Wärmelehre Teil 2

Karlsruher Institut für Technologie

www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de

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

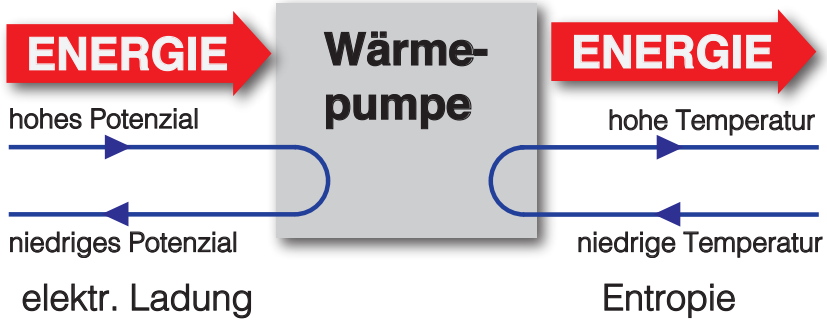
1.16 Die Messung der Entropie

1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

1.9 Entropie als Energieträger

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

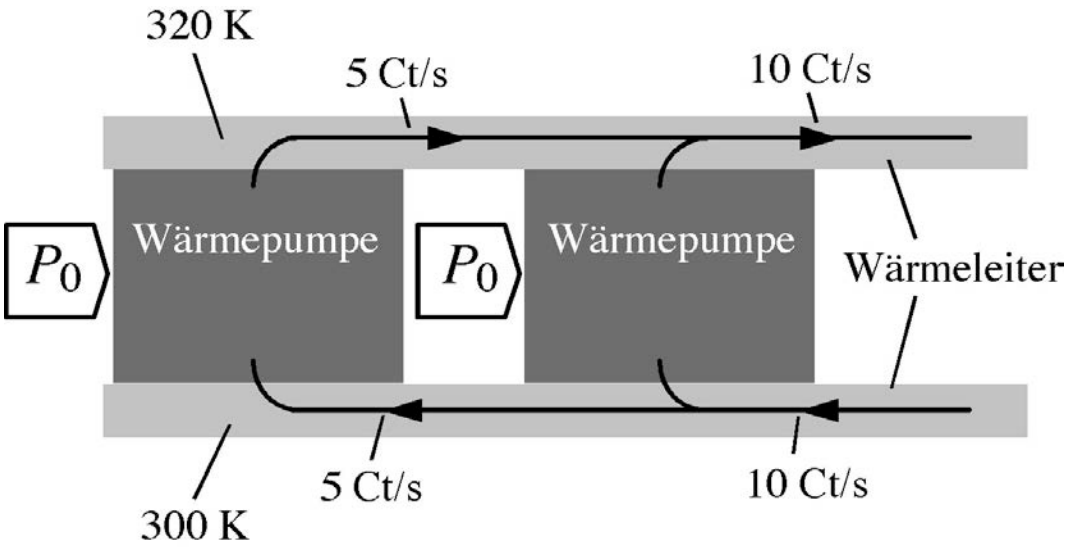
1.16 Die Messung der Entropie

1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

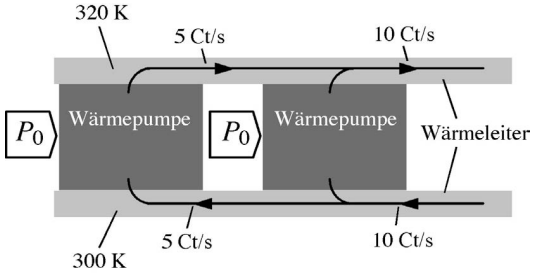
1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom

$P = \Delta\phi \cdot I$ $\qquad$ $P = \Delta T \cdot I_S$



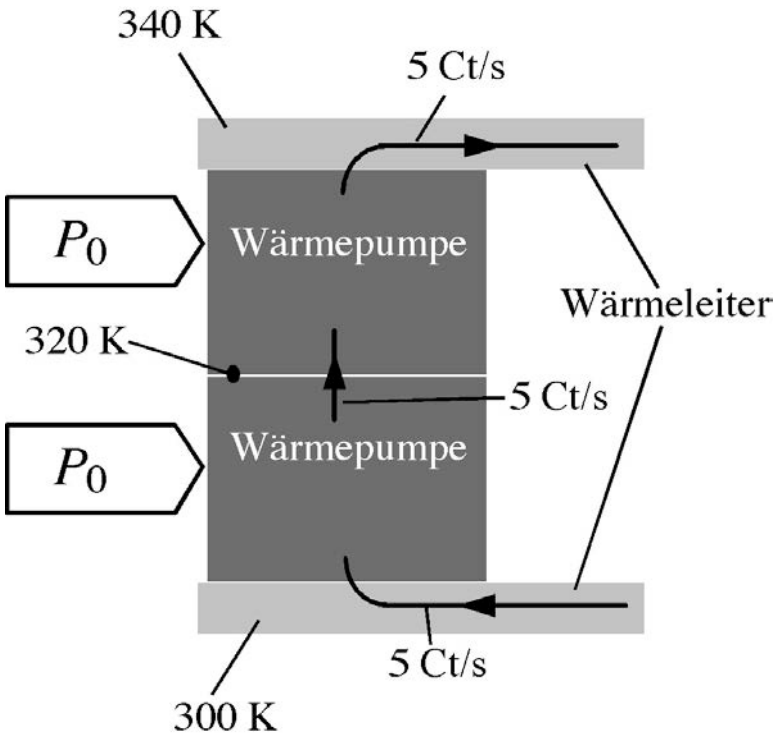
$P \sim I_S$ für $\Delta T = \text{const}$

