

... DER ZUG IM SCHORNSTEIN?

Bällebad plus Stahlkugeln

Eine geheimnisvolle Kraft transportiert seit Jahrtausenden Abgase jeder Feuerung irgendwie nach oben. Meistens jedenfalls. Handelt es sich um einen zufälligen Reflex der Natur oder stecken physikalische Gesetze dahinter?

Wenn Sie sich an das Prinzip des Schornsteinzugs erinnern wollen, lassen Sie gedanklich eine Eisenkugel ins Bällebad fallen...

Wer schon so fragt, der will natürlich auf die physikalischen Gesetze hinaus. Also, warum treiben sich erwärmte Gase und sogar deren feste Bestandteile, wie Ruß, von selbst in die Höhe? Wieso klappt das regelmäßig, aber nicht immer? Welchen Einfluss haben äußere Umstände auf diesen Vorgang?

EINE SCHLICHTE FORMEL

Um den sogenannten Schweredruck in Flüssigkeiten oder Gasen zu bestimmen, existiert eine leicht verständliche Formel:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

p als Druck in Pascal (Pa)

h als Höhe für eine betrachtete Flüssigkeits- oder Gassäule in Meter (m)

ρ (sprich rho) für die spezifische Dichte der betrachteten Flüssigkeits- oder Gassäule in Kilogramm pro Kubikmeter (kg/m^3)

g für die Beschleunigung in Meter pro Quadratsekunde (m/s^2)

Also, sage mir, wie hoch eine Flüssigkeits- oder Gassäule ist, wie viel ein Kubikmeter dieser Säule wiegt und welche Erdbeschleunigung wirkt und ich sage dir, welcher Druck herrscht.

Als Wert der Beschleunigung wird meistens die Erdbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ angenommen.

Beispiel:

Welchen Druck übt eine 10 m hohe Luftsäule aus, bei einer angenommenen Dichte von $1,225 \text{ kg/m}^3$?

Gesucht: p in Pa

$$h = 10 \text{ m}$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (Erdbeschleunigung)}$$

Eingesetzt in die Formel:

$$p = 10 \text{ m} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p = 120 \text{ Pa}$$

Der Druck beträgt also rund 120 Pascal.

Der Wert für die in dem Beispiel angenommene Dichte gilt für Luft bei einer Temperatur von 15°C . Würde man diese Luftsäule erwärmen, beispielsweise auf 30°C , so würden sich die Luftmoleküle durch die intensivere Tanzbewegung voneinander entfernen. Das Gewicht pro Kubikmeter würde sich also verringern auf $1,1644 \text{ kg/m}^3$. Der Druck dieser Luftsäule, ebenfalls gerechnet auf 10 m Höhe, würde sich verringern auf

$$p = 10 \text{ m} \cdot 1,1644 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p = 114 \text{ Pa}$$

Am Fuße der Zehnmeterrohre mit 15°C herrscht also ein höherer Druck als bei einer Zehnmeterrohre mit 30°C . Würde man beide Röhren miteinander verbinden, würde die „schwere“ Luft von 15°C die „leichte“ Luft von 30°C nach oben aus der Röhre herausdrücken. Wie ein Bällebad mit hohlen und federleichten, bunten Kugeln, in das man schwere Stahlkugeln wirft. Die Stahlkugeln drücken die Bälle hinaus, weil sie schwerer sind. Antrieb ist die Druckdifferenz, also im Beispiel $120 \text{ Pa} - 114 \text{ Pa} = 6 \text{ Pa}$.

DIE FOLGERUNGEN

Dieser beschriebene Vorgang wird umgangssprachlich als Schornsteinzug bezeichnet. Der Hohlkörper, in dem erwärmte Luft aufsteigt, ist wie in dem beschriebenen Beispiel vorhanden und notwendig. Die zweite Röhre im Beispiel diente nur der Veranschaulichung. Denn wenn beide Röhren, also die warme und die kalte, nach oben offen sind, steht ja auf beiden der gleiche zusätzliche Atmosphärendruck. Wirksam ist einzig der Dichteunterschied, hervorgerufen durch die Erwärmung und die Höhe der Röhre. Der Druckunterschied lässt sich also abgekürzt in einer Formel wie folgt darstellen:

$$\Delta p = h \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g$$

Aus dem Beispiel geht daher hervor:

$$\Delta p = 10 \text{ m} \cdot (1,225 - 1,1644) \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = 10 \text{ m} \cdot 0,0606 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = 6 \text{ Pa}$$

Die Druckdifferenz ergibt sich also aus der Höhe der Säule, multipliziert mit der Dichtedifferenz, multipliziert mit der Erdbeschleunigung. Da also niemand an den aufsteigenden Gasmolekülen zieht, dürfte es streng genommen auch nicht Zug heißen. Einige Lehrkörper reagieren da sehr allergisch. Umgangssprachlich wird man aber verstanden, wenn man



