

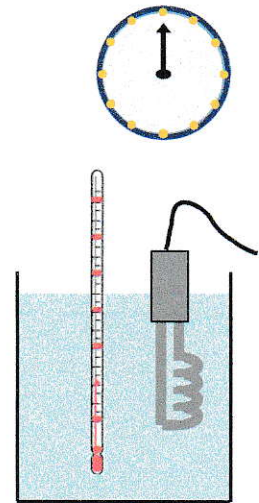
Unser heutiges Experiment findet jeden Tag millionenfach zu Hause in der Küche statt. Wir erhitzen Wasser mit Hilfe eines elektrischen Heizelements (in unserem Fall Tauchsieder). **Beschreibe die Versuchsdurchführung. Halte auch wesentliche Versuchsparameter fest.**

## 6. Thermische Energie

### 6.1 Temperatur und Energie

#### Experiment: Erwärmen von Wasser

Wir heizen eine bestimmte Menge Wasser mit einem Tauchsieder (Elektroheizung). Dabei messen wir die Temperatur in festen Zeitabständen.



Weitere Messreihen zu diesem Experiment findest Du auf Leifphysik unter **Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie Wärmekapazität - Versuche - Erwärmen.**

#### Prinzip des Experiments:

Durch den Betrieb des Tauchsieders führen wir dem System

elektrische Energie zu.  
Diese wird in thermische Energie umgewandelt.

Die zugeführte elektrische Energie  $\Delta E$  berechnen wir mit der Leistungsformel:

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

$$\Delta E = P \cdot \Delta t = 300 \text{ W} \cdot 60 \text{ s} = 180 \text{ J}$$

Beachte dabei, dass die Basiseinheit für die Zeit 1 s ist.

Die Temperaturänderung  $\Delta \vartheta$  beziehen wir immer auf die Starttemperatur  $\vartheta_0 = 20^\circ \text{C}$ . Zeichne ein  $\Delta E - \Delta \vartheta$ -Diagramm. Welchen Zusammenhang zeigt die Messkurve?

(Messwerte abhängig vom Experiment)

#### Messreihe und Auswertung

hier  $m = 1 \text{ kg}$ ,  $P = 300 \text{ W}$

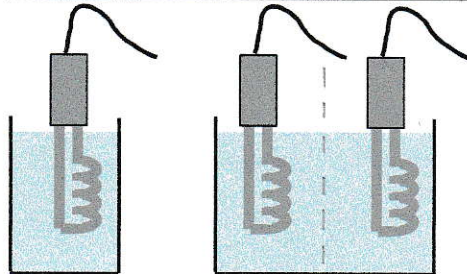
t in min	1	2	3	4	5	6
$\Delta E$ in J	18	36	54	72	90	108
$\vartheta$ in $^\circ \text{C}$	24	28	32	36	40	44
$\Delta \vartheta$ in $^\circ \text{C}$	4	8	12	16	20	24



Ursprungsgerade  $\rightarrow \Delta E \sim \Delta \vartheta$

Stelle Dir vor, wir führen das Experiment nochmal durch, dieses Mal allerdings im Doppelpack. Mit einem Tauchsieder erhitzen wir eine bestimmte Menge Wasser. Daneben erhitzen wir die doppelte Menge mit zwei baugleichen Tauchsiedern. Was kannst Du über das Ergebnis der Parallelexperimente vorhersagen?

#### Überlegung: Unterschiedliche Wassermengen



Die Temperaturänderung erfolgt in beiden Fällen gleich, weil jedes der beiden Tauchsieder im rechten Bild eine entsprechende Menge Wasser erhitzt.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse:

Wie man zwei Proportionalitäten zusammenfasst, hast Du bisher noch nicht gelernt. Du kannst Dir aber unser Vorgehen mit Zahlenbeispielen plausibel machen.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta E \sim \Delta \vartheta \\ \Delta E \sim m \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \Delta E \sim m \cdot \Delta \vartheta \\ \Delta E = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta \end{array}$$

↑  
Konstante

Die Änderung der thermischen Energie eines Stoffes bei Erwärmung lässt sich berechnen mit der Formel:

$$\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$$

Dabei ist  $m$  seine Masse,  $\Delta \vartheta$  die Temperaturänderung und  $c$  die spezifische Wärmekapazität.

Berechne aus den Werten für  $t = 3 \text{ min}$  in der Tabelle die spezifische Wärmekapazität  $c_w$  für Wasser.

#### Spezifische Wärmekapazität $c_w$ von Wasser (aus Messreihe)

$$c_w = \frac{\Delta E}{m \cdot \Delta \vartheta} = \frac{54 \text{ kJ}}{1 \text{ kg} \cdot 12^\circ \text{C}} = 4,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ \text{C}}$$

Literaturwert:  $c_w = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ \text{C}} = 4,19 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ \text{C}}$

#### Aufgabe: Spaghettikochen

Berechne die Energie, die man in 3 Liter Wasser (Raumtemperatur  $20^\circ \text{C}$ ) stecken muss, um es zum Kochen zu bringen.

Vergleiche das Ergebnis mit dem angegebenen Wert im "Kap. 1.2 Energie wandelt sich".

$$\begin{aligned} \Delta E &= c_w \cdot m_w \cdot \Delta \vartheta = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ \text{C}} \cdot 3 \text{ kg} \cdot 80^\circ \text{C} \\ &= 1006 \text{ kJ} = 1,01 \text{ MJ} \end{aligned}$$

#### Selbst-Check:

- Experiment
- thermische Energie und Temperatur bzw. Masse
- Energieformel
- Wärmekapazität von Wasser (Wert!)

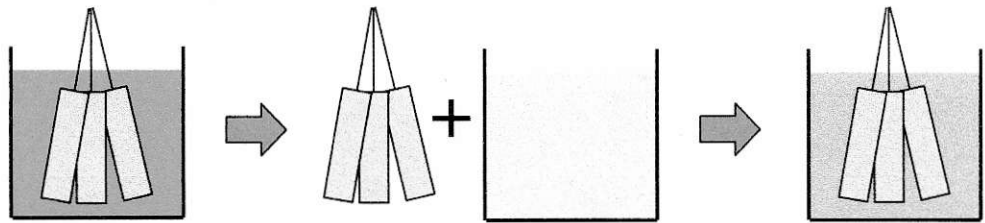
#### Übungsmöglichkeiten:

Passende Aufgaben findest Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie Wärmekapazität - Änderung der inneren Energie, für den Anfang tut's der "Jogger". Außerdem bietet sich die Auswertung von weiteren Messreihen an (siehe Folie 1), um die wichtigsten Aspekte der Stunde zu wiederholen.

