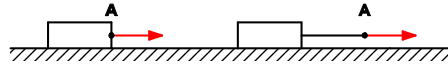


## Kraftwandler

Ein Kraftwandler ist eine Vorrichtung, die den Angriffspunkt, die Richtung oder die Größe einer aufzuwendenden Kraft verändern kann.

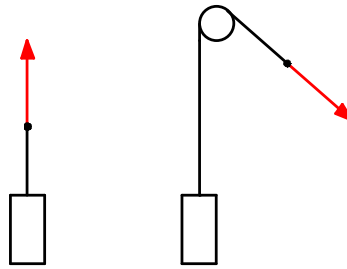
Beispiele :

a)



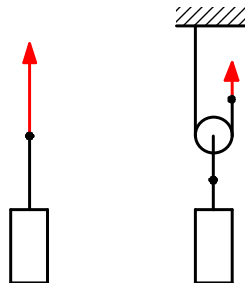
Verwendet man ein Seil, dann kann der Angriffspunkt A der Kraft verschoben werden,

b)



Verwendet man ein Seil und eine feste Rolle, dann kann der Angriffspunkt verschoben und die Richtung der erforderlichen Kraft geändert werden.

c)



Verwendet man ein Seil und eine lose Rolle, dann kann der Angriffspunkt verschoben und die Größe der erforderlichen Kraft halbiert werden.

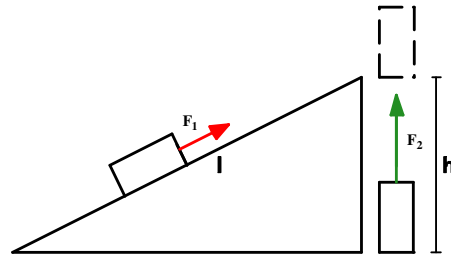
Eine Kombination aus festen und losen Rollen bildet einen Flaschenzug.

### ***Goldene Regel der Mechanik***

Das Produkt aus Kraft und Kraftweg bleibt bei Verwendung eines Kraftwandlers gleich.

## Anwendungen :

### a) *Die schiefe Ebene*



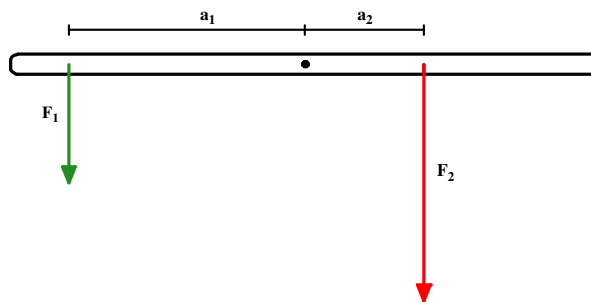
Wird der Körper mit konstanter Geschwindigkeit hochgezogen, dann gilt :

$$F_1 \cdot l = F_2 \cdot h$$

Also gilt für die schiefe Ebene  $F_H = G \cdot \frac{h}{l}$

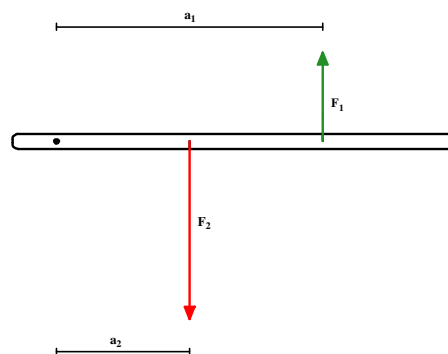
Dabei ist  $F_H$  die Hangabtriebskraft und  $G$  die Gewichtskraft des Körpers.

### b) *Der zweiseitige Hebel*



Es gilt :  $F_1 \cdot a_1 = F_2 \cdot a_2$

### c) *Der einseitige Hebel*



Es gilt :  $F_1 \cdot a_1 = F_2 \cdot a_2$

## Arbeit

---

Wirkt auf einen Körper längs des Weges  $s$  die Kraft  $F$ , dann wird an bzw. von diesem Körper die Arbeit

$$W = F \cdot s$$

verrichtet.

