

Der Druck: Teil 4

4. Zusammenhang zwischen Druck und Energie

4.1. Lernziele

Nachdem Sie dieses Kapitel bearbeitet haben können Sie:

- den Begriff Druck auch alternativ mit Hilfe der Grösse Energie definieren
- angeben, weshalb Druck und Energie eng verknüpft sind
- kennen Sie den Zusammenhang der Einheiten Pascal und Joule
- angeben, weshalb Maschinen, die mit hohem Druck arbeiten, potentiell gefährlich sind

4.2. Stoffinhalt

Bearbeiten und studieren Sie die Seite 133 sowie das Kapitel 3.5.1, insbesondere S.168 (ohne 2. Hauptsatz der Wärmelehre).

Mechanische Arbeit bei Kompression (resp. Expansion) eines Gases.

In einem Zylinder, der durch einen Kolben abgeschlossen ist, befindet sich eine bestimmte Menge Gas. Der Kolben wird mit einer konstanten Kraft F langsam um eine kleine Wegstrecke Δs hineingeschoben. Dabei wird mechanische Arbeit verrichtet. Der Druck im Gas kann als konstant angesehen werden, da der Kolben nur um eine kleine Strecke Δs verschoben wird. Für die mechanische Arbeit W gilt bei konstanter Kraft F :

$$W = F \cdot \Delta s$$

Mit $F = p \cdot A$ wobei p der Druck im Gas und A die Stempel­fläche darstellt, erhält man:

$$W = p \cdot A \cdot \Delta s$$

Der Term $A \cdot \Delta s$ ist gleich der Volumenänderung $\Delta V = V_2 - V_1$. Beachtet man, dass bei Volumenverkleinerung diese Differenz negativ wird, so erhalten wir für die verrichtete Arbeit W als Formel:

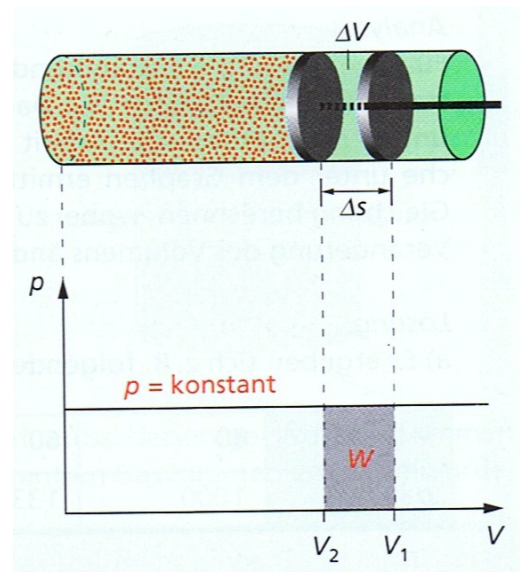
$$W = -p \cdot \Delta V \quad (*)$$

Falls der Druck nicht konstant bleibt, so gilt dies auch für die Kraft. In diesem Fall kann die Arbeit mit Hilfe eines Integrals berechnet werden (→ später im Mathematikunterricht: Analysis). Da sich durch die Arbeit, die am Gas (z.B. bei einer Pumpe) oder vom Gas (z.B. im Kolben eines Motors) verrichtet wird, das Volumen ändert, bezeichnet man diese Art von Arbeit als **Volumenarbeit** oder als **Volumenänderungsarbeit**.

Lösen wir die Gleichung (*) nach dem Druck p auf so erhalten wir:

$$p = \frac{W}{\Delta V} = \frac{\Delta E}{\Delta V} \quad \text{wobei } \Delta E \text{ der Energieänderung entspricht, welche in Arbeit umgewandelt wurde.}$$

D.h. der Druck entspricht der Energieänderung ΔE , die in einem bestimmten Volumen ΔV gespeichert ist. Daher kann man sagen, dass der **Druck p** einer **Energiedichte** entspricht. An Orten hohen Drucks, also hoher Energiedichte, kann viel Energie freigesetzt werden, was potentiell gefährlich ist, z.B., wenn diese Energie schlagartig freigesetzt wird. Beispiele: Zerplatzen eines Ballons, Explodieren einer Bombe, ... etc. (→ Aufgabe 2 im Kapitel 1!)



