

## HF14S Arbeitsblatt 2 Wärme als Energieform

Die **Celsius-Skala** ist durch folgende Fixpunkte definiert:

0°C: Schmelzpunkt des Eises bei einem Druck von 1,013 bar

100°C: Siedepunkt des Wassers unter gleichem Druck.  
(1,013 bar ist der Luftdruck in Meereshöhe)

Nullpunkt der **Kelvin – Skala** liegt bei  $-273^{\circ}\text{C}$  (absoluter Nullpunkt)

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} \quad \boxed{p = \frac{F}{A}} \quad \text{Einheiten: } 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1\text{Pa}$$

$$\text{oder } 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1\text{bar} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5\text{Pa}$$

Für viele Zwecke wird die Umrechnung  $\boxed{1\text{bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$  verwendet.

### **Beispiel:**

Der Deckel eines Dampfdrucktopfes hat den Durchmesser  $d = 25\text{ cm}$ .

Welche Kraft wirkt auf den Topfdeckel, wenn im Kochtopf ein Überdruck von 1 bar herrscht?

$$\text{Daten: } d = 25\text{ cm}; p = 1\text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Druckformel: } p = \frac{F}{A} \Leftrightarrow F = p \cdot A$$

$$\text{Kreisfläche: } A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$\text{Also gilt: } F = p \cdot A = p \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{(25\text{ cm})^2 \cdot \pi}{4} \approx \underline{\underline{4908,74\text{ N}}}$$

Auf den Deckel des Kochtopfes wirkt somit eine Kraft von ca. 4909 N.

Das ist etwa soviel, wie die Gewichtskraft eines kleinen Autos der Masse 490,0 kg.

Die **Wärmemenge** ist ein Energiebetrag.

Soll ein Körper erwärmt werden, so muss ihm Energie zugeführt werden (Wärmeenergie). Der Energiebetrag, der einem bestimmten Stoff zugeführt werden muss, um seine Temperatur zu erhöhen, wird **Wärmemenge** genannt.

Die Wärmemenge ist abhängig von:

- dem Stoff (z.B. Wasser, Aluminium, Kupfer,...)
- der Stoffmenge (kg)
- der Temperaturdifferenz (z.B.  $\Delta T = 45\text{ K}$ )

Formel:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$   $c$  : spezifische Wärmekapazität in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$   
 $m$  : Stoffmenge in kg  
 $\Delta T$  : Temperaturdifferenz

Die **spezifische Wärmekapazität** ist vom Stoff abhängig. Sie gibt den Energiebetrag an, dessen Zu – oder Abfuhr 1kg des Stoffes um 1 K erwärmt, bzw. abkühlt.

**Beispiel:** 3,5 Liter Wasser sollen von 15°C zum kochen gebracht werden.  
 Wie groß ist die zugeführte Wärmemenge in kJ und kWh?  
 ( $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,2 \text{ kJ/kgK}$ )

$$m = 3,5 \text{ kg} \quad \Delta T = 100^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 85\text{K}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3,5 \text{ kg} \cdot 85\text{K} = 4,2 \cdot 3,5 \cdot 85 \cdot \frac{\text{kJ} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \underline{\underline{1249,5 \text{ kJ}}}$$

$$\text{Umrechnung: } 1 \text{ kJ} = 1 \text{ kWs} = \frac{1}{3600} \text{ kWh} \Rightarrow 1249,5 \text{ kJ} = \frac{1249,5}{3600} \text{ kWh} \approx \underline{\underline{0,347 \text{ kWh}}}$$

Um 3,5 Liter Wasser um 85 K zu erwärmen, ist eine Energie von 1249,5 kJ bzw. 0,347 kWh erforderlich.

