

3.2. Entropie und Ökologie

Lit.: S. Daecke Naturwiss. und Religion, München 1982
A. Stelle: "Du sollst nicht leichtfertig Entropie erzeugen."

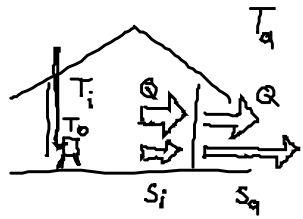
Heute: Die "ökologische Bedeutung der Entropie", als Anteil der Energie, der in eine nicht mehr beliebig nutzbare Form verwandelt wurde.

- Energie ist Erhaltungsgröße \rightarrow wird nicht verbraucht sondern in "Wärmemüll" umgewandelt

\rightarrow Werteverlust der Energie

Quantitativer. Wertmaßstab : Entropie (2. Hauptsatz)

- Bsp.
- (i) Umweltverschmutzung \rightarrow Entropiezunahme durch Mischungsentropie
 - (ii) Ausrottung von Tier- und Pflanzenarten
(Zerstörung der genetischen Informationen)
 \rightarrow Zunahme an Informationsentropie
ca. $10^{-22} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ pro Bit
 - (iii) Wärmeverlust der Heizung des Hauses



$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

Energiefluss
Entropiefluss

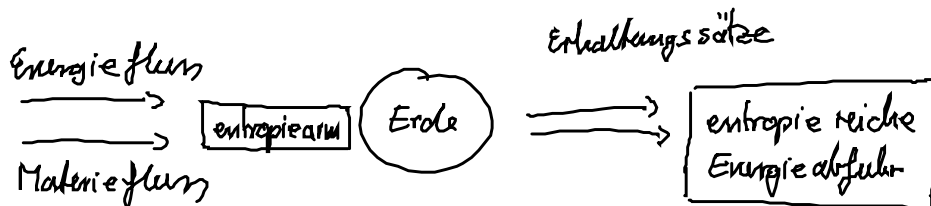
$$S_i = \frac{Q}{T_i} < S_a = \frac{Q}{T_a} \quad \text{da } T_i > T_a$$

=> Entropieproduktion $\Delta S = Q \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_i} \right)$ in der Wand

Werteverlust und Entropiegeneration

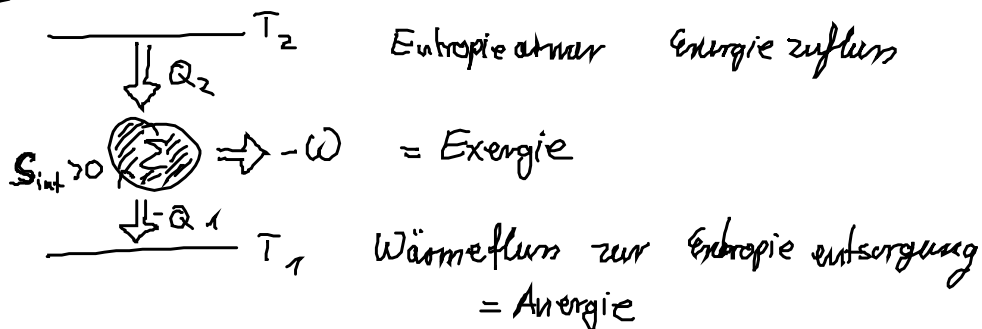
-> "ökologisch sinnvoll wäre eine
'Entropiesteuer'"

Erde als ^{offenes} dissipatives System (Lebewesen, "Ökonomie" Erde)



Entropie: bei irreversiblen Prozessen keine Erhaltungsgröße

(Bsp.) irreversible Wärmekraftmaschine



$$Q_1 + Q_2 + W = 0 \quad \leftarrow \text{Energiebilanz}$$

$$\Delta S = \frac{-Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} + \underbrace{S_{\text{irr}}}_{>0} \quad \text{irr. erzeugte Entropie}$$

irr. Wirkungsgrad

$$\eta_{\text{irr}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} - S_{\text{irr}} \frac{T_1}{Q_2}$$

(ii) Müllentsorgung - Mischungs-entropie

Müll = entropiereiche Materie

z.B.	N_G	Getränkedosen	}	$N = N_G + N_i + N_M + N_Z$
	N_j	Joghurtbecher		
	N_M	Milchtüten		
	N_Z	Zahnpastatuben		

Gegenstände in der Mülltonne

Frage? Was wurde durch Vermischung an Entropie produziert?

vorher: - Entropie von 1 Dose herausgegriffen aus N_G Dosen

$$S = -k \ln \frac{1}{N_G}$$

- Entropie von N_G Getränkedosen: $S = -k N_G \ln \frac{1}{N_G}$

- Entropie von N_i Gegenständen ($i=1 \dots 4$) in 4 Behältern

$$S_{\text{sum}} = -k \sum_{i=1}^4 N_i \ln \frac{1}{N_i}$$

nachher: Entropie von $N = \sum_{i=1}^4 N_i$

$$S_{\text{nach}} = -k N \ln \frac{1}{N} = -k \sum_{i=1}^4 N_i \ln \frac{1}{N}$$

Mischungsentropie $S_M = S_{\text{nach}} - S_{\text{vor}}$

$$\left[\begin{array}{l} \sum (N_i \ln \frac{1}{N} - N_i \ln \frac{1}{N_i}) \\ \ln \frac{1}{N} \sum N_i - \sum N_i \ln \frac{1}{N_i} \\ \ln \frac{1}{N} \cdot N - \sum N_i \ln \frac{1}{N_i} \end{array} \right]$$

$$\begin{aligned} &= -k \sum_{i=1}^4 N_i \left(\ln \frac{1}{N} - \ln \frac{1}{N_i} \right) \\ &= -k \sum_{i=1}^4 N_i \ln \frac{N_i}{N} > 0 \end{aligned}$$