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom



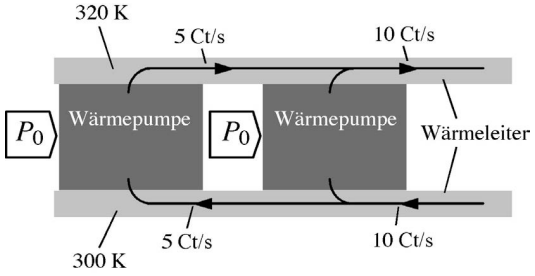
$$P = \Delta T \cdot I_S$$

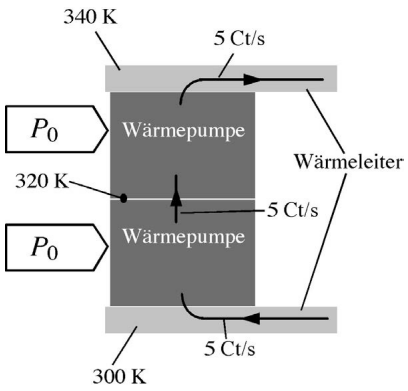
$P \sim I_S$ für $\Delta T = \text{const}$



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

1.10 Der Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom





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

$$\left.\begin{array}{ll} P \sim I_S & \text{für} \quad \Delta T = \text{const} \\ P \sim \Delta T & \text{für} \quad I_S = \text{const} \end{array}\right\} \quad P \sim \Delta T \cdot I_S$$

$$\boxed{P = \Delta T \cdot I_S}$$

Die Wärmepumpe verbraucht um so mehr Energie

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

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

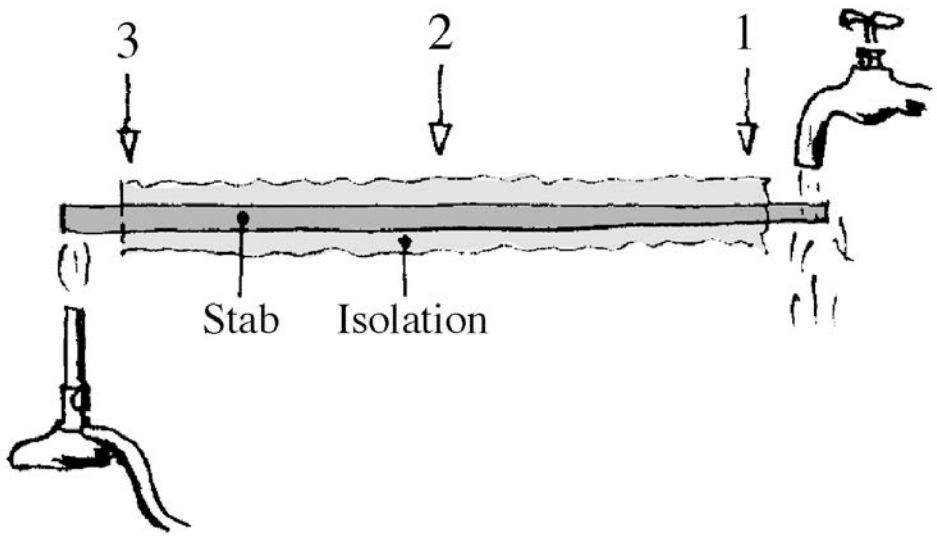
1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