### Energieumsatz bei Phasenübergängen.

#### Schmelzen – Erstarren

$Q_s = c_s \cdot m$   $c_s$  : Schmelzwärme in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  Das bedeutet, um 1 kg Eis von 0°C in Wasser von 0°C zu verwandeln (oder umgekehrt), ist ein Energieumsatz von 333 kJ erforderlich.

speziell:  $c_{\text{sH}_2\text{O}} = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

**Beispiel:** Ein 4,5 kg Eisblock soll aufgetaut werden. Welche Energie ist zuzuführen?

$$Q = c_s \cdot m = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 4,5 \text{ kg} = 333 \cdot 4,5 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{kg} = \underline{\underline{1498,5 \text{ kJ}}}$$

**Verdampfen – kondensieren**

$Q_v = c_v \cdot m$	$c_v$ : Verdampfungswärme in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Das bedeutet, um 1 kg Wasser von 100°C vollständig in Dampf von 100°C zu verwandeln (oder umgekehrt), ist ein Energieumsatz von 2256 kJ erforderlich.
speziell: $c_{v\text{H}_2\text{O}} = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$		

**Beispiel:**

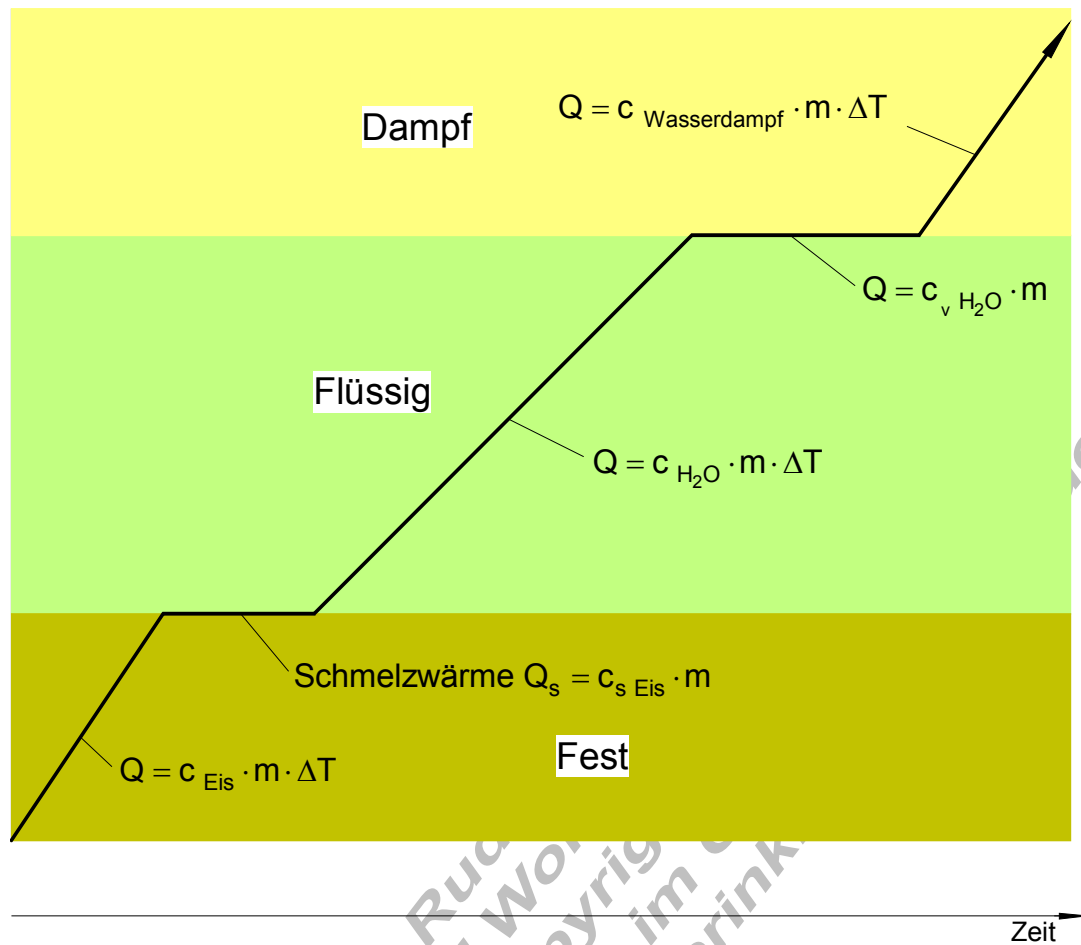
1,5 Liter Wasser von 100°C soll verdampft werden. Welche Energie ist zuzuführen?

$$Q_v = c_{v\text{H}_2\text{O}} \cdot m = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 1,5 \text{ kg} = 2256 \cdot 1,5 \cdot \frac{\text{kJ} \cdot \text{kg}}{\text{kg}} = \underline{\underline{3384 \text{ kJ}}} = \underline{\underline{0,94 \text{ kWh}}}$$

Um 1,5 Liter Wasser zu verdampfen ist eine Energie von 3384 kJ bzw. 0,94 kWh erforderlich.