4.3. Weitere gemischte Übungsaufgaben zum SOL-Projekt „Druck“

Weitere Übungsaufgaben stehen Ihnen auch in diesem Kapitel zur Verfügung. Ausserdem finden Sie in jedem Kapitel Aufgaben inkl. Musterlösungen. Diese Aufgaben sind integraler Bestandteil des SOL-Projektes und relevant für die Prüfung. Sie sollen jede Aufgabe selbstständig lösen können.

1. Luftpumpe

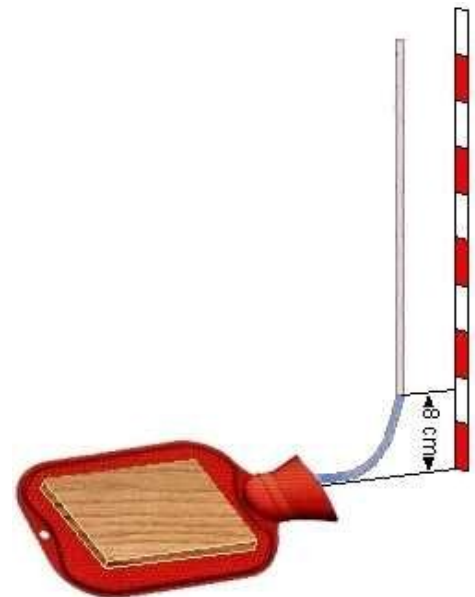
Eine in einer Luftpumpe eingeschlossene Luftmenge wird durch *langsames* Hineindrücken des Kolbens von 80 cm^3 auf 20 cm^3 komprimiert. Der anfängliche Druck (= Luftdruck) beträgt 1000 hPa. Beachten Sie, dass das Volumen in m^3 gemessen werden muss, damit Sie die passenden SI-Einheiten haben!

- Zeichnen Sie für diese Zustandsänderung das p-V-Diagramm. Beachten Sie, dass langsames Hineinhindrücken einer isothermen Zustandsänderung entspricht. Wie Sie aus dem Chemieunterricht wissen, gilt für diesen Fall $T = \text{konstant}$ und damit nach der Gasgleichung des idealen Gases: $p \cdot V = \text{konstant}$.
- Wie gross ist die zur Kompression erforderliche Arbeit? *Anleitung:* Beachten Sie, dass der Druck in diesem Beispiel nicht konstant bleibt. Daher können Sie die Arbeit nicht mit einer Formel berechnen (Integralrechnung notwendig). Dagegen können Sie die Arbeit direkt unter der p(V)-Kurve im p-V-Diagramm ablesen (\rightarrow Theorieteil in diesem Kapitel). Zerlegen Sie die krummlinig begrenzte Fläche, die der Arbeit W entspricht in kleinere gleich grosse Rechtecke oder Quadrate und zählen Sie diese. Jedem Rechteck (Quadrat) entspricht einer Teilarbeit, die in Joule angegeben werden kann.

2. Eine Personenwaage selbst bauen:

Eine Personenwaage kann man sich selbst mit einfachen Mitteln herstellen. In den Stöpsel einer Wärme flasche bohrt man sich hierzu ein Loch, in das man ein passendes Röhrchen klebt. Über das herausstehende Ende des Röhrchens schiebt man das eine Ende eines ca. 2 m langen, dünnen, durchsichtigen Plastikschlauchs. Die Flasche wird vollständig mit Wasser gefüllt, der Schlauch wird vertikal aufgehängt. Als Standfläche benötigt man noch ein Brett – in unserer Aufgabe soll es 18 cm breit und 20 cm lang sein.

