

Entropie, Information und Emergenz

Werner Ebeling

Leibniz-Sozietät und Humboldt Universität Berlin

Vortrag Leibniz-Sozietät 10.12.2015

“Das ist nur Entropie sagte er, glaubte damit alles erklärt zu haben und wiederholte einigemal das seltsame Wort.” aus Karel Capek, Krakatit

Entropie und Emergenz



- lat. emergere: auftauchen, hervorkommen, sich zeigen
- Wikipedia: Emergenz ist die spontane Herausbildung von Phänomenen oder Strukturen auf der Makroebene eines Systems auf der Grundlage des Zusammenspiels seiner Elemente. Dabei lassen sich die emergenten Eigenschaften des Systems nicht auf Eigenschaften der Elemente zurückführen.
- ENTROPIE ist ein emergenter Begriff der Physik, der gut erforscht und verstanden ist und eine Schlüsselfunktion für alle Wiss. hat.

Emergenz und Holismus



- Aristoteles begründet die Auffassung des Holismus, “man muss das Ganze sehen”.
- Welchen Sinn macht es, Blätter zu studieren, wenn man den Wald verstehen möchte ?
- Die holistische Auff. ist Grundlage vieler Wiss u.a. Biologie, *Medizin, Ökonomie, Ökologie* .
- auch Leibniz’ Theodizee als Idee einer „*besten aller möglichen Welten*“.
- Am Beispiel Entropie wird hier gezeigt, wie ein emergenter phys Begriff andere Wiss “infiziert”.

Emergenz in der Entwicklung der Physik



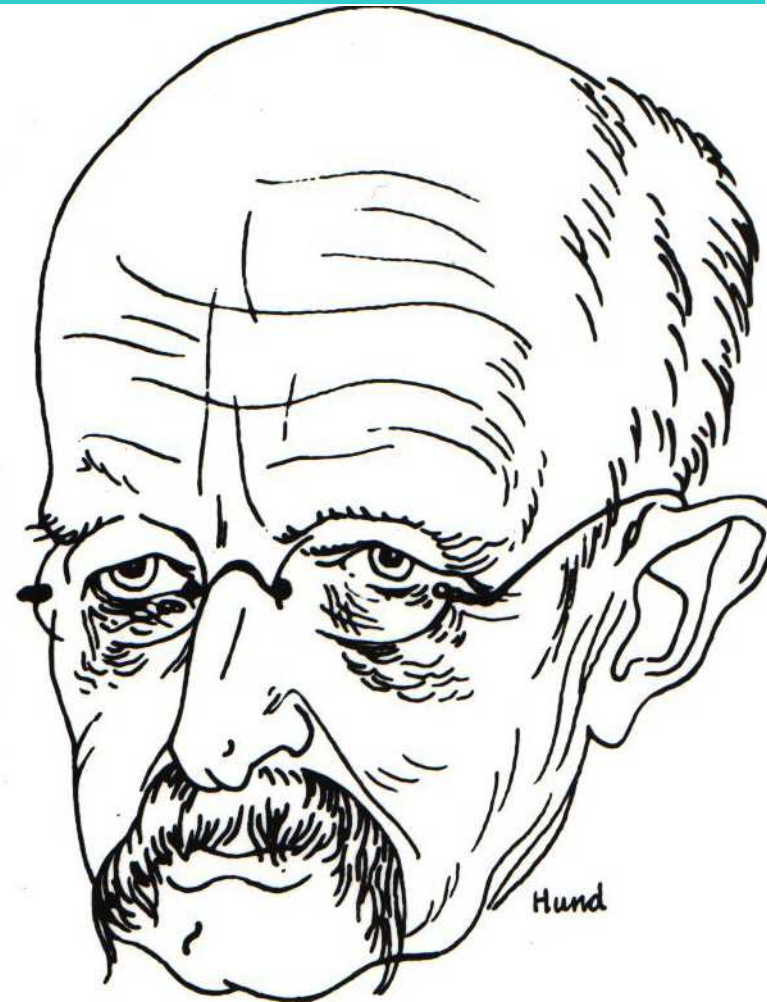
- Problembewußtsein entsteht mit Entw. der Atomistik und Thermodynamik:
- Von den Atomisten Clausius, Boltzmann zu
- den Holisten Mach, Ostwald, Planck, Prigogine
- Emergente B. : Druck, Temperatur, **Entropie**
- Irreversibilität, Härte, Geometrie von Körpern.
- Atome haben keine Härte, Druck, **Entropie**,
- **sondern nur die Gesamtheit !**

Entropie-Konzept beschreibt Austausch in der Physik. Clausius 1865 charakt. damit Wärmetausch makr. thermodyn. Systeme