Die Wärmekapazitäten weiterer Stoffe bestimmen wir durch Vergleich mit der Wärmekapazität von Wasser. Im Experiment erwärmen wir zunächst einige Eisenklötze in einem heißen Wasserbad. Dann entnehmen wir die Klötze und tauchen sie in kaltes Wasser. Erkläre das Experiment und gib die Daten an, die wir dabei bestimmt haben.

## 6.2 Spezifische Wärmekapazität

### Experiment: Wir bestimmen die Wärmekapazität von Eisen



Masse Eisen:

$$m_E = 47g$$

Temperatur Eisen:

$$\vartheta_E = 100^\circ C$$

Masse Wasser:

$$m_W = 50g$$

Temperatur Wasser:

$$\vartheta_W = 20^\circ C$$

Mischtemperatur:

$$\vartheta_M = 26^\circ C$$

Die heißen Eisenklötze kühlen im kalten Wasser ab und geben dabei Energie ab, die vom Wasser aufgenommen wird. Dieses erwärmt sich.

$$\Delta E_E = \Delta E_W$$

(genau genommen haben die beiden Energiemengen unterschiedliches Vorzeichen)

a) Bestimme zunächst die Temperaturänderungen  $\Delta \vartheta_E$  und  $\Delta \vartheta_W$  für die Eisenklötze bzw. das kalte Wasser im Experiment.

b) Berechne dann die Energiemenge, die dem kalten Wasser zugeführt wurde.

c) Ermittle daraus die spezifische Wärmekapazität von Eisen.

In der Tabelle findest Du die Wärmekapazitäten von weiteren Stoffen. Du brauchst die Werte nicht auswendig lernen.

#### Auswertung des Experiments:

$$a) \Delta \vartheta_E = \vartheta_E - \vartheta_M = 100^\circ C - 26^\circ C = 74^\circ C$$

$$\Delta \vartheta_W = \vartheta_M - \vartheta_W = 26^\circ C - 20^\circ C = 6^\circ C$$

$$b) \Delta E_W = c_W \cdot m_W \cdot \Delta \vartheta_W = 4,19 \frac{kJ}{kg^\circ C} \cdot 0,05 kg \cdot 6^\circ C = 1,26 kJ$$

$$c) \Delta E_E = c_E \cdot m_E \cdot \Delta \vartheta_E \stackrel{!}{=} \Delta E_W \quad | : (m_E \cdot \Delta \vartheta_E)$$

$$\rightarrow c_E = \frac{\Delta E_W}{m_E \cdot \Delta \vartheta_E}$$

$$= \frac{1,26 kJ}{0,047 kg \cdot 74^\circ C} = 0,36 \frac{kJ}{kg^\circ C}$$

vgl. Literaturwert

Tabelle: Spezifische Wärmekapazitäten c (alle Angaben in kJ/kg°C)

Eisen:	0,45	Beton:	1,0	Wasser:	4,19
Aluminium:	0,90	Holz:	1,7	Alkohol:	2,6
Blei:	0,13	Porzellan:	0,8	Eis:	2,1
Kupfer:	0,39	Erdboden:	0,8	Luft:	1,0



Petra gießt 200 ml heißen Kaffee in einen Porzellanbecher (Raumtemperatur 20°C) mit der Masse 250 g. Becher und Kaffee haben dann die Temperatur 60°C.

a) Berechne die Temperatur, die der Kaffee vor dem eingießen hatte.

Tipp: Kaffee besteht wie fast alle Getränke im Wesentlichen aus Wasser.

b) Welche Forderung ist an eine gute Kaffeetasse zu stellen, wenn man gerne heißen Kaffee genießt.

### Musteraufgabe: Kaffeebecher

$$\begin{aligned} a) \quad \Delta E_p &= c_p \cdot m_p \cdot \Delta \vartheta_p \\ &= 0,8 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 0,25 \text{ kg} \cdot (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \\ &= \underline{8,0 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

$$\Delta E_k = \Delta E_p$$

$$c_k \cdot m_k \cdot \Delta \vartheta_k = \Delta E_p \quad | : (c_k \cdot m_k)$$

$$\Delta \vartheta_k = \frac{\Delta E_p}{c_k \cdot m_k}$$

$$= \frac{8,0 \text{ kJ}}{4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 0,26 \text{ kg}} = \underline{9,6^\circ\text{C}}$$

$$\vartheta_k = 60^\circ\text{C} + 9,6^\circ\text{C} = \underline{70^\circ\text{C}}$$

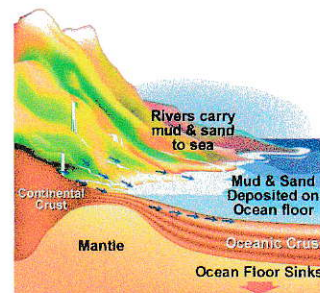
b) Eine gute Kaffeetasse sollte möglichst leicht sein, dann nimmt sie wenig Energie auf und der Kaffee wird nicht gekühlt.

Erkläre die Entstehung von See- und Landklima mit Hilfe der unterschiedlichen spezifischen Wärmekapazitäten.

### Globale Bedeutung: Landklima - Seeklima

Bewohner der Küstenregionen genießen ganzjährig relativ moderate Temperaturschwankungen (Seeklima), während Bewohner des Binnenlandes im Winter z.T. unter klirrender Kälte und im Sommer unter großer Hitze leiden müssen (Landklima). Selbst große Binnenseen (z.B. Bodensee) bewirken regional bereits ein Seeklima.

$$\Delta E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$$



Da die Wärmekapazität von Wasser etwa 5-mal so groß ist wie die von Erdboden und Gestein, führt Energiezufuhr oder -abgabe nur zu kleinen Temperaturänderungen. Der Bereich an der Küste erwärmt sich tagsüber und kühlt nachts weniger ab. Der dämpfende Effekt sorgt übrigens auch dafür, dass der Klimawandel aktuell langsamer abläuft, als ohne diese Pufferung von Energie in den Meeren.