1.16 Die Messung der Entropie

1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme



$$P_3 = P_2 = P_1$$

$$P = T \cdot I_S$$

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

$$T_3 > T_2 > T_1$$

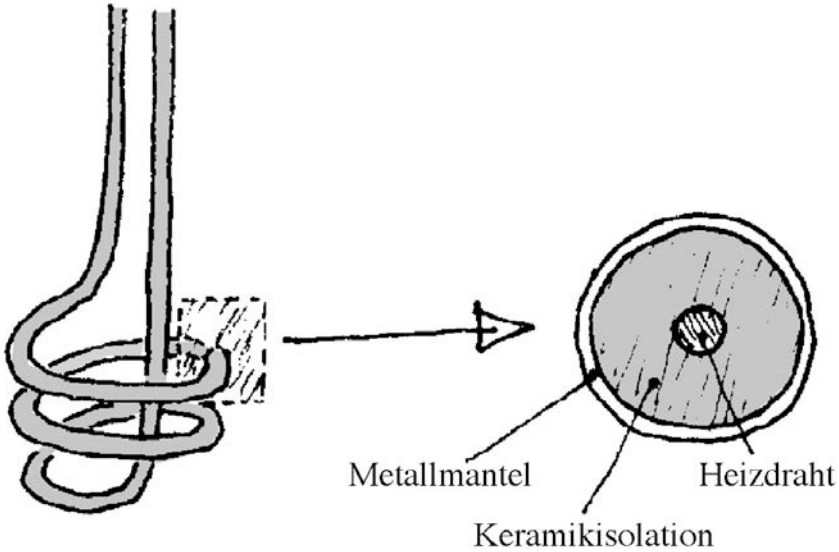
$$I_{S3} < I\ I_{S2} < I_{S1}$$

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

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

1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme

$$P = T \cdot I_S$$



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

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

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

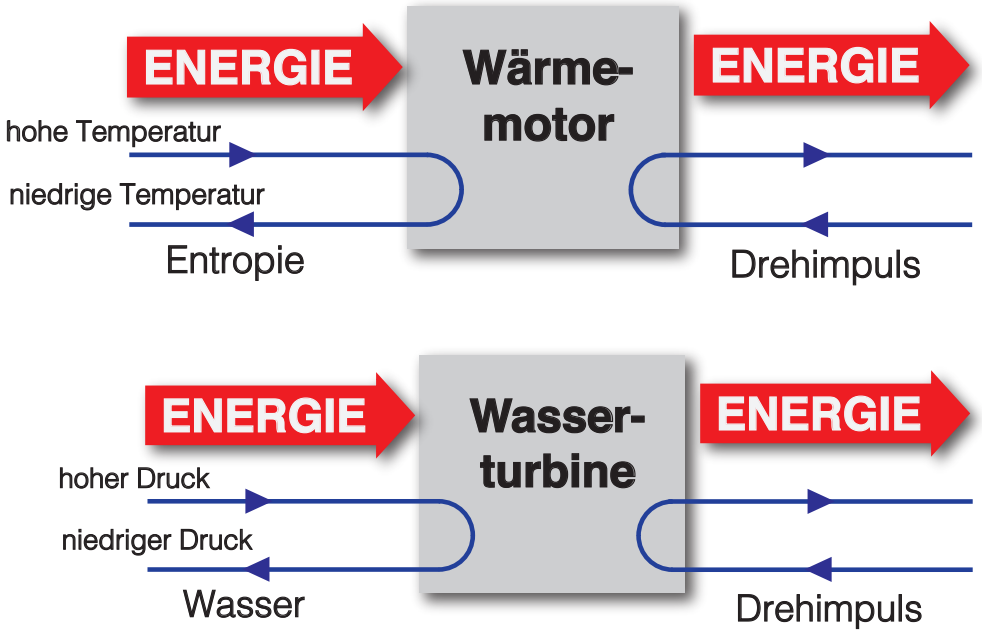
1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

1.16 Die Messung der Entropie

1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

1.12 Wärmemotoren



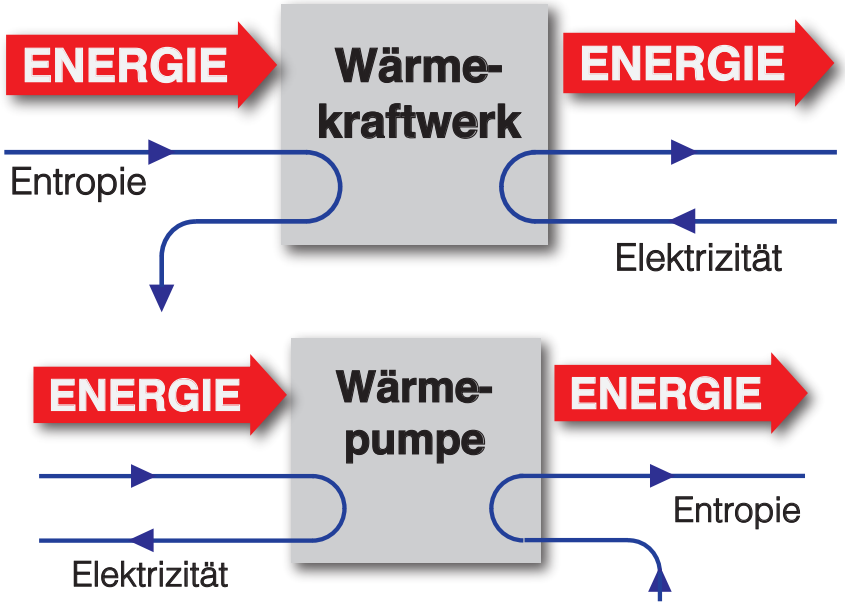
In einem Wärmemotor wird Energie vom Energieträger Entropie auf den Energieträger Drehimpuls umgeladen.