$\underbrace{\frac{N_i}{N}}_{< 1}$

Stirling Formel $\ln(n!) \approx n \ln n$ (n groß)

$$S_M = -k \left(\underbrace{\sum_{i=1}^4 [N_i \ln N_i]}_{\approx \ln N_i!} - N \ln N \right) \approx \ln N!$$

$$\approx k \ln \frac{N!}{N_1! N_2! N_3! N_4!}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\Omega}$

$$= k \ln \Omega$$

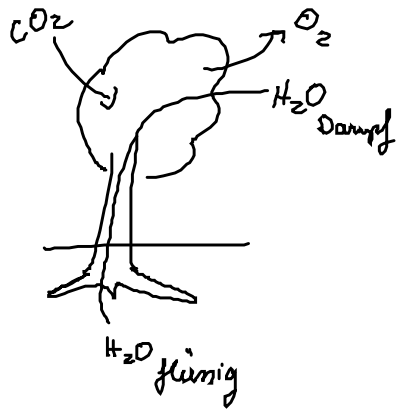
• Ω ist Zahl der Möglichkeiten der Anordnung der Elemente der Mischform. (Permutationen mit Wiederholung)

• Größenordnung $S_{\text{mix}} \sim k \approx 10^{-23} \frac{J}{K}$ sehr klein!

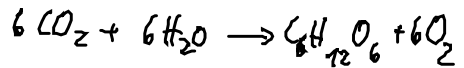
$\frac{J}{K}$ keine gute Einheit, besser wäre ein "Bit" als

Einheit $S_{\text{mix}} = \log_2 \Omega$ $10^{23} \text{ Bit} \approx 1 \frac{J}{K}$

(iii) Photosynthese



• Glukosesynthese:



• Entropiebilanz pro Mol

$$S_{\text{in}} = 6 S_{\text{CO}_2} + 6 S_{\text{H}_2\text{O flüchtig}} + \underbrace{S_{\text{strahl.}}}_{\text{klein}}$$

$$S_{\text{out}} = S_{\text{Glukose fest}} + 6 S_{\text{O}_2}$$

$2,45^2$

$$\Rightarrow S_{\text{out}} < S_{\text{in}}$$

$$\left(\Delta S = -40 \text{ Bit} \right)$$

pro Glukose
molekül

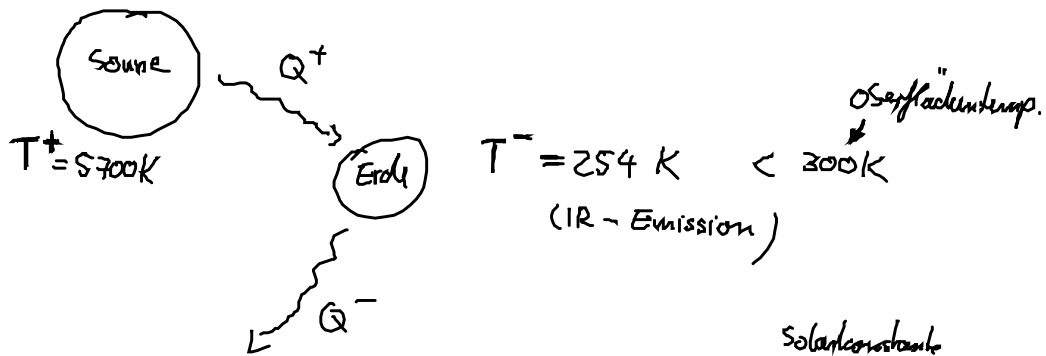
Erniedrigung der Entropie durch Biosynthese

Entsorgung der Entropie? $\text{H}_2\text{O flüchtig} \rightarrow \text{H}_2\text{O Dampf}$
 (entropiearm) (entropiereich)

Verdunstungsentropie $18 \frac{\text{Bit}}{\text{Molekül}}$

(iv) Ökosystem Erde

Entsorgungskapazität der Erde?



Wärmestrahlung

$$1367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Energiebilanz

$$Q^+ = Q^- = Q$$

Entropiebilanz

$$\Delta S = \frac{Q^-}{T^-} - \frac{Q^+}{T^+} \approx \frac{Q}{T^-}$$

(1) \rightarrow Entsorgungskapazität $1.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

(2) Photosynthese $-1.3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{K}}$

(3) Stoffwechsel eines Erwachsenen $0.5 \frac{\text{W}}{\text{K}}$

\rightarrow Obergrenze der Bevölkerungsdichte: $2500 / \text{km}^2$

(New York übersteigt die Entsorgungskapazität, durchs Umland ausgeglichen)