### Selbst-Check:

- Experiment Berechnung der Wärmekapazität
- Berechnung der Ausgangstemperatur
- Land- und Seeklima

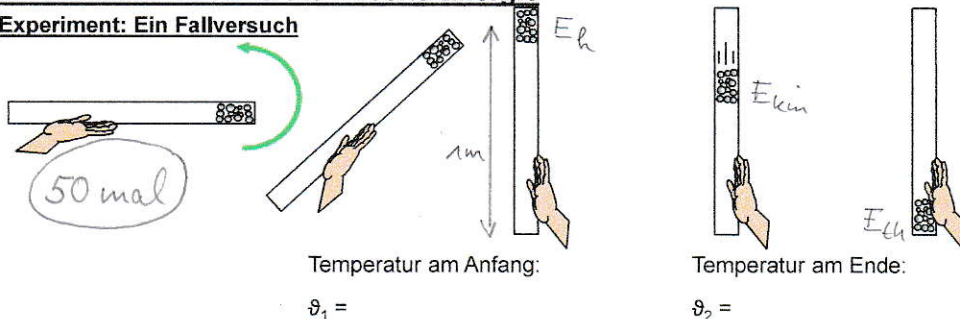
### Übungsmöglichkeiten:

Passende Aufgaben findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie Wärmekapazität - Spezifische Wärmekapazität Aufgaben**. Gut für's Verständnis ist "Spezifische Wärmekapazitäten", die letzte Folie wird vertieft mit "Land- und Seeklima".

Im Verlauf der Industrialisierung hat die Menschheit in den letzten 150 Jahren gigantische Mengen an Energie eingesetzt. Trotz Energieerhaltung sind diese Energiemengen heute nicht mehr wahrnehmbar, jede Energieform landet irgendwann als thermische Energie. Du erlebst dies bereits nach einer Runde Joggen. Im Experiment kippen wir rasch ein Papprohr mit losen Bleikugeln im Inneren, so dass sie oben sind. Wenn wir das Rohr in dieser Position halten, fallen die Kugeln nach unten. Diesen Vorgang wiederholen wir mehrfach.

### 6.3 Mechanische und thermische Energie

#### Experiment: Ein Fallversuch



Die Höhenenergie wird zuerst in kinetische Energie umgewandelt, diese dann beim Aufprall in thermische Energie.

→ die Bleikugeln werden erwärmt

Stelle einen Energieansatz für das Experiment auf und berechne daraus die zu erwartende Temperaturänderung. Vergleiche mit unserer Messung. Warum spielt die Menge der Bleikugeln (die wir nicht gemessen haben) keine Rolle?

Einheiten:

$$\frac{\frac{m}{s^2} \cdot m}{J/kg^\circ C} = \frac{\frac{m^2}{s^2} \cdot kg^\circ C}{J}$$

$$= \frac{J^\circ C}{J} = ^\circ C$$

Ob wir einem Stoff eine bestimmte Energiemenge (z.B. 1 J) durch Wärme (Heizen) oder durch mechanische Arbeit zuführen, spielt für den Energieinhalt und die Erwärmung des Stoffes keine Rolle.

#### Berechnung der Erwärmung:

$$c_3 = 0,13 \frac{kJ}{kg^\circ C} = 130 \frac{J}{kg^\circ C}$$

$$50 \cdot E_h = E_{th}$$

$$50 \cdot m \cdot g \cdot h = c \cdot m \cdot \Delta \theta \quad | :m \quad | :c$$

$$\Delta \theta = \frac{50 \cdot g \cdot h}{c}$$

$$= \frac{50 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1m}{130 \frac{J}{kg^\circ C}} = 3,8^\circ C$$

Mehr Bleikugeln haben mehr Höhenenergie ( $E_h = m \cdot g \cdot h$ ), die auch nötig ist, um mehr Bleikugeln zu erwärmen ( $E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta \theta$ )

#### 1. Hauptsatz der Wärmelehre:

Wir können die thermische Energie eines Systems sowohl durch

mechanische Arbeit  $W$  ..... als auch durch  
Zufuhr/Abgabe von Wärme  $Q$  ..... ändern.  
 $\Delta E_{th} = W + Q$  Zufuhr  $\rightarrow Q$  positiv  
Abgabe  $\rightarrow Q$  negativ

in früheren Beispielen kam  $Q$  z.B. von  
Tauchsieder, Heizplatte, Bunsenbrenner, ...



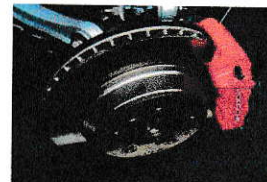
Um einen Pkw abzubremsen, drücken die Bremsbacken auf die Bremsscheiben (genauso wie bei der Scheibenbremse am Fahrrad) und sorgen durch große Reibung für den Abbau der Geschwindigkeit. Die kinetische Energie landet als thermische Energie vor allem in den Bremsscheiben.

a) Berechne die kinetische Energie eines VW-Golf ( $m = 1,5 \text{ t}$ ) bei Tempo 90 km/h.

b) Wie stark würden sich die Bremsscheiben (4 Stück je 12 kg,  $c_{\text{Stahl}} = 0,5 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ ) erhitzen, wenn beim Bremsvorgang die Energie vollständig in den Bremsscheiben landete.

c) Diskutiere Auswirkungen auf die Konstruktion von Bremsen.

