

# Entropie in der Schule



[www.karlsruher-physikkurs.de](http://www.karlsruher-physikkurs.de)

[www.kpk-akademie.de](http://www.kpk-akademie.de)



Frankenthal Januar 2024

1

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- 1 Energie und Energieträger
- 2 Entropie als Energieträger
- 3 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom
- 4 Entropieerzeugung durch Entropieströme
- 5 Wärmemotoren und ihre Entropiequellen
- 6 Wärmekraftwerk - Wärmepumpe
- 7 Energieverlust und Wirkungsgrad**
- 8 Der Wirkungsgrad von Feuerungen
- 9 Die Messung der Entropie



Frankenthal Januar 2024

2

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



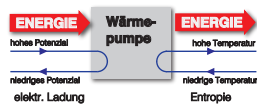




# ENDE

## 1.9 Entropie als Energieträger

Entropie ist ein Energieträger.



Je höher die Temperatur ist, desto mehr Energie transportiert die Entropie.

1.9 Entropie als Energieträger

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom

1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme

1.12 Wärmemotoren

1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren

1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad

1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

1.16 Die Messung der Entropie

1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

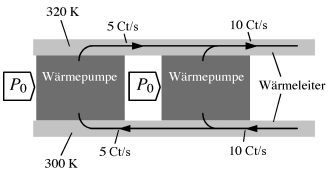
---

---

---

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom

$P = \Delta\phi \cdot I$       $P = \Delta T \cdot I_s$



$P \sim I_s$  für  $\Delta T = \text{const}$

12

---

---

---

---

---

---

---

---

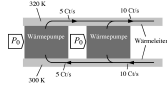
---

---

---

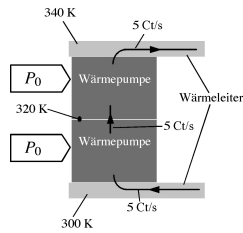
---

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom



$P = \Delta T \cdot I_S$

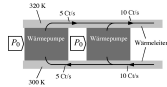
$P \sim I_S$  für  $\Delta T = \text{const}$



$P \sim \Delta T$  für  $I_S = \text{const}$

13

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom



$P = \Delta T \cdot I_S$

$P \sim I_S$  für  $\Delta T = \text{const}$   
 $P \sim \Delta T$  für  $I_S = \text{const}$  }  $P \sim \Delta T \cdot I_S$   $P = \Delta T \cdot I_S$

- Die Wärmepumpe verbraucht um so mehr Energie
- je mehr Entropie sie fördern muss
  - je größer der Temperaturunterschied ist, den sie zu überwinden hat.

14

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom

$$P = \Delta T \cdot I_S$$

Die Wärmepumpe verbraucht um so mehr Energie

- je mehr Entropie sie fördern muss
- je größer der Temperaturunterschied ist, den sie zu überwinden hat.

$$P = (T_A - T_B) I_S$$

$$P_B = T_B \cdot I_S$$

$$P_A = T_A \cdot I_S$$

$$P = T \cdot I_S$$

Ein Entropiestrom der Stärke  $I_S$  trägt einen Energiestrom der Stärke  $T \cdot I_S$ .

Die Temperatur gibt an, wie stark ein Entropiestrom mit Energie beladen ist.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- 1.9 Entropie als Energieträger
- 1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom
- 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme
- 1.12 Wärmemotoren
- 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren
- 1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad
- 1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen
- 1.16 Die Messung der Entropie
- 1.17 Die Erwärmbarkeit
- 1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

---

---

---

---

---

---

---

---

---

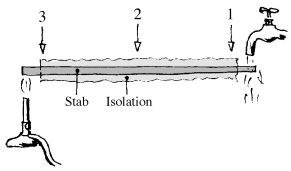
---

---

---



## 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme



$$P_3 = P_2 = P_1$$

$$P = T \cdot I_S$$

$$T_3 \cdot I_{S3} = T_2 \cdot I_{S2} = T_1 \cdot I_{S1}$$

$$T_3 > T_2 > T_1$$

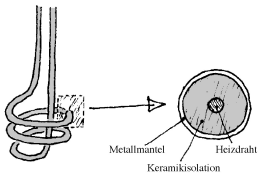
$$I_{S3} < I_{S2} < I_{S1}$$

$$I_{S1} = I_{S3} + I_{S\text{erzeugt}}$$

Fließt Entropie durch einen Wärmewiderstand, so wird zusätzliche Entropie erzeugt.