- $dS = d'Q / T$
- Basiert auf Sadi Carnots “Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers”(1824).
- Der Versuch, das Konzept Entropie (altgr. Wandlung) mikroskopisch zu begründen, ist ein Lehrstück der Emergenz-Forschung und Prototyp.
- Einzug in fast alle Wiss. sogar Poesie: “Das ist nur Entropie sagte er,.....” (Capek, Krakatit),

Rudolf Clausius und Max Planck

Begründer des phän. Entropiekonzepts



MAX PLANCK



Im 20. Jh. entsteht ein neuer
Holismus zur Emergenz
von Entropie und

**Selbst-
organisation**

Pionier: Prigogine From Being to Becoming



Ilya Prigogine, geb. 1917 in Moskau, seit 1951 ordentlicher Professor für Physikalische Chemie an der Freien Universität Brüssel, zahlreiche Gastprofessuren in den USA, seit 1967 auch Direktor des Center for Statistical Mechanics and Thermodynamics an der University of Texas, Austin. 1977 erhielt er den Nobelpreis für Chemie.

Dieses Buch handelt vom Begriff der Zeit. In der klassischen Physik ist die Zeit nur eine Hilfsgröße. Angesichts der wesentlichen Erweiterung der Kenntnisse über die Natur in den letzten hundert Jahren wird diese Auffassung zunehmend fragwürdig. Die Bedeutung von Zeit und Veränderung in den Naturwissenschaften muß neu überdacht werden. Dies gilt vor allem für nicht umkehrbare, sogenannte irreversible Prozesse, die bisher in der Physik durch die Begriffe Unordnung und Instabilität gekennzeichnet wurden.

Prigogine fand aus seinen Untersuchungen, die 1977 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet wurden, daß auch bei irreversiblen Prozessen geordnete Strukturen entstehen können. Für die Evolutionstheorie bedeutete diese Erkenntnis einen großen Schritt nach vorn. Sie hat nämlich insbesondere die Grundlagen dafür geschaffen, daß man nunmehr in der Lage ist, auch den Übergang von toter zu lebender Materie rational zu erfassen. Die neuen Vorstellungen sind nicht nur auf Probleme der Physik, Chemie und Biologie anwendbar, sondern eignen sich auch zur Beschreibung des Verhaltens sozialer Systeme.

Ilya Prigogine

Vom Sein zum Werden

A. W. Ebeling

en signe d'attente

et au → solus

de base one!