### Musteraufgabe: Bremsscheiben



entnommen aus wikipedia.de

$$\begin{aligned} a) E_{\text{kin}} &= \frac{1}{2} m v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot \left[ 90 : 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2 \\ &= 468.750 \text{ J} = \underline{469 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b) \Delta E_{\text{th}} &= E_{\text{kin}} \\ c \cdot m \cdot \Delta \vartheta &= E_{\text{kin}} \\ \Delta \vartheta &= \frac{E_{\text{kin}}}{c \cdot m} \quad \text{Temperaturzunahme!} \\ &= \frac{469 \text{ kJ}}{0,5 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 48 \text{ kg}} = \underline{19,5^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

c) Bei höheren Ausgangsgeschwindigkeiten oder längeren Bergabfahrten ergeben sich noch höhere Temperaturzunahmen.  
→ Kühlung durch vorbeistömende Luft

a) Ein Gesteinsbrocken (Meteorit) trifft mit etwa 40.000 m/s auf die Erde und wird durch den Luftwiderstand in der Atmosphäre fast vollständig abgebremst. Berechne, um wie viel  $^\circ\text{C}$  er sich dabei theoretisch erwärmt.

b) Worin unterscheidet sich davon ein sogenannter "globaler Killer", der das gesamte Leben auf der Erde bedrohen kann?

### Sternschnuppen und globale Killer

entnommen aus wikipedia.de



$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{th}} &= E_{\text{kin}} \\ c \cdot m \cdot \Delta \vartheta &= \frac{1}{2} m v^2 \quad | : m : c \\ \Delta \vartheta &= \frac{\frac{1}{2} v^2}{c} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (40.000 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}} = \underline{1,0 \cdot 10^6^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

Da ist der Meteorit längst verglüht / verdampft.

Selbst große Brocken werden langsamer abgebremst und können noch mit großer Geschwindigkeit auf der Erde aufschlagen.

### Selbst-Check:

- Experiment
- Berechnung der Temperaturänderung
- Bremsscheibe
- Meteorit

### Übungsmöglichkeiten:

Aufgaben zum Thema findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie Wärmekapazität - Aufgabenübersicht**. Das Quiz ist perfekt, um die letzten drei Kapitel zu wiederholen. Passend zur Aufgabe zur Erwärmung der Bremsen gibt's auch ein Aufgabenbeispiel.

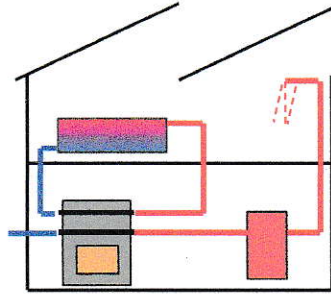
Ohne Heizung würden wir in unseren Breiten im Winter ganz schön frieren. Auch das Duschen mit kaltem Wasser ist nicht jedermanns Sache. Hier lernst Du, wie die Heizungsanlage im Haus prinzipiell funktioniert.

#### Prinzip:

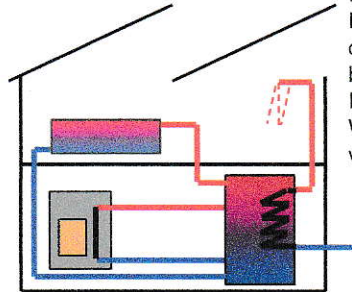
Wasser kann aufgrund seiner großen Wärmekapazität sehr viel Energie aufnehmen. Im Leitungssystem des Hauses lässt sich so Energie sehr einfach verteilen.

## 6.4 Heizung und Warmwasser

### Technik: Heizungssysteme im Haus



Hier erwärmt der Kessel bei Bedarf das Heizungswasser, das die Wärme zu den Heizkörpern bringt. Warmes Wasser zum Duschen wird ebenfalls vom Kessel erhitzt und in einem separaten Speicher bereitgestellt.



Hier erwärmt der Kessel das Wasser im Pufferspeicher. Das Heizungswasser wird bei Bedarf daraus entnommen. Duschwasser wird jeweils frisch beim Durchlauf durch den Wärmetauscher im Pufferspeicher erwärmt. Im Puffer können auch Wärmeenergie von Sonnenkollektoren gespeichert werden.

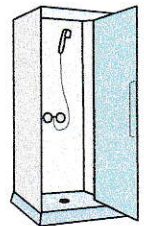
Beim WDR gibt's eine lehrreiche Folge zur Heizung aus der Reihe "Sendung mit der Maus".

Berechne jeweils die benötigte Energiemenge und vergleiche. Gehe in den folgenden Aufgaben davon aus, dass das gelieferte Frischwasser mit einer Temperatur von  $10^\circ\text{C}$  das Haus erreicht.

- Peter lässt in der Dusche nur 2 min lang das Wasser bei kühlen  $30^\circ\text{C}$  laufen und verwendet einen Spar-Brausekopf mit 6 l Durchfluss pro min.
- Sarah gönnt sich 7 min lang eine heiße Dusche bei  $40^\circ\text{C}$ . Der Standard-Brausekopf lässt 16 l pro min durch.
- Fritz genießt ein Bad in einer 120 l - Standardwanne bei angenehmen  $36^\circ\text{C}$ .

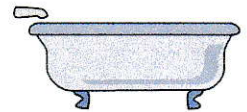
#### Duschen und Baden:

$$\begin{aligned}
 a) \Delta E &= c \cdot m \cdot \Delta \vartheta \\
 &= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 2 \cdot 6 \text{ kg} \cdot (30^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \\
 &= \underline{1,0 \text{ MJ}} \quad ? \\
 b) \Delta E &= 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 7 \cdot 16 \text{ kg} \cdot (40^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \\
 &= \underline{14 \text{ MJ}} \quad ? \\
 c) \Delta E &= 4,19 \cdot 120 \text{ kg} \cdot (36^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \\
 &= \underline{13 \text{ MJ}} \quad ?
 \end{aligned}$$



Je nach Verhalten kann Duschen auch aufwändiger sein als Baden.

Tipp: Dusche nur kurz laufen lassen, wenn das Wasser auch tatsächlich benötigt wird.

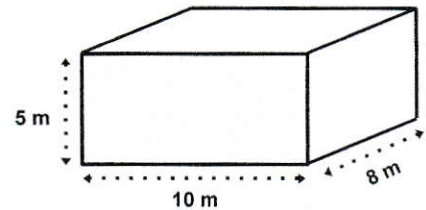




Eine exakte Berechnung des Heizbedarfs ist eine recht umfangreiche Angelegenheit. Diese Rechnung stellt das sehr stark vereinfacht dar.

