

Einführung: Wie kann Ordnung entstehen?

1. Probleme mit dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik

THEORIE:

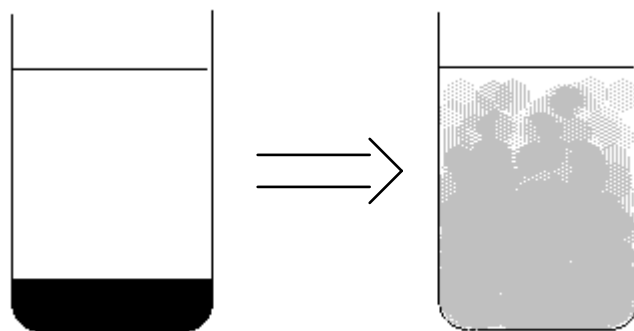
2. Hauptsatz (Boltzmanns H-Theorem):

In einem isolierten System kann die Entropie nur zunehmen
(und die Ordnung, Strukturiertheit und Organisation der Systemelemente nur abnehmen).

$$\frac{dS}{dt} \geq 0$$

Ziel aller Prozesse: Thermodynamisches Gleichgewicht
(alle Unterschiede werden sich ausgleichen, alle künstlich geschaffenen Strukturen zerfallen → Wärmetod des Alls)

z.B. Diffusion:



Ausnahme:

Entstehung *konservativer Gleichgewichtsstrukturen*:

(Kristalle, allgemein kondensierte Systeme, LB-Filme)

abgeschlossenes System: $F = E - TS \rightarrow \text{Min.}$

(Minimum der freien Energie)

Bedingungen:

tiefe Temperaturen: der entropische Term verliert an Bedeutung!

Eigenschaften:

mikroskopische charakteristische Länge (z.B. Gitterkonstante)

Zeitunabhängigkeit

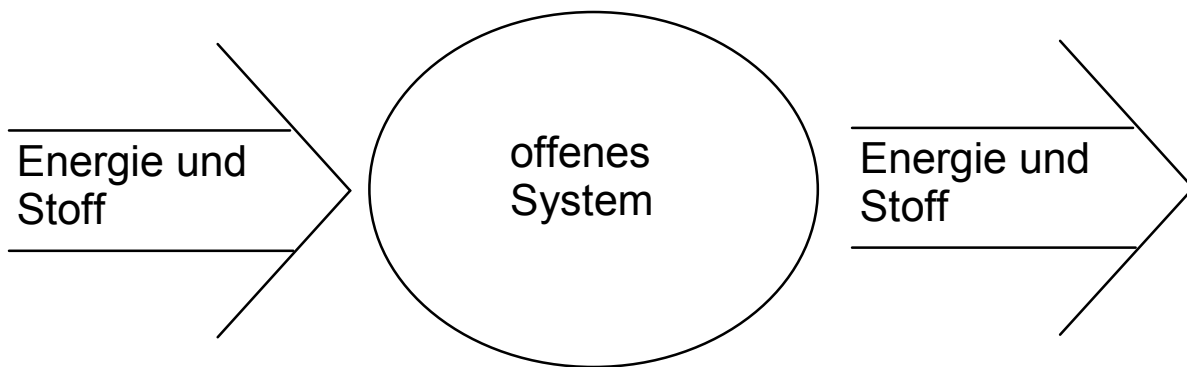
REALITÄT:

Zunehmende Strukturierung und Organisierung während der Geschichte des Weltalls, der Erde und des Lebens (bei Temperaturen, die sehr hoch sein können)!

???

Prigogines Lösung des Paradoxons

Der 2. Hauptsatz gilt nicht für thermodynamisch offene Systeme!



kein Gleichgewicht mehr möglich, aber ein stationärer Zustand:

$$dE_{\text{input}} = dE_{\text{output}} \quad \text{und} \quad dM_{\text{input}} = dM_{\text{output}}$$

aber das muß nicht für die Entropie gelten:

$$dS_{\text{System}} = dS_{\text{input}} + dS_{\text{intern}} - dS_{\text{output}} = dS_{\text{ext}} + dS_{\text{int}}$$

(Prigogine 1947)

mit $dS_{\text{int}} > 0$ (2. Hauptsatz), aber dS_{ext} - beliebig!

Folgende Fälle sind möglich:

1. $dS_{\text{ext}} < 0$, $|dS_{\text{ext}}| > dS_{\text{int}}$ (kein stationärer Zustand):

\Rightarrow Ordnung im System wird aufgebaut ($dS < 0$)

2. $dS_{\text{ext}} < 0$, $|dS_{\text{ext}}| = dS_{\text{int}}$ (stationärer Zustand ist erreicht):

\Rightarrow Ordnung im System wird aufrechterhalten ($dS = 0$)

1. $dS_{\text{ext}} > -dS_{\text{int}}$ (kein stationärer Zustand):

\Rightarrow Ordnung im System wird abgebaut ($dS > 0$)

2. Der Durchbruch des neuen Paradigmas

Diese neue Sichtweise auf das Problem der spontanen Entstehung von Ordnung führte, wenn auch mit großer zeitlicher Verzögerung, zur Entdeckung (oder Neuinterpretation) der verschiedensten *dissipativen Strukturen* in der Natur:

- Bénard- Effekt: Wolkenstraßen, Magmakonvektion, Sonnengranulation, Basaltsäulen
- Marangoni-Effekt
- chemische Oszillationen: Belousov-Zhabotinsky-Reaktion, Briggs-Rauscher-Reaktion
- Biologische Uhren
- elektrochemische Oszillationen
- Lac-Operon
- gesellige Amöben: *Dictyostelium discoideum*
- geologische Strukturen
- Laser, optische Bistabilität

"Eingefrorene" dissipative Strukturen:

- Schneeflocken, Dendriten (Mullins-Sekerka-Instabilität)
- diffusionslimitierte Aggregation (DLA)
- Meniskus-Instabilität
- Liesegang-Ringe
- Runge-Bilder

Neuinterpretation:

- Dampfmaschine
- elektrischer Unterbrecher
- Pendeluhr, Quarzuhr
- elektronische Trigger und Oszillatoren

Wie lassen sich DS charakterisieren?

- (1) fernab vom Gleichgewicht - aber wie fern?
 - (2) offenes System: Stoff- und Energieaustausch
 - (3) irreversible Prozesse
 - (4) Bereich der nichtlinearen Kraft-Fluß-Beziehungen
- (1) -(4) sind synonym

⇒ nur notwendige Bedingung der Entstehung von DS

Wie lassen sich DS beschreiben?

→ spontane Entstehung und Aufrechterhaltung von
makroskopischer Ordnung - aber was ist das Maß der
Ordnung?

- (1) Entropieerniedrigung - aber kleiner und unspezifischer Effekt
- (2) Symmetriebruch: kleinere räumliche und/oder zeitliche Symmetrie
- (3) Semantische Komplexität: Länge einer Minimalbeschreibung des Systems nimmt zu