

Thermodynamik der Atmosphäre II

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

- Die **Gesamtenergie** in einem **geschlossenen** System bleibt erhalten.
- „**geschlossen**“ steht hier für thermisch isoliert
- Mit „**Gesamtenergie**“ sind alle Arten von Energie gemeint, z.B., kinetische, potentielle, innere Energie.
- Die **innere Energie** eines Systems schließt die **kinetische** und **potentielle Energie** der Moleküle bzw. Atome ein.
- Wenn der kinetische Anteil der inneren Energie ansteigt (d.h. die Teilchen bewegen sich im Mittel schneller), dann erhöht sich die Temperatur des Materials.
- Die potentielle Energie der Moleküle ist durch ihre Anordnung relativ zu den Nachbarteilchen bestimmt.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 2

- Die Ursprünge des Ersten Hauptsatzes liegen im 19. Jahrhundert.
- Eine hervorragende Beschreibung der geschichtlichen Entwicklung findet man in einem Buch von Angrist und Hepler (1967). Das Buch heißt „**Order and Chaos**“.
- Ich werde nur die wichtigsten Arbeiten kurz vorstellen.
- **Julius Robert Mayer** segelte als Schiffsarzt 1840 nach Java.
- Auf der Reise ist ihm aufgefallen, daß das Blut der Schiffsmannschaft in den Tropen eine intensivere Rotfärbung hatte.
- Es war damals schon bekannt, woher die rote Farbe des Blutes kommt: Vom Sauerstoff, der (noch) nicht zu Energiegewinnung des Körpers oxidiert wurde.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 3

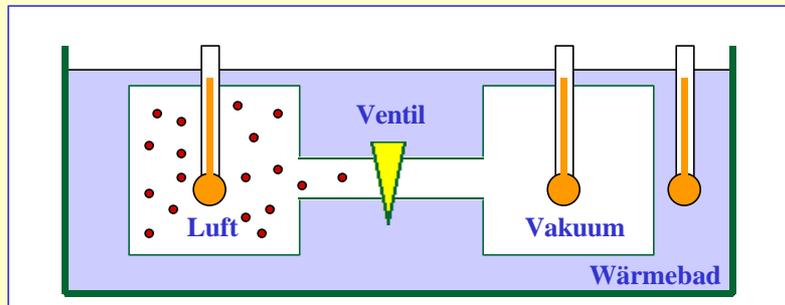
- Mayer schloß daraus, daß zur Produktion der Körperwärme auf Java, eine geringere Verbrennungsrate ausreicht wie in Deutschland.
- Er vermutete weiter folgendes:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Durch Verbrennung} \\ \text{erstandene Wärme} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Wärmeverlust} \\ \text{durch den Körper} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{vom Körper} \\ \text{verrichtet Arbeit} \end{array} \right]$$

- Ihm kam die Idee, einen Zusammenhang zwischen Wärme und Arbeit zu sehen.
- Er zeigte, daß sich die Temperatur beim Schütteln von Wasser erhöht.
- Es bestand jedoch die Unsicherheit, ob die Wärme nicht von seinen Händen stammen könnte.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 4

- Mayer wiederholte ein altes Experiment von Guy-Lussac (1807):



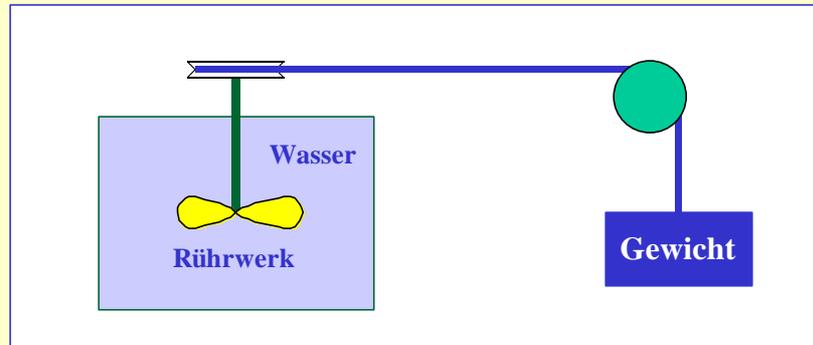
- Nach dem Öffnen des Ventils strömt die Luft in die Leere Kammer. Dabei werden die Temperaturen gemessen.
- Mayer wies darauf hin, daß das Gas bei der Expansion keine Arbeit verrichtet (dies wäre der Fall, wenn z.B. ein Kolben gegen den Außendruck bewegt wird).
- Deshalb bleibt der Wärmegehalt unverändert und damit auch die Temperatur.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 5