Unser Haus ist eine quaderförmige Schachtel mit den gegebenen Maßen. Auf 1 m<sup>2</sup> Fläche beträgt der Energieverlust im Durchschnitt (der Energieverlust schwankt erheblich zwischen unterschiedlichen Bauteilen, wie Fenster, Wand, Dach) pro 1°C Temperaturunterschied (innen-außen) 0,4 W. Wie lange dauert es, bis das Haus bei 0°C Außentemperatur (innen 20°C) 1,0 MJ Energie verloren hat? Wieviel MJ benötigt man pro Tag zum Heizen?

#### Modellrechnung: Heizbedarf eines Hauses (durchschnittliches Alter)



Außenfläche ohne Boden:

$$10\text{ m} \cdot 5\text{ m} \cdot 2 + 8\text{ m} \cdot 5\text{ m} \cdot 2 + 10\text{ m} \cdot 8\text{ m}$$

$$= 260\text{ m}^2$$

Wärmeabgabe-Leistung

$$P = 0,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 260\text{ m}^2 \cdot (20^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$= 2080\text{ W} = 2,08\text{ kW}$$

Berechnung der Zeit:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \rightarrow \Delta E = P \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{P} = \frac{1000\text{ kJ}}{2,08\text{ kW}} = 481\text{ s} = 8,0\text{ min}$$

Tagesbedarf

$$24\text{ h} : 8\text{ min} = (24 \cdot 60\text{ min}) : 8\text{ min} = 180$$

$$\rightarrow E = 180\text{ MJ}$$

Herr Phlott hat sich ein alternatives Heizkonzept überlegt. Er möchte mehrfach am Tag einen 20 kg schweren Eisenklotz in den Dachboden tragen und durch einen Schacht in den Keller fallen lassen (Gesamthöhe 10 m). Die beim Aufprall umgewandelte Energie soll das Haus heizen. Wie oft muss er laufen, um den gerade berechneten Tagesheizbedarf aufzubringen?

#### Ein sportliches Heizkonzept

Energie pro Fall:

$$E_k = m \cdot g \cdot h$$

$$= 20\text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10\text{ m}$$

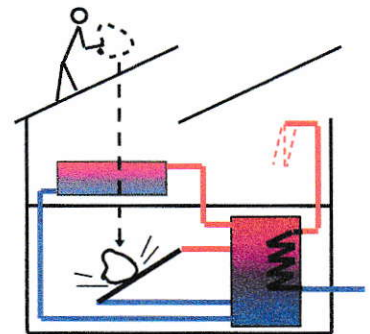
$$= 2000\text{ J} = 2,0\text{ kJ}$$

Anzahl der Fälle pro Tag:

$$180\text{ MJ} : 2\text{ kJ} = 180.000\text{ J} : 2\text{ kJ}$$

$$= 90.000$$

$$\text{Ein Tag hat } 24 \cdot 3600\text{ s} = 86.400\text{ s}$$



#### Selbst-Check:

- Prinzip Heizung
- Duschen, Baden
- Heizbedarf Gebäude
- Höhenenergie

#### Übungsmöglichkeiten:

Lass Dir von Deinen Eltern die Heizungsanlage im Keller erklären. Gibt es noch weitere Komponenten: Sonnenkollektoren, Lüftungsanlage, Wärmepumpe ... ?

Passend zu diesem Kapitel gibt es auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie** **Wärmekapazität - Aufgabenübersicht** die Aufgabe „Vergleich von Duschen und Baden“.



Wir wiederholen das Experiment aus Kap. 6.1 in abgewandelter Form. Auch dieses Experiment finden wir millionenfach, z.B. beim Kochen von Nudeln, Reis oder Kartoffeln.

**Im Gegensatz zum früheren Experiment führen wir dem Wasser auch noch weitere Energie zu, wenn es bereits kocht. Die Masse des Wassers bestimmen wir vor und nach dem Experiment mit einer Waage. Zeichne ein  $t - \vartheta$ -Diagramm. Was fällt gegen Ende des Experiments auf?**

t in min	$\vartheta$ in $^{\circ}\text{C}$
1	36°
2	54°
3	71°
4	86°
5	100°
6	100°
7	100°
8	100°
9	100°

## 6.5 Verdampfen und Schmelzen (1)

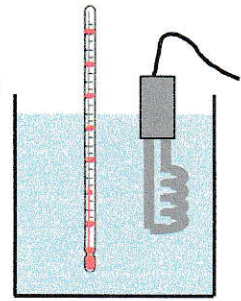
### Experiment: Verdampfen

$$\vartheta_0 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{vorher}} = 250\text{ g}$$

$$m_{\text{nachher}} = 220\text{ g}$$

$$m_{\text{Dampf}} = 30\text{ g}$$



(Messwerte je nach Experiment)

Ermittle aus der Messkurve die Temperaturzunahme  $\Delta\vartheta$  und die dafür benötigte Zeit. Berechne daraus die hierbei zugeführte Energie sowie die Heizleistung des Tauchsieders und vergleiche mit den technischen Daten.

#### Bestimmung der Heizleistung

$$\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 0,25\text{ kg} \cdot 80^{\circ}\text{C} = 83,8\text{ kJ}$$

$$P = \frac{\Delta E}{t} = \frac{83,8\text{ kJ}}{5,60\text{ s}} = 0,279\text{ kW} = 279\text{ W}$$

Im zweiten Teil des Heizvorganges führt die zugeführte Energie nicht mehr zur Temperaturzunahme, sondern zum Verdampfen des Wassers aus dem Gefäß.

Berechne die Energiemenge, die aufgewendet wird, um 1 g Wasser zu verdampfen?

#### Bestimmung der spezifischen Verdampfungswärme

$$E_{\text{Dampf}} = P \cdot t_{\text{Dampf}} = 279\text{ W} \cdot (4,60\text{ s}) = 67\text{ kJ}$$

$$r = \frac{E_{\text{Dampf}}}{m_{\text{Dampf}}} = \frac{67\text{ kJ}}{30\text{ g}} = 2,23 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

Heizt man Wasser über den Siedepunkt hinaus, so führt die zugeführte Energie nicht mehr

zur Erwärmung, sondern zum Verdampfen des Wassers.