Wird an einem Körper die Arbeit  $W$  verrichtet, dann wird selbst in die Lage versetzt Arbeit zu verrichten. Die Fähigkeit, Arbeit an anderen Körpern zu verrichten, nennt man Energie  $E$ .

Wird an einem Körper der Energie  $E_1$  die Arbeit  $W$ , verrichtet dann erhöht sich seine Energie auf

$$E_2 = E_1 + W$$

Umgekehrt nimmt die Energie eines Körpers, der Arbeit verrichtet, um den Betrag der verrichteten Arbeit ab.

Man unterscheidet :

### a) *Hubarbeit*

Hebt man einen Körper im *Schwerefeld* der Erde, dann verrichtet man Arbeit gegen die auf den Körper wirkende Gewichtskraft.

Hebt man einen Körper der Masse  $m$  um die Höhe  $h$ , dann gilt für die Hubarbeit  $W_h$

$$W_h = mgh$$

$g$  ist die örtliche *Fallbeschleunigung*. In Mitteleuropa beträgt sie  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

### b) *Beschleunigungsarbeit*

Die Beschleunigungsarbeit erhöht die kinetische Energie eines Körpers.

### c) *Spannarbeit*

Sie wird beim Spannen einer elastischen Feder verrichtet.

---

## Die Leistung

---

Verrichtet eine Maschine in der Zeit  $\Delta t$  die Arbeit  $\Delta W$ , dann beträgt ihre Leistung

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Einheit der Leistung :  $[P] = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$  (Watt)

Weiter sind gebräuchlich :

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 1000000 \text{ W} = 10^6 \text{ W}$$

Bemerkungen :

Mit Hilfe mathematischer Umformungen folgt

a) Eine Maschine mit der Leistung  $P$  verrichtet in der Zeit  $\Delta t$  die Arbeit  $\Delta W = P \cdot \Delta t$ .

Die Arbeit, die eine Maschine bzw. ein Energiewandler mit der Leistung 1 kW in 1h verrichtet bezeichnet man als 1 kWh (Kilowattstunde). Es gilt

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600000 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}.$$

b) Zum Verrichten der Arbeit  $\Delta W$  benötigt man mit der Leistung  $P$  die Zeit  $\Delta t = \frac{\Delta W}{P}$

---

## Der Wirkungsgrad

---

Muss eine Maschine zur Verrichtung der Arbeit  $W_{\text{Nutz}}$  die Arbeit  $W_{\text{Total}}$  verrichten, dann heißt

$$\eta = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{Total}}}$$

der Wirkungsgrad der Maschine.

Für alle Maschinen gilt  $0 \leq \eta \leq 100\%$ .

---

## Mechanische Energieformen

---

---

Einheit der Energie :  $[E] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$  (Joule)

Weiter sind gebräuchlich :

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} = 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 1000000 \text{ J} = 10^6 \text{ J}$$

---

### *Höhenenergie oder potenzielle Energie*

---

Ein Körper der Masse  $m$ , der sich in der Höhe  $h$  über einem Bezugsniveau (frei wählbar) befindet, besitzt die potenzielle Energie

$$E_{\text{pot}} = E_h = mgh$$

---

### *Kinetische Energie*

---

Ein Körper der Masse  $m$ , der sich mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt, hat die kinetische Energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$$

Beachte :

a) Zur Berechnung der kinetischen Energie muss die Geschwindigkeit in der Einheit  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  und die Masse in der Einheit  $\text{kg}$  gegeben sein.

b) Hat ein Körper der Masse  $m$  die kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$ , dann gilt für seine Geschwindigkeit  $v$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}}$$

---

## **Spannenergie oder potenzielle Energie der Elastizität**

---

Gilt für eine Feder das Hookesche Gesetz d.h sind die auf eine Feder wirkende Kraft  $F$  und die dadurch hervorgerufene Dehnung  $s$  zueinander proportional,

dann gilt für die Arbeit  $W$ , die zum Spannen um die Strecke  $s$  der Feder erforderlich ist

$$W = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

Dabei ist  $D = \frac{F}{s}$  = konstant die Härte der Feder.