- Im Schlauch steht das Wasser anfänglich 8 cm hoch. Wie hoch ist der Druck im Gummigefäss?
- Jetzt stellt sich ein Mädchen mit der Masse 45 kg auf das Brettchen. Wie gross ist jetzt der Druck in der Wärme flasche?
- Wie hoch steigt das Wasser im Schlauch?



Lösungen

1. Luftpumpe

Analyse:

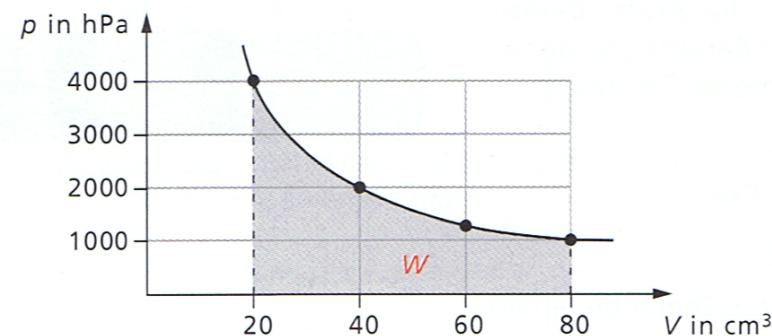
Für eine isotherme Zustandsänderung ($T = \text{konstant}$) gilt $p \cdot V = \text{konstant}$ oder $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$. Daraus ergeben sich Wertepaare für p und V . Die mechanische Arbeit kann man durch Auszählen der Fläche unter dem Graphen ermitteln oder mit der oben genannten Gleichung berechnen, wobei zu beachten ist, dass sich der Druck mit Veränderung des Volumens ändert.

Lösung:

a) Es ergeben sich z. B. folgende Wertepaare:

$V \text{ in cm}^3$	80	60	40	20
$p \text{ in hPa}$	1000	1333	2000	4000

Damit erhält man folgendes Diagramm:



b) Durch Auszählen der Fläche unter dem Graphen erhält man für die mechanische Arbeit einen Betrag von etwa 11 J

Hinweis zur Berechnung der Arbeit: Eine rechteckige Fläche im p - V -Diagramm von 1000 hPa Höhe und 20 cm^3 Länge entspricht einer Teilarbeit $\Delta W = 10^5 \text{ Pa} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 2.0 \text{ J}$. Die grau schraffierte Fläche entspricht damit ungefähr einer Arbeit $W = 11 \text{ J}$.

2. Personenwaage

a) Der Druck durch die 8 cm hoch stehende Wassersäule kann mit der Formel für den Schweredruck berechnet werden:

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

Mit $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ für Wasser, $g = 10 \text{ N/kg}$ und $h = 0.08 \text{ m}$ finden wir:

$$p = 800 \text{ Pa}$$

b) Jetzt wirkt zusätzlich der Druck infolge des Mädchens auf die Bettflasche. D.h. wir berechnen zuerst den zusätzlichen Druck p_M :

$$p_M = F/A = m \cdot g / (a \cdot b) = 45 \cdot 10 \text{ N} / (0.18 \cdot 0.20) \text{ m}^2 = 450 / 0.036 \text{ Pa} = 12500 \text{ Pa}$$

Der Druck in der Wärmeflasche beträgt jetzt 13300 Pa. (Oder auch rund 13000 Pa, da eigentlich auf zwei wesentliche Stellen gerundet werden muss.)

c) Aus Aufgabe a) wissen wir, dass 800 Pa einer Höhe von 8 cm entsprechen. Damit steigt das Wasser jetzt 130 cm hoch.

Quellenangaben zu den Aufgaben

Die Theorie und die Aufgaben stammen aus den folgenden Quellen. Sie sind zum Teil überarbeitet und ergänzt, resp. auch abgeändert.

Duden, Physik, Basiswissen Schule – „Abitur“, ISBN : 978-3-89818-076-4

Physik anwenden und verstehen, B. Cappelli et al., Orell Füssli Verlag AG, 2. Auflage (2006)

www.leifiphysik.de

www.montgelas-gymnasium.de/physik