Man benötigt dabei 2,26 kJ Energie, um 1 g Wasser zu verdampfen.

Literaturwert

In dieser Aufgabe werden zur Vereinfachung natürlich auftretende Wärmeverluste nicht berücksichtigt.  
 Lisas Papa setzt 3 l Wasser auf das Kochfeld (1,5 kW), um Spaghetti zu kochen.

- a) Wie lange dauert es, bis das Wasser kocht, wenn es am Anfang 20°C hatte?  
 b) Er gibt die Spaghetti ins Wasser und lässt das Kochfeld auf voller Leistung weiterlaufen. Wie viel Wasser verdunstet, bis die Spaghetti nach 8,0 min al dente sind?  
 c) Wie viel Energie könnte er im Idealfall sparen, wenn er das Kochfeld zurückschaltet und den Topf mit einem Deckel abdeckt.

Beachte auch:

1 MJ für Nudelwasser zum Kochen bringen!

### Musteraufgabe: Spaghetti-Kochen

$$a) \Delta E = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 3 \text{ kg} \cdot 80^\circ\text{C} = \underline{1006 \text{ kJ}}$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta E}{P} = \frac{1006 \text{ kJ}}{1,5 \text{ kW}} = 670 \text{ s} = \underline{11 \text{ min } 10 \text{ s}}$$

$$b) E_{\text{Dampf}} = P \cdot t_{\text{Dampf}} = 1,5 \text{ kW} \cdot (8 \cdot 60 \text{ s}) = \underline{720 \text{ kJ}}$$

$$E_{\text{Dampf}} = r \cdot m_{\text{Dampf}}$$

$$m_{\text{Dampf}} = \frac{E_{\text{Dampf}}}{r} = \frac{720 \text{ kJ}}{2,26 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}} = \underline{319 \text{ g}}$$

Für das Verdampfen geht hier fast soviel Energie drauf, wie für das Erhitzen!

### Tipp für die Küche:

Du kannst beim Kochen von Nudeln oder Reis eine Menge Energie sparen, wenn Du beim Erreichen des Siedepunktes das Kochfeld zurückschaltest und den Topf die ganze Zeit mit einem Deckel abdeckst.

### Aufgabe: Cappuccino

Bei der Zubereitung von Cappuccino und anderen Heißgetränken leitet man Wasserdampf in das Wasser, das erhitzt werden soll.

- a) Berechne die Energie, die bei der Kondensation von 10 g Wasserdampf übertragen wird.  
 b) Vergleiche mit der Energie, die von 10 g Wasser von 100°C abgegeben wird, wenn die Mischtemperatur am Ende 50°C beträgt.

### Kondensationswärme

Bei der Kondensation wird genauso viel Energie frei, wie für das Verdampfen benötigt wird.



aus wikipedia.de

$$a) E_{\text{Dampf}} = r \cdot m_{\text{Dampf}} = 2,26 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \cdot 10 \text{ g} = \underline{22,6 \text{ kJ}}$$

$$b) \Delta E = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,01 \text{ kg} \cdot 50^\circ\text{C} = \underline{2,1 \text{ kJ}}$$

Der Dampf gibt viel mehr Energie ab als das kochend heiße Wasser.

→ Verbrühungsgefahr

### Selbst-Check:

- Temperaturverlauf beim Wasserkochen
- spezifische Verdampfungswärme
- Energiesparen beim Kochen
- Kondensationswärme

### Übungsmöglichkeiten:

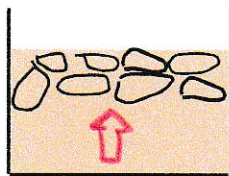
Anwendungsorientierte Aufgaben zum Thema finden sich auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie Wärmekapazität - Phasenübergänge Aufgaben** z.B. mit "Kochendes Nudelwasser" oder "Energie beim Kochen von Kartoffeln".



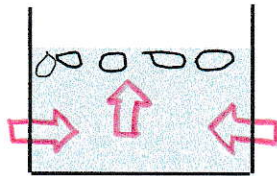
Sehr beliebt ist die Zugabe von Eiswürfeln in Getränke, vor allem im Sommer. In diesem Experiment untersuchen wir, was dabei eigentlich passiert. **Notiere die Beobachtungen am Thermometer und erkläre diese mit den Energieflüssen.**

## 6.6 Verdampfen und Schmelzen (2)

### Experiment: Schmelzen



Bei Zugabe von Eis kühlt das Wasser ab bis auf  $0^{\circ}\text{C}$ , dabei schmelzen die Eiswürfel  $\rightarrow$  thermische Energie des Wassers wird für den Schmelzvorgang verwendet



Energie, die aus dem Raum einströmt, wird zum weiteren Schmelzen verwendet  $\rightarrow$  Eis-Wasser-Gemisch bleibt auf  $0^{\circ}\text{C}$

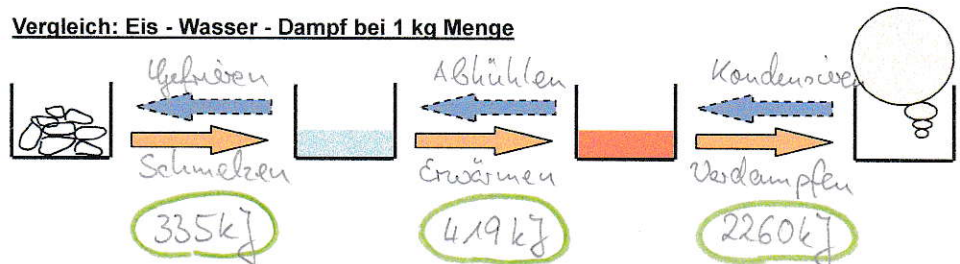
### Schmelzwärme:

Um 1 g Wassereis zu schmelzen, muss man .....  $335 \text{ J}$  ..... Energie zuführen.