- Mayers Arbeit wurde lange Zeit nicht akzeptiert und erst als alter Mann fand er Anerkennung.
- **Hermann von Helmholtz: 1847** rechtfertigte er als 26-jähriger in einer Veröffentlichung die allgemeine Formulierung des Energieerhaltungssatzes.
- Grundlage war die Beobachtung, daß es **kein perpetuum mobile** gibt.
- Er zeigte, daß Wärme genauso wie die anderen Energieformen berücksichtigt werden muß.
- **Joule** (Versuche zwischen 1840 und 1845)

Der Schlüsselversuch

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 6



- Joule schloß daraus

Mechanische Energie \leftrightarrow Wärme

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 7

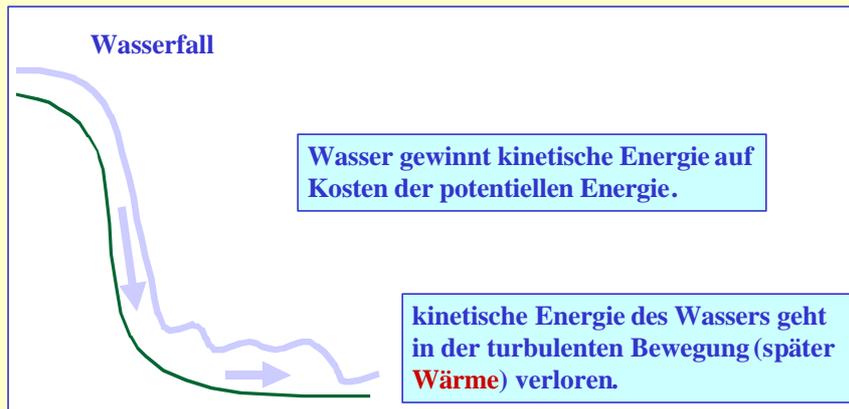
- Joule zeigte experimentell, daß die durch mechanische Arbeit ΔW entstandene Wärmemenge ΔQ (gemessen in Kalorien) ΔQ proportional ist,

$$\Rightarrow \Delta Q \sim \Delta W$$

- Die Proportionalitätskonstante heißt **mechanisches Wärmeäquivalent**: $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$.
- Die **Kalorie** (abgekürzt: cal) wurde als die Wärmemenge definiert, die erforderlich ist, um 1 g Wasser von $14,5^\circ\text{C}$ auf $15,5^\circ\text{C}$ um 1°C zu erwärmen.
- Die Einheit Kalorie wird heute nicht mehr verwendet. Wärmemenge mißt man in **Joule** (abgek. J).

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 8

- Joule war ein sehr begeisterter Experimentator.
- Während der Flitterwochen in der Schweiz versuchte er, die Temperaturänderung des Wassers vor und nach einem Wasserfall zu bestimmen:

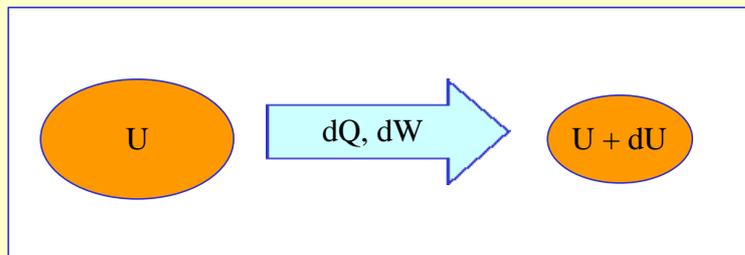


Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 9

- Joule zeigte, daß für ein thermisches isoliertes System,

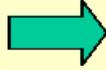
$$dU = dQ + dW$$

- dU = die Erhöhung der inneren Energie
- dQ = die zugeführte Wärmemenge
- dW = die auf das Gas verrichtete Arbeit.



Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 10

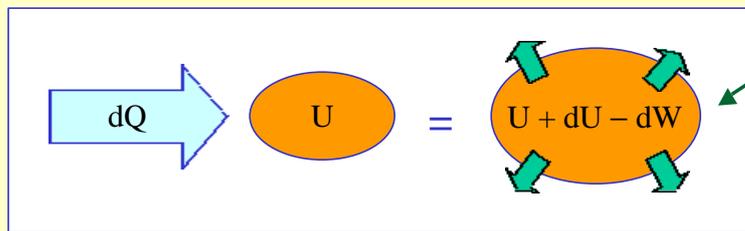
$$dU = dQ + dW$$



$$dQ = dU - dW$$

Nicht die ganze zugeführte Wärme steht zur Verfügung um die Gastemperatur zu erhöhen

Wenn sich das Gas ausdehnt (d.h. $dV > 0$), verrichtet es Arbeit. Diese Arbeit wird vom System abgegeben.



Mathematische Formulierung des ersten Hauptsatzes

$$dU = dQ + dW$$

oder

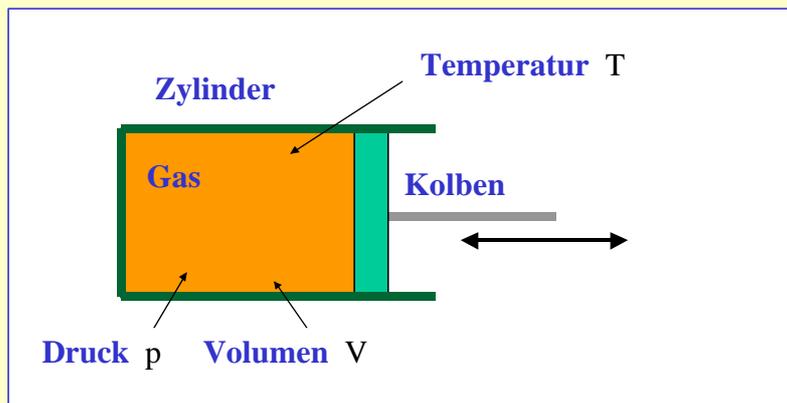
$$dQ = dU - dW$$

Der erste Hauptsatz lautet für 1 kg eines Gases

$$dq = du - dw$$

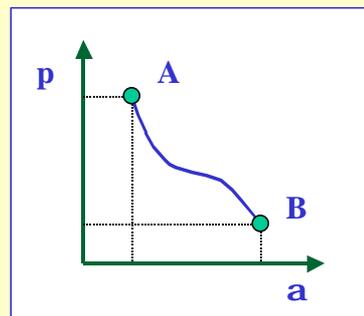
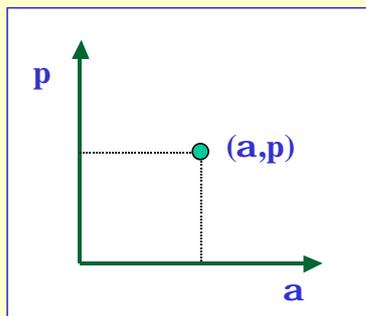
Zur Erinnerung: für spezifische Größen (d.h. auf die Einheitsmasse 1 kg bezogene Größen) verwendet man üblicherweise Kleinbuchstaben