**Bemerkung zu den Phasenübergängen:**

1. Wird ein Gemisch aus Wasser und Eis erwärmt, beträgt die Temperatur 0°C. Eine Temperaturerhöhung findet erst statt, wenn alles Eis geschmolzen ist. Gleiches gilt, wenn das Gemisch gekühlt wird.
2. Wasser kocht bei 100°C. Solange sich Wasser in dem Topf befindet, hat auch der die gleiche Temperatur. Sie erhöht sich erst, wenn alles Wasser verdampft wurde.

**Temperaturverlauf von Wasser bei konstanter Wärmezufuhr.****Beispiel:**

Ein Eisblock der Masse  $m = 2 \text{ kg}$  soll vollständig verdampft werden.

Welche Energie in kWh ist dazu erforderlich?

$$\text{Daten: } c_{\text{Eis}} = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; c_{\text{sH}_2\text{O}} = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; c_{\text{vH}_2\text{O}} = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

1. Eis von  $-20^\circ\text{C}$  auf  $0^\circ\text{C}$  erwärmen:

$$Q_1 = c_{\text{Eis}} \cdot m \cdot \Delta T = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot 20 \text{ K} = \underline{\underline{84 \text{ kJ}}}$$

2. Eis schmelzen:

$$Q_2 = c_{\text{sH}_2\text{O}} \cdot m = 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ kg} = \underline{\underline{66 \text{ kJ}}}$$

3. Wasser von  $0^\circ\text{C}$  auf  $100^\circ\text{C}$  erwärmen:

$$Q_3 = c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K} = \underline{\underline{840 \text{ kJ}}}$$

4. Wasser verdampfen:

$$Q_4 = c_{\text{vH}_2\text{O}} \cdot m = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ kg} = \underline{\underline{4512 \text{ kJ}}}$$

$$\text{Gesamtenergie: } Q_{\text{ges}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = \underline{\underline{6102 \text{ kJ} = 1,695 \text{ kWh}}}$$

### Aufgabe:

Für ein Wannenbad benötigt man ca. 150 Liter Wasser. Beim Duschen ist der Wasserbedarf 15 Liter pro Minute.

Wie teuer ist das Wannenbad ?

Ab welcher Duschzeit wird das Baden in der Wanne billiger?

Daten:	Wasserzulauf:	$15^\circ\text{C}$
	Dusch – bzw. Badetemperatur:	$40^\circ\text{C}$
	Energiekosten:	$0,15 \text{ € / kWh}$
	Wasserkosten:	$3,50 \text{ € / m}^3$

$$\text{Wannenbad: } Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 150 \text{ kg} \cdot 25 \text{ K} = 15750 \text{ kJ} = 4,375 \text{ kWh}$$

$$\text{Kosten: Energie: } K_1 = 4,375 \text{ kWh} \cdot 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,65625 \text{ €}$$

$$\text{Wasser: } K_2 = 0,150 \text{ m}^3 \cdot 3,50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 0,525 \text{ €}$$

$$\text{Gesamtkosten für ein Wannenbad: } K = K_1 + K_2 = \underline{\underline{1,18 \text{ €}}}$$

Duschen:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 15 \text{ kg} \cdot 25 \text{ K} = 1575 \text{ kJ} = 0,4375 \text{ kWh}$

Kosten: Energie:  $K_1 = 0,4375 \text{ kWh} \cdot 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,065625 \text{ €}$

Wasser:  $K_2 = 0,015 \text{ m}^3 \cdot 3,50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 0,0525 \text{ €}$

Gesamtkosten für eine Minute duschen:  $K = K_1 + K_2 = \underline{\underline{0,118 \text{ €}}}$

Vergleich Wannenbad – Duschbad:

Wannenbad 1,18 € (bei 150 Liter Wasser)

Duschbad 0,118 € pro Minute

Vergleich:

Die Kosten für ein Wannenbad entsprechen den Kosten für 10 min. duschen.

(C) Rudolf Brinkmann  
Original Word-Dokumente  
ohne Copyright-Vermerk  
erhalten Sie im Onlineshop  
<http://www.mathebrinkmann-shop.de>