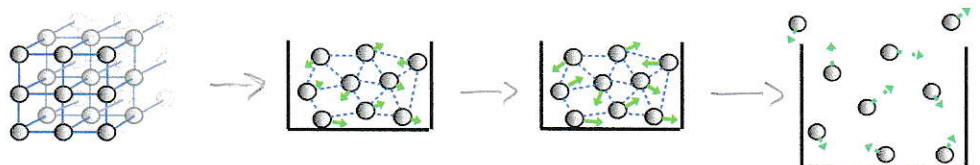
Ein Eis-Wasser-Gemisch behält solange die Temperatur .....  $0^{\circ}\text{C}$  ..... bis das Eis vollständig geschmolzen ist.

Benenne die Umwandlungsprozesse. Gib auch jeweils die Energiemengen an, die für 1 kg nötig sind.

### Vergleich: Eis - Wasser - Dampf bei 1 kg Menge



Hinter den von außen sichtbaren Veränderungen der Erscheinungsform stecken Umwandlungen im Gefüge der atomaren Struktur. **Wofür wird die zugeführte Energie jeweils benötigt?**



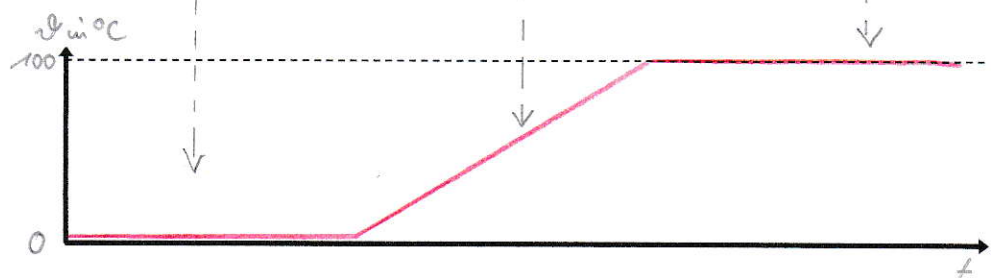
Zwei Animationen hierzu gibt es auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie Wärmekapazität - Phasenübergänge Grundwissen.**

starre Bindungen werden zu flexiblen

Geschwindigkeit nimmt zu

flexible Bindungen werden aufgebrochen

Wie entwickelt sich die Temperatur, wenn wir mit konstanter Leistung Energie zuführen?





Dass Wasser verdunstet, erlebst Du jeden Tag. An sich ist das schon ein sehr praktisches Phänomen, sorgt es doch dafür, dass unsere Kleidung trocknet, wenn wir sie gewaschen haben oder draußen im Regen waren.

### Verdunstung

Wasser geht bereits bei Raumtemperatur (und deutlich darunter) in Wasserdampf über. Das kannst Du bei Wasserpfützen oder nasser Kleidung täglich beobachten. Wir nennen diesen Vorgang Verdunsten. Die hierzu benötigte Energie holt sich das Wasser aus der Umgebung, die dadurch abgekühlt wird.

**Warum sollte man sich nach dem Schwimmen nicht nur Abtrocknen, sondern auch die Badekleidung gegen trockene tauschen?**

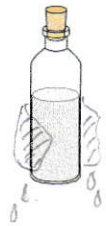
### Gesundheitsvorsorge: Nasse Badekleidung

Das Wasser auf der Haut oder in der Badekleidung verdunstet und nimmt die dafür benötigte (sehr hohe) Energiemenge aus unserem Körper → Erkältungsgefahr!



### Tipp für Outdoor-Freaks und Überlebenskünstler:

Man kann diesen Effekt aber auch für sich nutzen, wenn man auf dem Fahrradausflug ein kaltes Getränk genießen möchte. **Wie kann man ohne Strom seine Trinkflasche kühlen?**



Flasche in nasses Tuch wickeln → Beim Verdunsten wird sehr viel thermische Energie der Flasche entzogen → Abkühlung! (Verdunstungskälte)

Auch die Energieflüsse beim Gefrieren können wir trickreich für uns nutzen.

**Wenn während der frühen Obstbaumblüte vom Wetterbericht Nachfrost angekündigt wird, dann sprühen die Obstbauern ihre Bäume abends mit Wasser ein, um die Blüten vor dem Erfrieren zu schützen (sonst wäre ja die Obsternte im Herbst in Gefahr). Warum klappt dieser Trick?**

### Trick: Schmelzwärme

Beim Gefrieren (Umkehrung des Schmelzens) wird die Schmelzwärme vom Wasser freigesetzt und verhindert, dass die Blüte selbst gefriert und Schaden nimmt. Das funktioniert aber nur, wenn der Frost nicht allzu lange anhält.



### Selbst-Check:

- Schmelzen: Energie und Temperatur
- Vergleich: Schmelzen-Heizen-Verdampfen
- Verdunsten
- Anwendungen

### Übungsmöglichkeiten:

Aufgaben zum Thema gibt es auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Wärmelehre - Innere Energie Wärmekapazität - Spezifische Schmelz und Verdampfungswärme Aufgaben**. Sehr gut eignen sich z.B. das "Fragenallerlei ..." oder die Aufgabe "Zeit-Temperatur-Diagramm".

In fast allen Anwendungen, die wir untersucht haben, wurde thermische Energie von Wärmequellen an Körper weitergegeben. Hier untersuchen wir systematisch diesen Wärmetransport.

**Im Experiment erhitzen wir ein Metallstück, an dem mehrere Röhrchen aus unterschiedlichen Metallen angebracht sind. An deren Ende sind Zündhölzer angebracht.**

Animiert auf Leifiphysik unter  
**Teilgebiet Wärmelehre -  
Wärmetransport -  
Wärmeleitung Grundwissen.**

**Erläutere, welche Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit beim Kochtopf und bei der Gebäudehülle gestellt werden.**

**Im Experiment wird eine gebogene Röhre, die mit Wasser befüllt ist, an einer Ecke geheizt. Beschreibe die Beobachtung.**

Die "Ausdehnung bei Erwärmung" (Kap. 5.1) und die "Dichte" aus der 7. Jgst. helfen uns, dieses Phänomen zu verstehen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$$

Bei der Heizung befördert eine Pumpe das Wasser durch die Rohre, beim Golfstrom sind es vor allem Winde im Nordatlantik.