Ein Gedankenexperiment



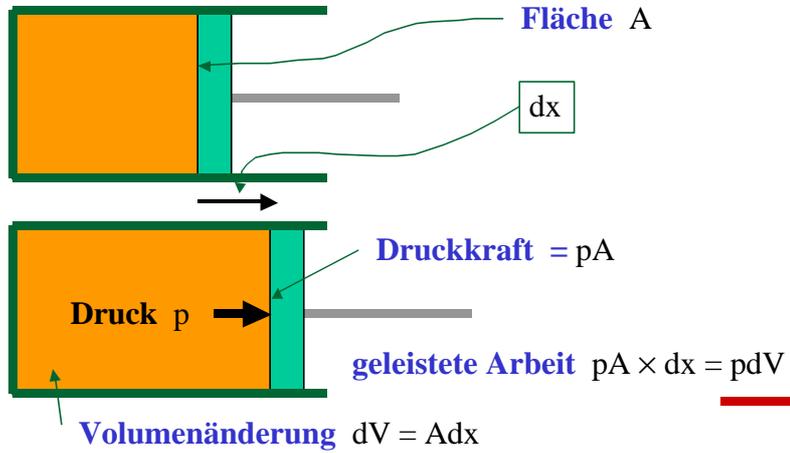
Graphische Darstellung von Zustandsänderungen

- Der thermodynamische Zustand eines Gases läßt sich durch einen Punkt im pV - oder $p\alpha$ -Diagramm angeben.

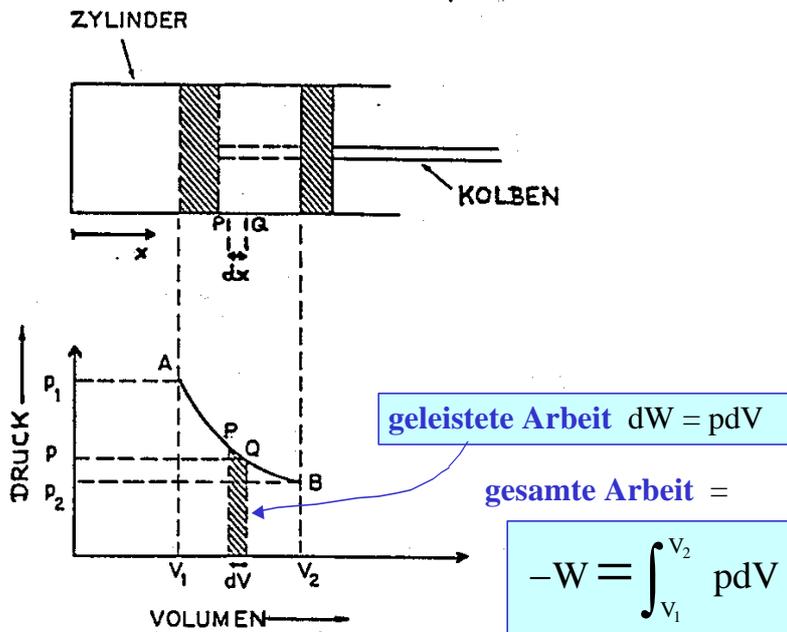


- Zustandsänderungen kann man durch Kurven in diesem Diagramm darstellen.

Ein Gedankenexperiment 2



geleistete Arbeit $pdV/(Masse) = pd\alpha$ pro Einheitsmasse



Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 2

Der erste Hauptsatz lautet für 1 kg eines idealen Gases

$$dq = du - dw = du + pd\alpha$$

Wärmezufuhr

Änderung der inneren Energie
↳ Temperaturerhöhung

die vom Gas
verrichtete Arbeit

- Die inneren Energie bezieht sich auf die kinetische und potentielle Energie der Moleküle bzw. Atome.
- Die mittlere kinetische Energie (Bewegungsenergie) ist der Gastemperatur proportional.

Innere Energie

- Ein Anstieg der Gastemperatur bedeutet, daß sich die Teilchen im Mittel sich schneller bewegen.
- Die potentielle Energie wird von den Anziehungskräften zwischen den Gasmolekülen verursacht.
- Beim idealen Gas sind diese Kräfte definitionsgemäß zu vernachlässigen, weil es keine Wechselwirkung zwischen den Gasteilchen gibt.