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

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.

1.12 Wärmemotoren



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

1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren

Natürliche Entropiequellen

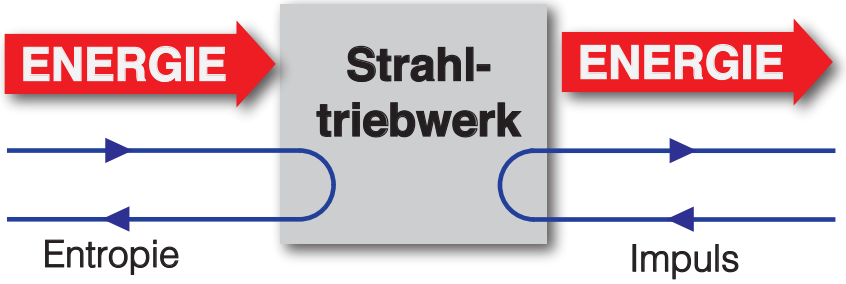
Künstliche Entropiequellen

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

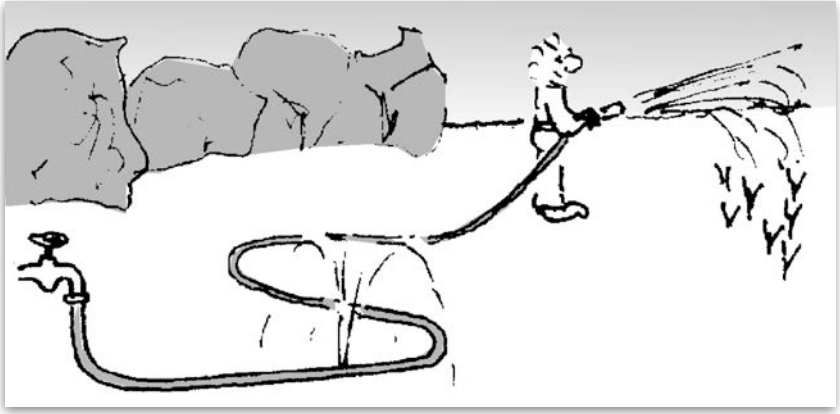
1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

1.16 Die Messung der Entropie

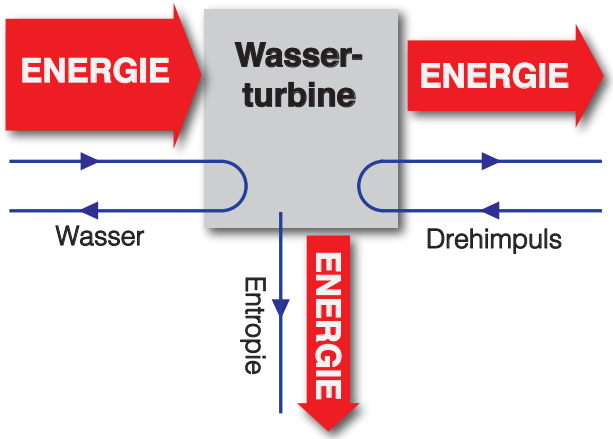
1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad



$$V = \frac{0{,}2\ \text{l/s}}{2\ \text{l/s}} = 0{,}1$$

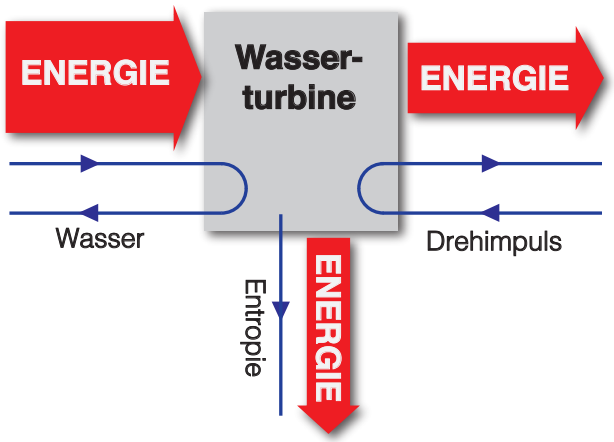


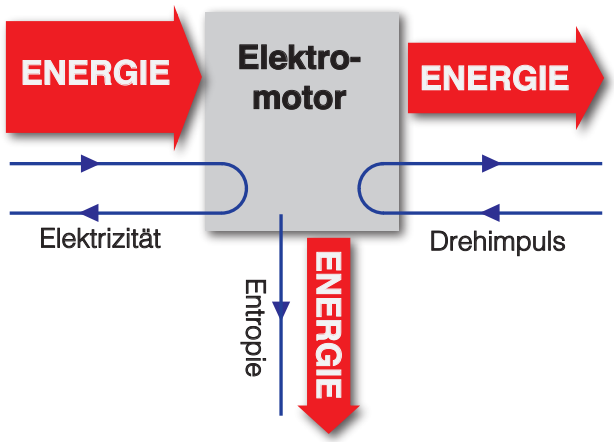
$$P_V = T_0 \cdot I_{S\,\text{erzeugt}}$$

$$V = \frac{P_V}{P_{\text{hinein}}}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{hinein}} - P_V}{P_{\text{hinein}}} = 1 - V$$

1.14 Energieverlust und Wirkungsgrad





$$P_V = T_0 \cdot I_{S\,\text{erzeugt}}$$

$$V = \frac{P_V}{P_{\text{hinein}}}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{hinein}} - P_V}{P_{\text{hinein}}} = 1 - V$$

Vermeide Entropieerzeugung.