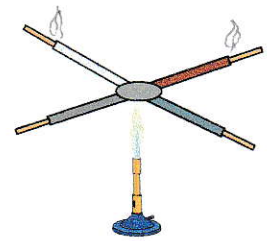
**Beurteile den Einfluss der Wärmekapazität von Wasser auf die Effizienz der beiden Vorgänge.**

## 6.7 Transport von thermischer Energie

### Wärmeleitung

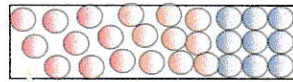
#### Experiment:

Die Streichhölzer entzünden sich durch die Hitze nach unterschiedlichen Zeiten.



Bei der Wärmeleitung wird Energie innerhalb eines Mediums oder an der Kontaktfläche zwischen zwei zwei Medien weiter gegeben. Unterschiedliche Materialien leiten Energie unterschiedlich gut.

#### Mechanismus:



Im Heizbereich erhöht sich die kinetische Energie (Geschwindigkeit) der Atome. Durch Zusammenstöße wird diese Energie an die anderen Atome weiter gegeben.

#### Anwendungen:



Der Boden muss gut leitfähig sein, damit der Topf schnell warm wird. Die Griffe müssen schlecht leiten, damit man die Finger nicht verbrennt. Wände, Dach und Fenster sollten schlecht leiten, damit das Haus wenig Energie verliert.

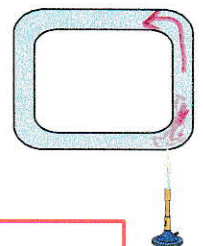
9 Thermische Energie - 6.7 Transport von thermischer Energie

1

### Wärmemitführung (Konvektion)

#### Experiment:

Das erwärmte Wasser steigt nach oben und erzeugt eine Strömung im Rohr.



Bei der Konvektion wird das ganze Medium bewegt, damit auch die thermische Energie, die das Medium hat.

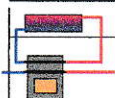
#### Mechanismus:

Häufig entsteht Konvektion durch Auftrieb.

Wird ein Medium erwärmt, so dehnt es sich aus und steigt nach oben, da seine Dichte abnimmt.

In der Technik wird das Medium oft durch ..... bewegt.

#### Anwendungen:



Das warme Wasser wird vom Brenner zum Heizkörper transportiert.

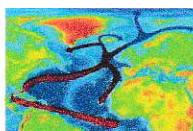


Abb. aus wikipedia

Im Golfstrom strömt warmes Wasser aus dem Golf von Mexiko nach Nordeuropa. → milde Temperaturen für Großbritannien und Island

9 Thermische Energie - 6.7 Transport von thermischer Energie

2

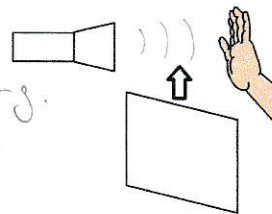


In diesem Experiment nutzen wir einen speziellen Wärmestrahler, als Nachweisgerät dient unsere Hand. Beschreibe die Wahrnehmung.

## Wärmestrahlung

### Experiment:

Man spürt mit der Hand die Wärmestrahlung. Diese kann durch einen dünnen Karton abgeschwächt werden.



Bei der Wärmestrahlung erfolgt der Energietransport vollkommen

unabhängig von einem Medium

durch Strahlung.

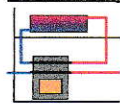
### Mechanismus:

Diese Strahlung ist dem bekannten Licht sehr ähnlich (nur unsichtbar) und hat vergleichbare Eigenschaften. Alle Körper senden Wärmestrahlung aus.

Die Menge hängt von Temperatur und Oberfläche ab.

Schwarze, raue Oberflächen können diese Strahlung besser aufnehmen als weiße, glatte.

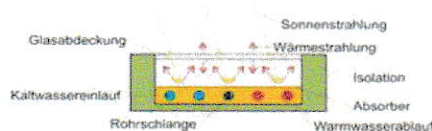
### Anwendungen:



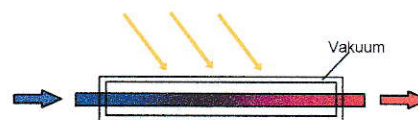
Wenn wir vor dem Heizkörper stehen, spüren wir vor allem die Wärmestrahlung. Über dem Heizkörper registriert die Hand die Konvektion der Luft. Die Wärmestrahlung (und das Licht) der Sonne gelangt durch das Vakuum des Weltalls bis zur Erde. Diese strahlt auch wieder ab.

Sonnenkollektoren ermöglichen uns, unser Warmwasser klimaneutral durch Sonneneinstrahlung zu erwärmen. Die klassischen Flachbettkollektoren (ähnlich einem Frühbeet, durch das ein Wasserrohr führt) wurden mittlerweile weitgehend von Vakuumröhrenkollektoren abgelöst, bei denen das wasserführende Rohr von einer doppelwandigen Glasröhre mit Vakuum (ähnlich einer Thermoskanne) umschlossen ist. Erkläre das gemeinsame Funktionsprinzip, das beiden Kollektortypen zu Grunde liegt und erläutere, weshalb der Vakuumröhrenkollektor den besseren Energieertrag liefert. Verwende dabei die drei Mechanismen des Wärmetransportes.

### Anwendung: Sonnenkollektor



Querschnitt Flachbettkollektor aus wikipedia.de



Seitenansicht Vakuumröhrenkollektor

Wärmestrahlung (und sichtbares Licht) der Sonne wird von der schwarzen Oberfläche des Absorbers aufgenommen und durch Wärmeleitung auf das Wasser übertragen. Das erwärmte Wasser wird zum Warmwasserspeicher gepumpt (Konvektion).

Der heiße Absorber verliert aber auch sofort wieder Energie durch Wärmestrahlung (bei beiden Typen) und durch Konvektion und Wärmeleitung (nur beim Flachbettkollektor). Das Vakuum verhindert Konvektion und Wärmeleitung.

### Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphsik findest Du unter Teilgebiet Wärmelehre - Wärmetransport -

Aufgabenübersicht ein Quiz, mit dem Du Dein Verständnis perfekt testen kannst. Daneben gibt es hier jede Menge Anwendungen aus Alltag, Natur und Technik.

### Selbst-Check:

- Wärmeleitung
- Konvektion
- Wärmestrahlung
- Anwendungen