Einheit der Federhärte :  $[ D ] = 1 \frac{N}{m}$

Die Federhärte gemessen in dieser Einheit gibt an, wie viele Kraft gemessen in Newton erforderlich sind, um die Feder um einen Meter zu dehnen.

Andere gebräuchlich Einheiten :  $1 \frac{N}{cm} = 100 \frac{N}{m}$

Durch das Spannen erhält die Feder die Spannenergie

$$E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

Beachte :

Zur der Berechnung der Spannenergie muss die Federhärte  $D$  in der Einheit  $\frac{N}{m}$  und die Dehnung der Feder in der Einheit  $m$  gegeben sein.

---

## **Energieerhaltung**

---

Die verschiedenen Energiearten lassen sich ineinander umwandeln.

Dies geschieht durch Arbeit. Ein Körper verrichtet Arbeit und verliert Energie. Gleichzeitig entstehen neue Energieformen oder die Energie eines anderen Körpers ändert sich.

Satz von der Energieerhaltung :

Die Summe der verschiedenen Energien aller betrachteten Körper ist ohne äußere Einwirkung stets gleich.

Beachte :

Das Verschwinden mechanischer Energie z.B. durch Reibung bedeutet keine Verletzung des Energieerhaltungssatzes, da sich dann die innere Energie der betrachteten Körper erhöht.

Allerdings lässt sich innere Energie nicht mehr vollständig in mechanische Energieformen verwandeln. Man spricht von einer *Entwertung* der Energie.

Diese Entwertung der Energie ist das eigentliche Problem der Menschheit.

---

## Das Teilchenmodell

---

Das Teilchenmodell ist das allereinfachste Modell für den Aufbau von Materie.

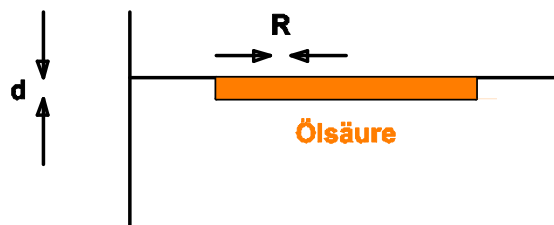
Annahmen des Teilchenmodells :

- Alle Stoffe bestehen aus vielen sehr kleinen Teilchen.
- Die Teilchen reiner Stoffe sind alle identisch, unterscheiden sich aber von den Stoffteilchen anderer Stoffe zum Beispiel in Größe (Volumen) oder Masse.
- Über die Form und den Aufbau der Teilchen werden keine Aussagen gemacht. Oft werden die Stoffteilchen vereinfacht als Kugeln symbolisch dargestellt.
- Die Teilchen sind mehr oder weniger stark in Bewegung; je höher die *Temperatur* eines Stoffes ist, desto schneller bewegen sich seine Teilchen. Die Temperatur ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie der Stoffteilchen.

Die gesamte Energie der Teilchen eines Körpers nennt man *innere Energie U*.

Die Teilchen sind sehr häufig *Moleküle*, oft *Ionenaggregate*, selten *Atome*. Werden die Stoffteilchen verändert, wird auch der Stoff mit seinen Eigenschaften verändert.

## Ölfleckversuch



Volumen der Ölsäure :  $V$

Radius des Ölflecks :  $R$

$$\text{Dicke der monomolekularen Schicht : } d = \frac{V}{\pi \cdot R^2}$$

### **Brownsche Molekularbewegung**

Rauchteilchen führen mikroskopisch kleine, unregelmäßige Bewegungen durch. Sie werden indirekt durch die Teilchen der Luft durch Stöße bewegt.

---

### **Die Aggregatzustände**

---

---

Es gibt drei klassische Aggregatzustände, in denen Stoffe auftreten können.

- Stoffe im festen Zustand haben eine feste Form und ein festes Volumen.
- Stoffe im flüssigen Zustand haben ein festes Volumen, aber keine feste Form.