	Verlust
Große Dampfturbine	0,1
Großer Elektromotor	0,1
Spielzeugelektromotor	0,4
Solarzelle	0,9
Kohlekraftwerk	0,57
Kernkraftwerk	0,67

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

1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

$$P_{\text{hinein}} = T \cdot I_{S\,\text{erzeugt}}$$

$$P_{\text{V}} = T_0 \cdot I_{S\,\text{erzeugt}}$$

$$V = \frac{P_{\text{V}}}{P_{\text{hinein}}} = \frac{T_0 \cdot I_{S\,\text{erzeugt}}}{T \cdot I_{S\,\text{erzeugt}}}$$

$$\boxed{V = \frac{T_0}{T}}$$

$$\eta = 1 - V = 1 - \frac{T_0}{T} = \frac{T - T_0}{T}\,.$$

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

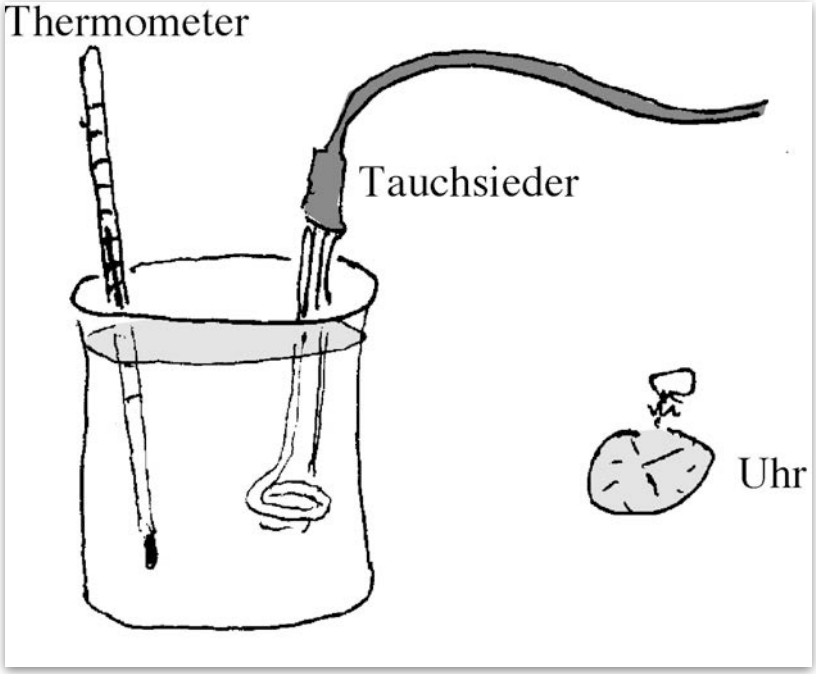
1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

1.16 Die Messung der Entropie

1.17 Die Erwärmbarkeit

1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

1.16 Die Messung der Entropie



$$\Delta S = I_S \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = 2100 \text{ s} \qquad I_s = \frac{P}{T}$$

ϑ (°C)	T(K)	P(W)	$I_S = P/T$ (Ct/s)
10	283	800	2,84
50	323	800	2,48

$$\overline{I}_s = \frac{2{,}84 + 2{,}48}{2} \text{ Ct/s} = 2{,}66 \text{ Ct/s}$$

$$\Delta S = \overline{I}_s \cdot \Delta t = 2{,}66 \text{ Ct/s} \cdot 2100 \text{ s} = 5586 \text{ Ct}$$