## 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme

$$P = T \cdot I_S$$



$$I_S = \frac{P}{T} = \frac{700\text{W}}{1000\text{K}} = 0,7\text{Ct/s}$$

$$I_S = \frac{P}{T} = \frac{700\text{W}}{350\text{K}} = 2\text{Ct/s}$$

- 1.9 Entropie als Energieträger
- 1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom
- 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme
- 1.12 Wärmemotoren
- 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren
- 1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad
- 1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen
- 1.16 Die Messung der Entropie
- 1.17 Die Erwärmbarkeit
- 1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

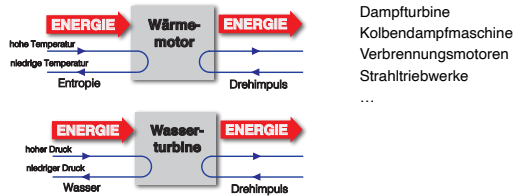
---

---

---

---

**1.12 Wärmemotoren**



Dampfturbine  
 Kolbendampfmaschine  
 Verbrennungsmotoren  
 Strahltriebwerke  
 ...

In einem Wärmemotor wird Energie vom Energieträger Entropie auf den Energieträger Drehimpuls umgeladen.

$$P = \Delta T \cdot Is$$

Ein Wärmemotor gibt mit dem Drehimpuls um so mehr Energie ab

- je stärker der Entropiestrom ist, der durch die Maschine fließt;
- je größer das Temperaturgefälle ist, das der Entropiestrom in der Maschine hinunterfließt.

20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

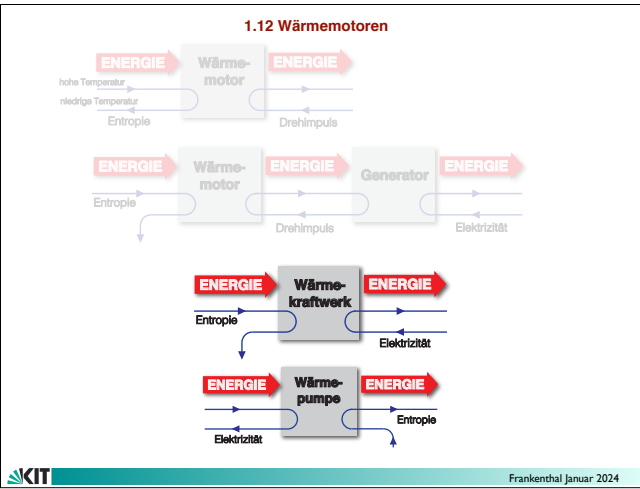
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- 1.9 Entropie als Energieträger
- 1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom
- 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme
- 1.12 Wärmemotoren
- 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren
- 1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad
- 1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen
- 1.16 Die Messung der Entropie
- 1.17 Die Erwärmbarkeit
- 1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

KIT Frankenthal Januar 2024

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren

Natürliche Entropiequellen

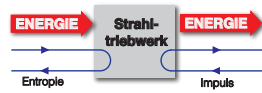
Künstliche Entropiequellen

Wärme­kraftwerke

Verbrennungsmotoren

Kolbendampfmaschinen

Das Strahltriebwerk



1.9 Entropie als Energieträger

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom

1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme

1.12 Wärmemotoren

1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren

1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad

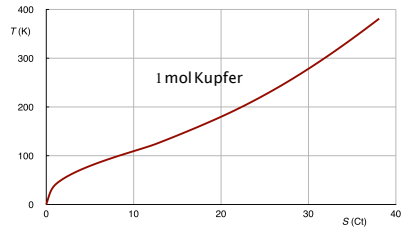
1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