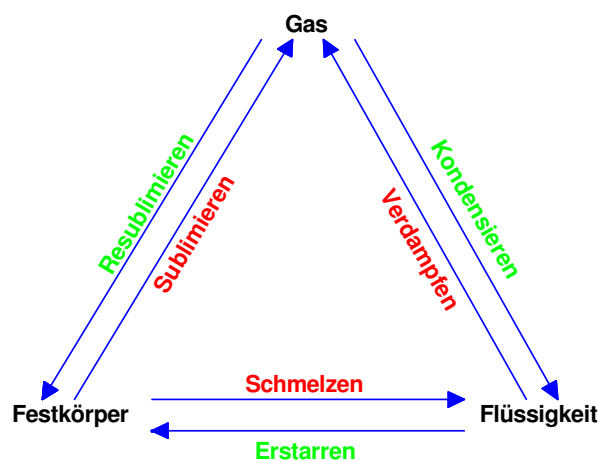
Die Form einer Flüssigkeit hängt vom Aufbewahrungsgefäß ab.

- Stoffe im gasförmigen Zustand haben weder ein festes Volumen noch eine feste Form.

Ein Gas füllt jeden Raum aus.

Der Aggregatzustand, den ein Stoff einnimmt, hängt von seiner **Temperatur** und dem ausgeübten **Druck** ab.

Die Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes nennt man einen **Phasenübergang**.

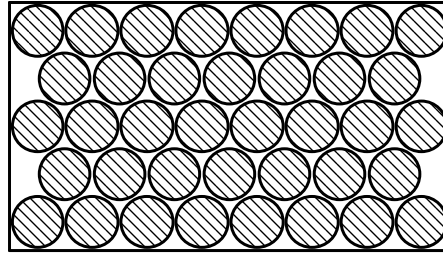


Phasenübergänge finden immer bei einer bestimmten, vom ausgeübten Druck abhängigen Temperatur statt.

---

## Festkörper

---



### Teilchenmodell eines kristallinen Feststoffes

Die Teilchen sind in einem Feststoff nur wenig in Bewegung. Sie schwingen um eine feste Position, ihren **Gitterplatz**, und rotieren meist um ihre Achsen.

Je höher die Temperatur wird, desto heftiger schwingen bzw. rotieren sie und der Abstand zwischen den Teilchen nimmt (meist) zu. Festkörper dehnen sich daher bei Erwärmung aus.

Die Form des Feststoffes bleibt jedoch unverändert.

**Elektrische Kräfte** halten die Teilchen an ihren Gitterplätzen. Sie durch den atomaren Aufbau der Teilchen (**Ionen**, **Moleküle** etc.) bestimmt und sehr stark.

Stoffe im festen Aggregatzustand lassen sich nur schwer teilen und verformen.

Durch die schwache Bewegung und die feste Bindung sind die Teilchen regelmäßig angeordnet - **Kristalle** - und haben eine hohe Packungsdichte.

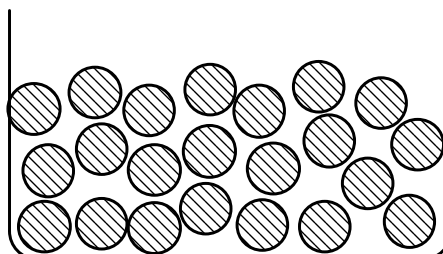
Nur wenige Festkörper wie Glas sind **amorph**. Die Teilchen eines amorphen Festkörpers sind ähnlich angeordnet wie in einer Flüssigkeit. Trotzdem ist ein amorpher Festkörper formstabil, da die Teilchenbewegungen gegeneinander weitgehend eingefroren sind.

Das Volumen eines Feststoffes lässt sich durch Kompression nicht verringern.

---

## Flüssigkeiten

---



### Teilchenmodell einer Flüssigkeit

Die Bewegungen der Teilchen einer Flüssigkeit sind so stark, dass die Wechselwirkungskräfte nicht mehr ausreichen, um die Teilchen an ihrem Platz zu halten. Die Teilchen können sich nun gegeneinander verschieben.

Ein flüssiger Stoff verteilt sich von alleine, wenn er nicht in einem Gefäß festgehalten wird.