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

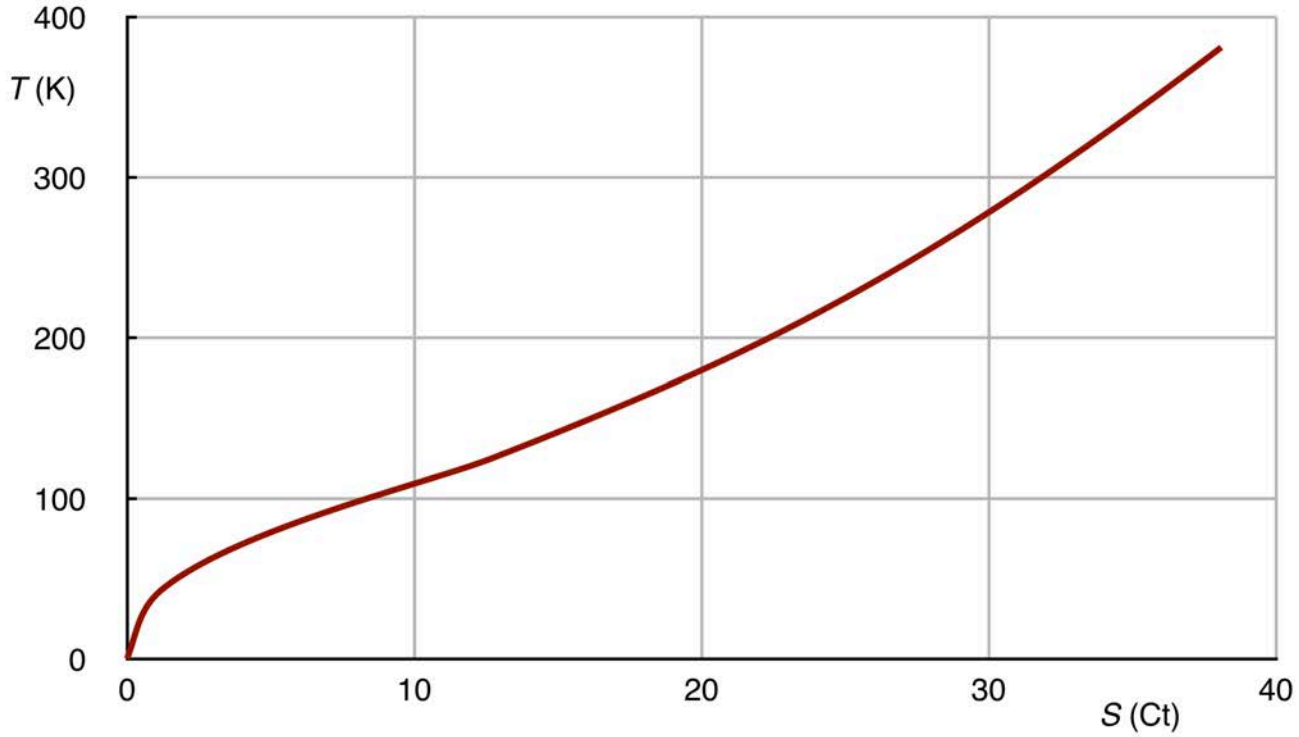
1.15 Der Wirkungsgrad von Feuerungen

1.16 Die Messung der Entropie

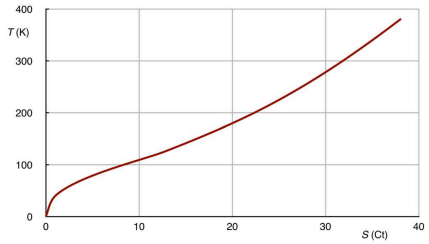
1.17 Die Erwärmbarkeit

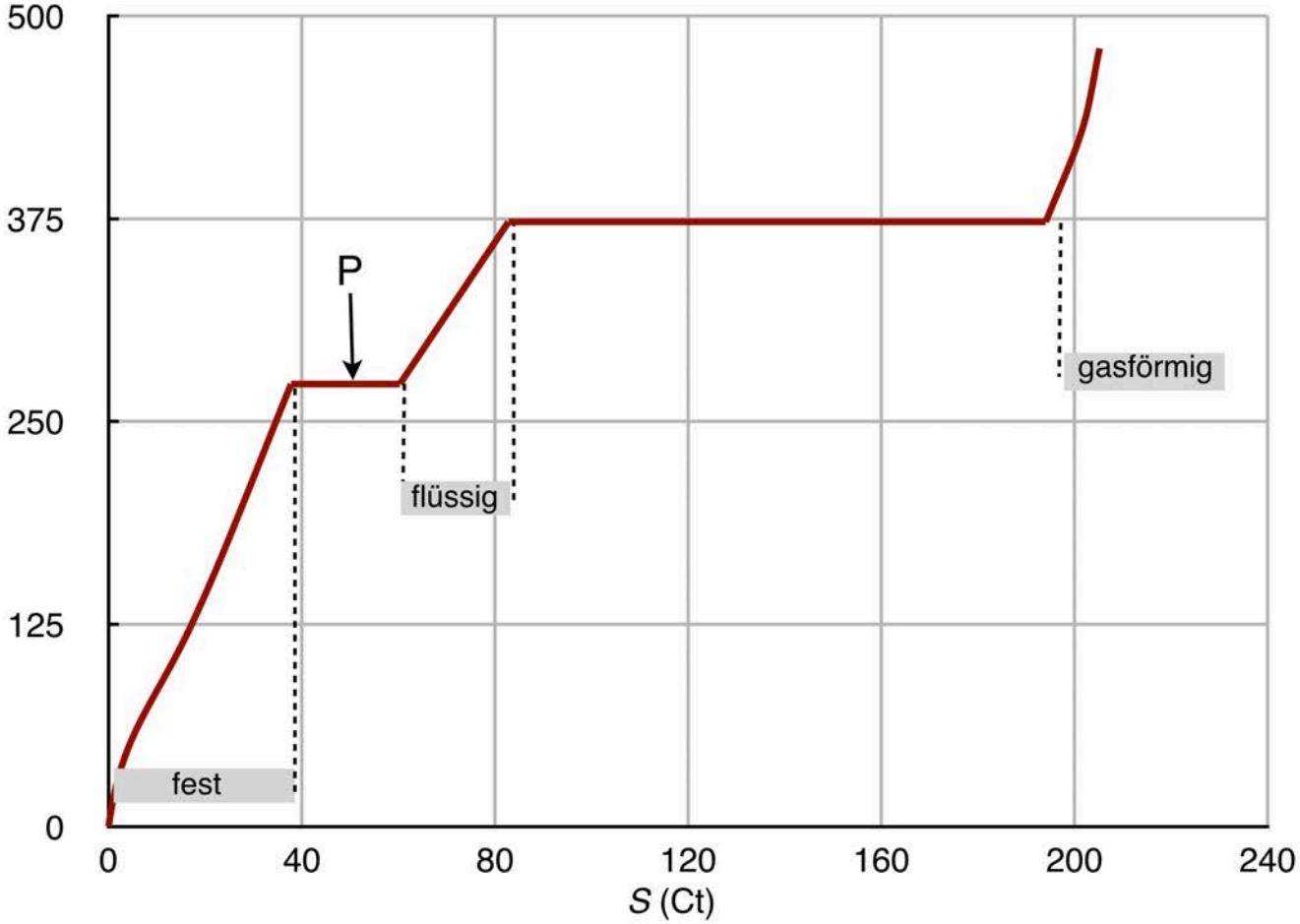
1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung

1.17 Die Erwärmbarkeit

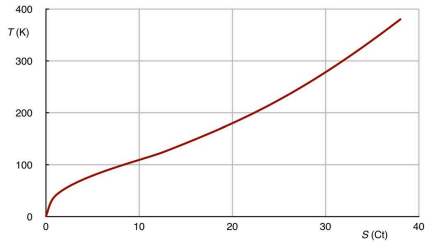


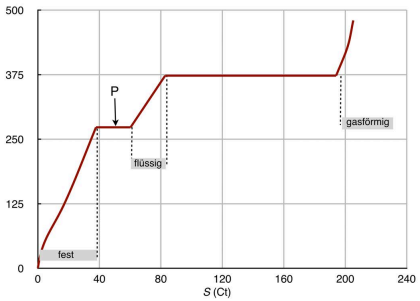
1.17 Die Erwärmbarkeit

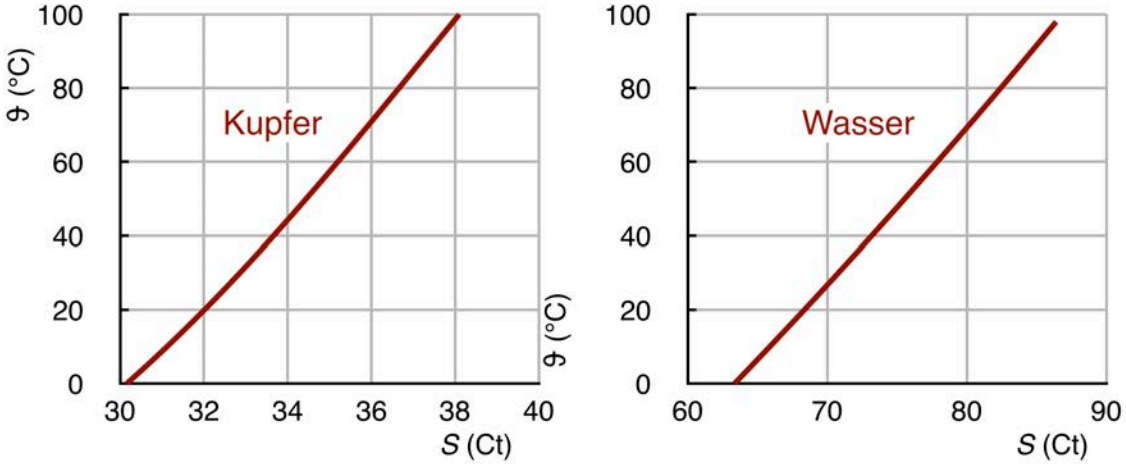




1.17 Die Erwärmbarkeit

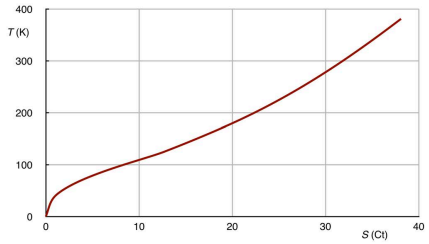


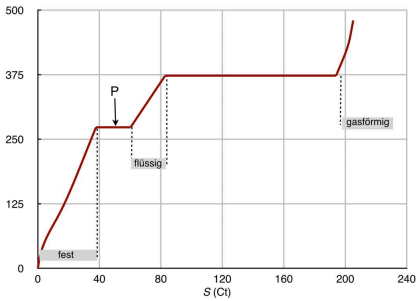


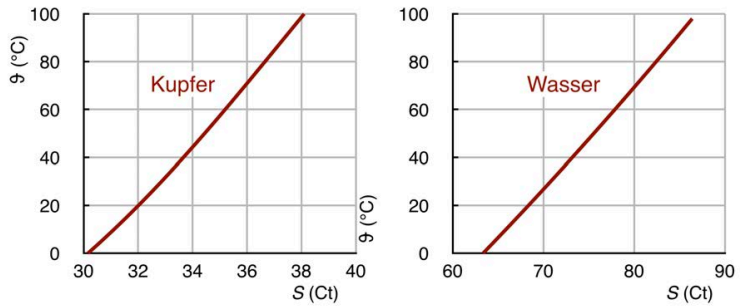


$$\Delta S \sim \Delta T$$

1.17 Die Erwärmbarkeit







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

$$S \sim m$$

$$\Delta S \sim m$$

$$\Delta S \sim n$$

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

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

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

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

Stoff	α (mol·K/Ct)	ρ (g/cm³)	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

$$P = T \cdot I_S$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \qquad I_s = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

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

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

