewegung spüren, und sich nach außen wendet. Die Kerzenflamme neigt sich aber deutlich nach innen. Auch in diesem Versuch spielen Kräfte auf Gase unterschiedlicher Temperatur die Hauptrolle: Die Zentrifugalkraft wirkt bei der Kreisbewegung auf die kalten, dichten Luftschichten im Windlicht stärker als auf die leichten Gase der Kerzenflamme. Die kühlere Luft wird nach außen gedrängt, zum Mittelpunkt hin nimmt die Dichte der Teilchen immer mehr ab. Wie im Laternenversuch drängt die Flamme in diesen Bereich verminderten Druckes hinein.

**Auch das noch...** Auf meiner Internetseite [www.physikhexe.de](http://www.physikhexe.de) habe ich diesen Physikartikel (und auch alle anderen Werke der Physikhexe) als PDF hinterlegt. Und man erfährt mehr über mich, meine Arbeit und meine Bücher. Fragen ist wie immer ausdrücklich erlaubt, Mail genügt.

Und ja, natürlich: **Viel Spaß beim Schmökern!**