Obwohl der Abstand der Teilchen durch die schnellere Bewegung ein wenig größer wird - die meisten festen Stoffe nehmen beim Schmelzen einen größeren Raum ein-, hängen die Teilchen weiter eng aneinander.

Das Volumen einer Flüssigkeit nimmt i.a mit der Temperatur zu.

Ausnahme : *Anomalie des Wassers*

Wasser nimmt bei 4°C das kleinste Volumen ein und hat dann die größte Dichte.

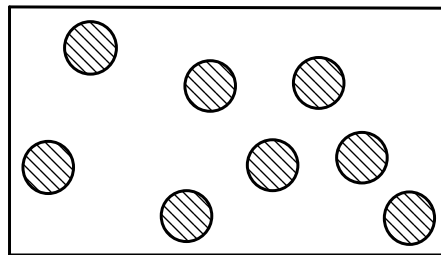
Obwohl die Teilchen sich ständig neu anordnen und Zitter- und Rotationsbewegungen durchführen, kann eine *Anordnung im Nahbereich* festgestellt werden.

Diese Nahordnung ist ähnlich wie im amorphen Festkörper, die *Viskosität* ist jedoch sehr viel niedriger d. h. die Teilchen sind beweglicher.

---

## *Gase*

---



Beim gasförmigen Zustand ist die Bewegungsenergie der Teilchen so hoch, dass sie nicht mehr zusammen halten.

Die Teilchen eines Stoffes im gasförmigen Zustand üben daher keine Kräfte mehr aufeinander aus und können sich völlig frei bewegen. Durch die schnelle Bewegung der Teilchen in einem Gas sind sie weit voneinander entfernt.

Sie stoßen nur hin und wieder einander an, bleiben aber im Vergleich zur flüssigen Phase auf großer Distanz.

---

Folgende Beobachtungen lassen sich mit dem Teilchenmodell erklären:

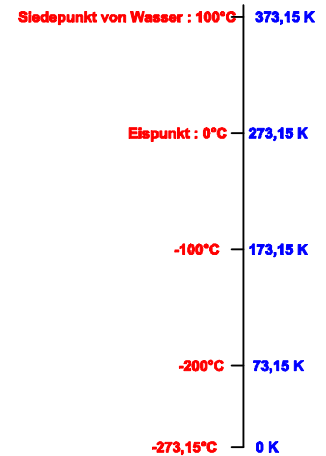
- Der absolute Nullpunkt

Beim Abkühlen wird die Bewegung der Teilchen immer langsamer. Bei  $-273,15\text{ °C}$  haben die Teilchen minimale Energie und der Stoff kann nicht weiter abgekühlt werden.

Diese tiefstmögliche Temperatur ist der Nullpunkt der Kelvin Skala.

Temperaturabstände sind auf der Celsius- und Kelvin-Skala gleich.

Formelzeichen für die absolute Temperatur : T



- Der Druck eines Gases

Eingeschlossene Gasteilchen stoßen gegen die Gefäßwände und üben auf diese eine Kraft aus

- Die Komprimierbarkeit der Gase

Vergrößert man den Druck, unter dem ein Gas steht, dann verkleinert sich sein Volumen. Das ist möglich, weil der große Abstand zwischen den Teilchen verringert werden kann.

Durch besonders hohen Druck können die meisten Gase sogar verflüssigt werden.

- Die Wärmeübertragung, insbesondere Wärmeleitung

Wird ein "Ende" eines Körpers erhitzt und geraten dadurch die Teilchen stärker in Bewegung, so stoßen sie die benachbarten Teilchen des Gegenstandes an und geben so die Energie weiter.

- Die Diffusion

Ein Gas oder gelöster Stoff verteilt sich von selbst in einem anderen Gas bzw. einer Flüssigkeit. Dies geschieht aufgrund der Eigenbewegung der Teilchen.

---

## Änderung der inneren Energie eines Körpers

---

Die **innere Energie**  $U$  eines Körpers lässt sich durch Arbeit - Kompression, Reibung - oder Wärmezufuhr erhöhen.