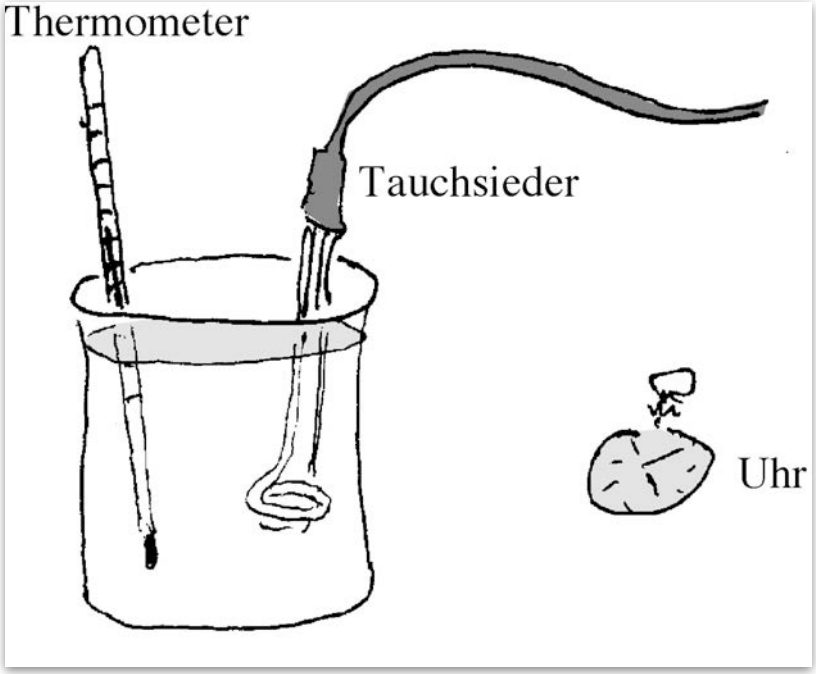
$T = 293$ K,
$M = 0{,}018$ kg/mol
$\alpha = 3{,}89$ mol · K/Ct

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

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

ENDE

1.16 Die Messung der Entropie



ϑ (°C)	T(K)	P(W)	$I_S = P/T$ (Ct/s)
10	283	800	2,84
50	323	800	2,48

$$\Delta S = I_S \cdot \Delta t$$

$$I_S = \frac{P}{T}$$

$$\bar{I}_S = \frac{2{,}84 + 2{,}48}{2}\ \text{Ct/s} = 2{,}66\ \text{Ct/s}$$

$$\Delta S = \bar{I}_S \cdot \Delta t = 2{,}66\ \text{Ct/s} \cdot 2100\ \text{s} = 5586\ \text{Ct}$$

$$\Delta S = \sum_i \Delta S_i = 5551\ \text{Ct}$$

t(s)	T(K)	I_S (Ct/s)	$\bar{I}_S$ (Ct/s)	ΔS_i (Ct)
0	283	2,83		
			2,80	840
300	288,7	2,77		
			2,745	823
600	294,5	2,72		
			2,69	807
900	300,2	2,66		
			2,635	790
1200	306,0	2,61		
			2,59	777
1500	311,7	2,57		
			2,545	764
1800	317,4	2,52		
			2,50	750
2100	323,2	2,48		
				ΔS = 5551 Ct

$$S(t_2) - S(t$$

$$I_S(t) = \frac{P}{T(t)}\ S(t_2) - S(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} I_S(t)\,dt$$

$$I_S(t) = \frac{dS(t)}{dt}$$