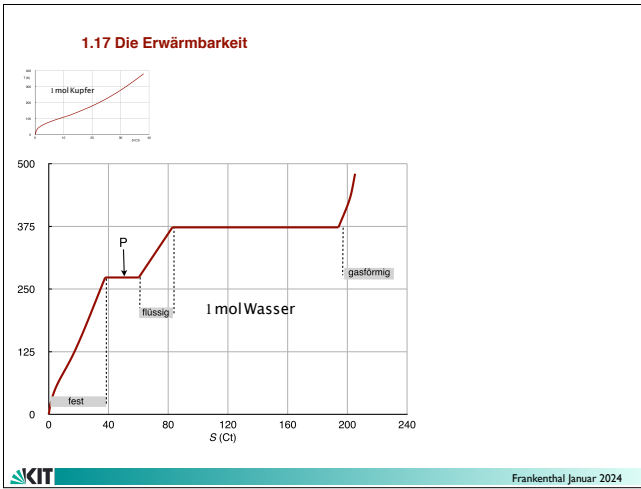
1.16 Die Messung der Entropie

1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

- 1.9 Entropie als Energieträger
- 1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom
- 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme
- 1.12 Wärmemotoren
- 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren
- 1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad
- 1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen
- 1.16 Die Messung der Entropie
- 1.17 Die Erwärmbarkeit
- 1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

**1.17 Die Erwärmbarkeit**



---

---

---

---

---

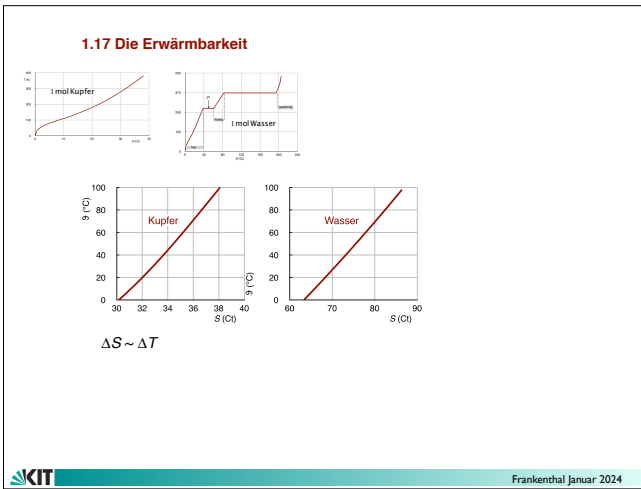
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

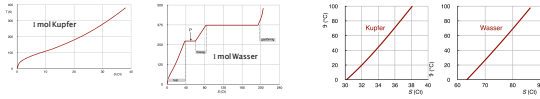
---

---

---

---

1.17 Die Erwärmbarkeit



$$\Delta S \sim \Delta T$$

$$S \sim m$$

$$\Delta S \sim m$$

$$\Delta S \sim n$$

$$\Delta S \sim n \cdot \Delta T$$

$$\Delta T \sim \frac{\Delta S}{n}$$

$$\Delta T = \alpha \frac{\Delta S}{n}$$

$$\alpha = n \frac{\Delta T}{\Delta S}$$

Stoff	$\alpha$ (mol-K/Ct)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$M$ (g/mol)
Al	11,93	2,7	27,0
Ag	11,55	10,4	107,9
Au	11,53	19,3	197,0
Cu	12,11	8,96	63,5
Fe	11,67	7,86	55,8
Na	10,44	0,97	23,0
Pb	10,96	11,34	207,2
Si	14,65	2,42	28,1
Wasser	3,89	1,00	18,0
Ethanol	2,62	0,789	46,0

- 1.9 Entropie als Energieträger
- 1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom
- 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme
- 1.12 Wärmemotoren
- 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren
- 1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad
- 1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen
- 1.16 Die Messung der Entropie
- 1.17 Die Erwärmbarkeit
- 1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

31

$$P = T \cdot I_S$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad I_S = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\Delta E = T \cdot \Delta S$$

$$\frac{\Delta E}{m \cdot \Delta T} = \frac{T \cdot \Delta S}{m \cdot \Delta T} = \frac{T \cdot \Delta S}{n \cdot M \cdot \Delta T} = \frac{T}{M \cdot \alpha}$$

$$\begin{aligned} T &= 293 \text{ K} \\ M &= 0,018 \text{ kg/mol} \\ \alpha &= 3,89 \text{ mol} \cdot \text{K/Ct} \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta E}{m \cdot \Delta T} = \frac{293 \text{ K}}{0,018 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 3,89 \frac{\text{mol} \cdot \text{K}}{\text{Ct}}} = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T \quad c = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