Die Erhöhung der inneren Energie durch die Arbeit  $W$  erfolgt durch messbare Kräfte und ist makroskopisch sichtbar.

Als **Wärme**  $Q$  bezeichnet man dagegen die Energiemenge, die übertragen wird, wenn man zwei Körper unterschiedlicher Temperatur miteinander in Kontakt bringt.

Dabei geben die Teilchen kinetische Energie durch **Stöße** weiter.

Leistet ein Körper Arbeit - Expansion eines Gases - oder gibt er Wärme ab, dann erniedrigt sich seine innere Energie.

Rechnet die an einem Körper verrichtete Arbeit  $W$  bzw. die ihm zugeführte Wärmemenge  $Q$  positiv, die von ihm verrichtete Arbeit bzw. von ihm abgegebene Wärme dagegen negativ, dann gilt für die Änderung der inneren Energie des Körpers

$$\Delta U = W + Q$$

Bei vielen Körpern ist die Zunahme der inneren Energie  $U$  direkt proportional zur Temperaturerhöhung  $\Delta\vartheta$  und zur Masse  $m$  des Körpers.

Es gilt dann

$$\Delta U = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = c \cdot m \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

Dabei ist  $\vartheta_1$  die Temperatur zu Beginn und  $\vartheta_2$  die Temperatur am Ende des Erwärmungs- bzw. Abkühlungsprozesses.

Die Konstante

$$c = \frac{\Delta U}{m \cdot \Delta\vartheta}$$

gibt demzufolge an, wieviel Energie - gemessen in J bzw. kJ - man braucht um ein Gramm des Stoffes bzw. Stoffgemisches aus dem der Körper besteht um 1 K zu erwärmen.

$c$  heißt deshalb **spezifische Wärmekapazität** des Stoffes bzw. Stoffgemisches.

$$\text{Einheit von } c : \left[ c \right] = 1 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Erfolgt die Änderung der inneren Energie  $U$  speziell durch Arbeit bzw. durch Wärmezufuhr bzw. -abgabe,

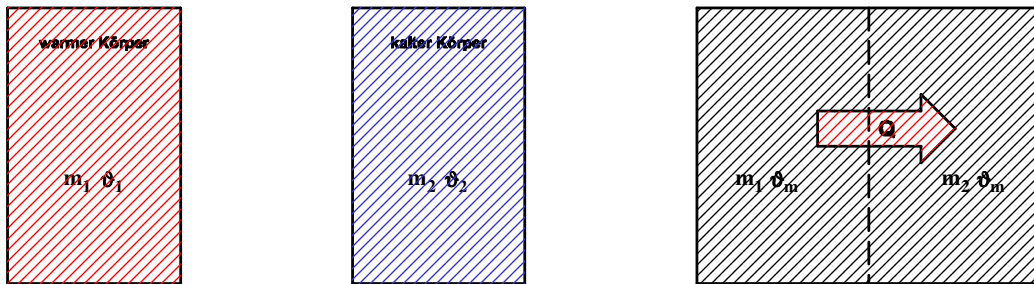
dann gilt

$$W = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = c \cdot m \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad \text{bzw.} \quad Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = c \cdot m \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

---

### Mischungsaufgaben

---



Bringt man zwei Körper der Masse  $m_1$  und  $m_2$  mit unterschiedlichen Temperaturen  $\vartheta_1$  und  $\vartheta_2$  miteinander in Kontakt, dann gibt der wärmere Körper so lange Wärme an den kälteren ab, bis beide Körper die gleiche Temperatur  $\vartheta_m$  haben.

$\vartheta_m$  nennt man Misch- oder *Ausgleichstemperatur*.

Die Wärmemenge  $Q_{ab}$ , die der warme Körper abgibt, ist dabei so groß wie die Wärmemenge  $Q_{auf}$ , die der kältere Körper aufnimmt.

Dies ist eine Folge der Energieerhaltung.

Bestehen die beiden Körper aus Stoffen mit den spezifischen Wärmekapazitäten  $c_1$  und  $c_2$ , dann gilt

$$Q_{ab} = Q_{auf} \quad c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_m) = c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_1)$$

---