DICTIONARY

Druckdifferenz	=	pressure difference
Erdbeschleunigung	=	gravity acceleratio
Formel	=	formula
Kamin	=	fireplace
Schornstein	=	chimney



von Kamin- oder Schornsteinzug spricht anstelle von Kamin-
druck. Die im Beispiel errechnete Druckdifferenz ist äußerst
gering und entspricht einer Wassersäule von 0,6mm (!), ein
kaum wahrnehmbarer Wassertropfen auf der Fingerkuppe.
Da dürfte es klar sein, dass die Luftmoleküle nicht wie wild
nach oben gerissen werden, sondern eher dahinschleichen.
Um die Abgase eines offenen Kamins abzutransportieren,
benötigt man dann schon eine höhere Geschwindigkeit. Die-
se lässt sich durch die wesentlich höheren Temperaturen der
Feuerung um die 200°C aber auch locker erzielen. Ein Brenn-
wertkessel mit 50°C Abgastemperatur schafft diese Hürde
indessen nicht und wird daher gebläseunterstützt das Abgas
nach draußen treiben. Die wirksame Schornsteinhöhe ist, als
zweiter Einflussfaktor, ebenfalls entsprechend wichtig. In der
Praxis sind Schornsteine selten unter 4,50m anzutreffen. Und
das Kaminfeuer im Erdgeschoss-Wohnzimmer hat ungleich
mehr Zug als das Gegenstück im Spitzboden.

EIN BISSCHEN NÜTZLICHES

Die Temperatur der Abgase sinkt natürlich auf dem Weg nach
oben durch den Schornstein ständig ab. Um den Zug aufrecht
zu erhalten, kann eine geeignete Dämmung des Kamins und
natürlich auch der Verbindungsrohre erfolgen. Das Tempera-
turniveau bleibt dadurch länger erhalten und der Zug bleibt
konstanter. In der Praxis wird man diesen Temperaturein-
fluss beim Anheizen eines Kamins feststellen können. Ist der
Schornstein noch kalt, fällt der Zug deutlich geringer aus als
später, nach einer gewissen Erwärmung des Schornsteins. Bei
den beschriebenen niedrigen Differenzdrücken muss mit den
Widerständen im Kamin vorsichtig umgegangen werden.
Jede Krümmung ist als Widerstand anzusehen und je rauer
ein Schornstein von innen ist, desto stärker wird das Abgas
gebremst. Um letztlich ein angepasstes Abgassystem auswäh-
len zu können, gilt es einiges zu beachten. Daher sind die
Auslegungsformeln der Schornsteinhersteller auch sehr um-
fangreich. Die physikalischen Hintergründe lassen sich aber,
wie gezeigt, sehr einfach herleiten.

Ein Blick von unterhalb der transparenten
Abdeckung auf den Kamin eines Aufwind-
kraftwerkes



Hier strömt die Luft in den riesigen Kamin eines Naturzugkühlturms

ANDERER NUTZEN MÖGLICH?

Die sogenannten Schachtlüftungen beruhen auf dem Kamin-effekt und arbeiten ohne Gebläse. Die Berliner, Dortmunder oder Kölner Lüftung sind Beispiele, wie man auch innenliegende Bäder entlüften und damit entfeuchten konnte. Immer dichtere Gebäude und insbesondere dichtere Fenster machen heutzutage aber den Einsatz von Gebläsen notwendig. Den Kaminzug kann man übrigens auch zum Antrieb eines stromerzeugenden Generators nutzen. Dazu hängt man eine – wie ein kleines Windkraftwerk aufgebaute – Maschine in eine senkrechte Röhre von vielleicht 100 m Höhe. Am Fuße dieser Röhre errichtet man transparente Abdeckungen im Luftzulauf dieser Röhre. Erwärmt die Sonne die Luft unter diesen Scheiben, so entsteht eine Luftbewegung durch die Röhre nach oben, die den Propeller zum Drehen bringt und so Strom erzeugt. Wenn überhaupt, dann lohnen sich solche Aufwindkraftwerke zurzeit nur in sonnenreichen Wüstenregionen. Versuchsanlagen nach diesem Schema aus den Achtzigern des letzten Jahrhunderts sind nicht mehr in Betrieb. Der Kamineffekt wird immer noch zur Kühlung von Großkraftwerken genutzt. Auch hier werden riesige Röhren in die Landschaft gestellt, die im Fußbereich eine Anzahl von Öffnungen aufweisen für den Zustrom der Kühlluft. Eine sehr effiziente Technik, die ohne große Kühlwassermengen aus Flüssen auskommt, wie es sonst üblich ist. Kraftwerke mit solchen Naturzugkühltürmen können also auch fern von Flüssen aufgebaut werden.

Auftrieb wird also nicht nur im Schornstein gebraucht. Wer die physikalischen Zusammenhänge um Höhe, Dichte und Erdbeschleunigung kennt, der kann sich (und anderen) so manches weitere technische Phänomen erklären. ■