Iy - Prig

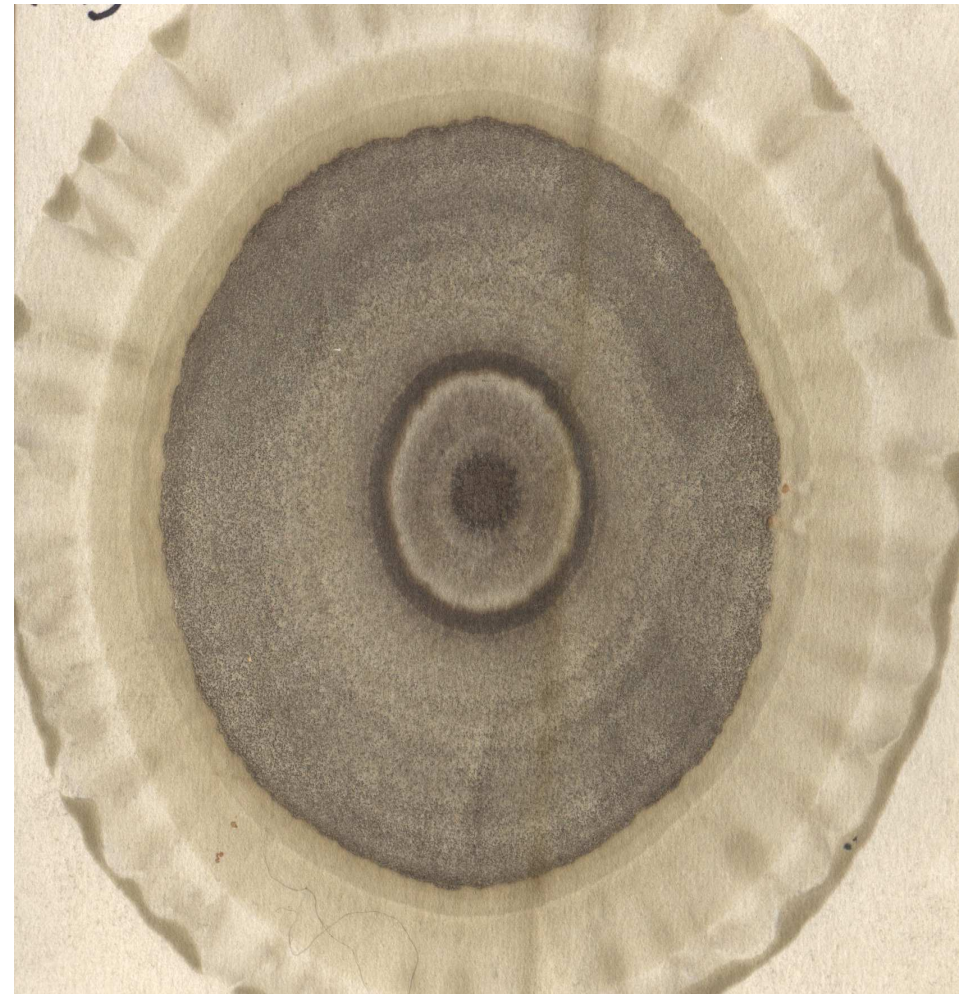
a 19/12/79

SO in der Natur



BZ-Wellen

Liesegang-Ringe

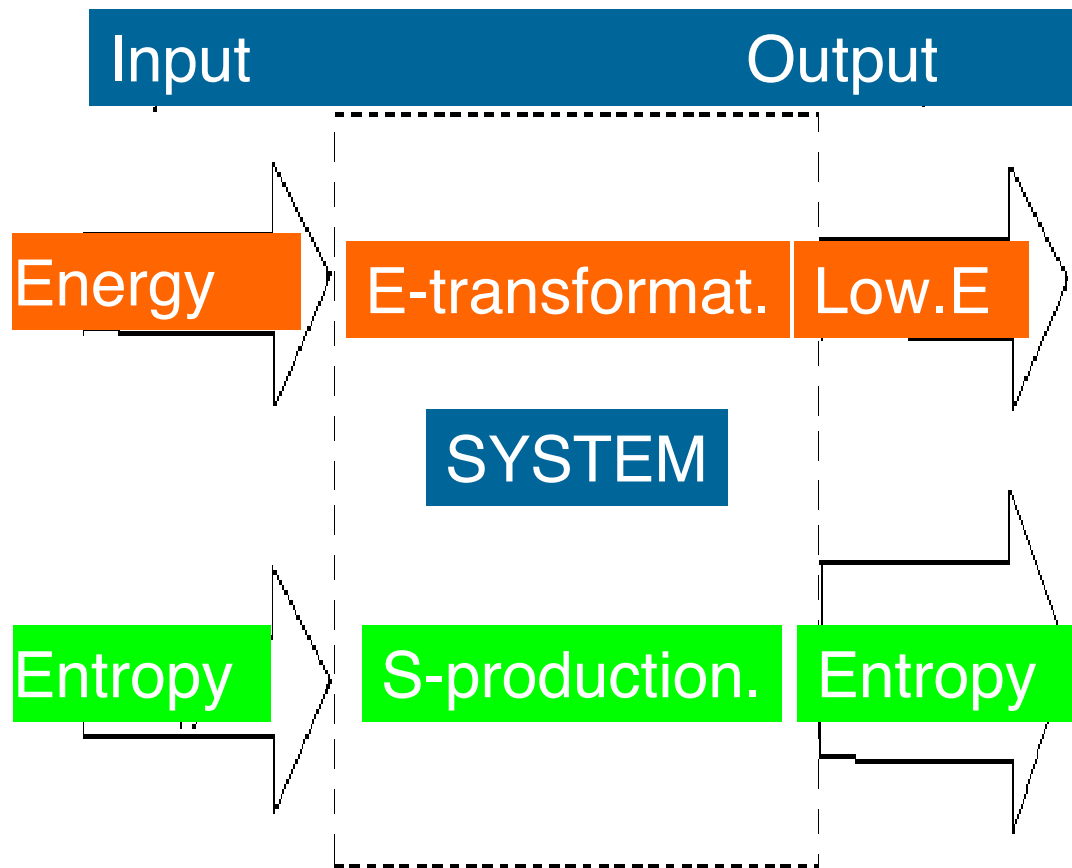


Selbstorg. Synergetik



- SO ist Gegenstück zur Tendenz Unordnung (Folge des 2.HS für isolierte Systeme)
- SO ist ein emerg. Phänomen betrifft offene Austausch-Systeme, verletzt nur scheinbar 2.HS
- Idee von Prigogine S-Austausch mit offener Umgebung sichert SO
- Haken: synerget. Kooperation, Nichtlinearität
- In offenen Systemen mit Entropie-Exports, nichtlinearen WW u. koop.Effekten → Struktur
- Eigen: Evolution von Informationsverarb.

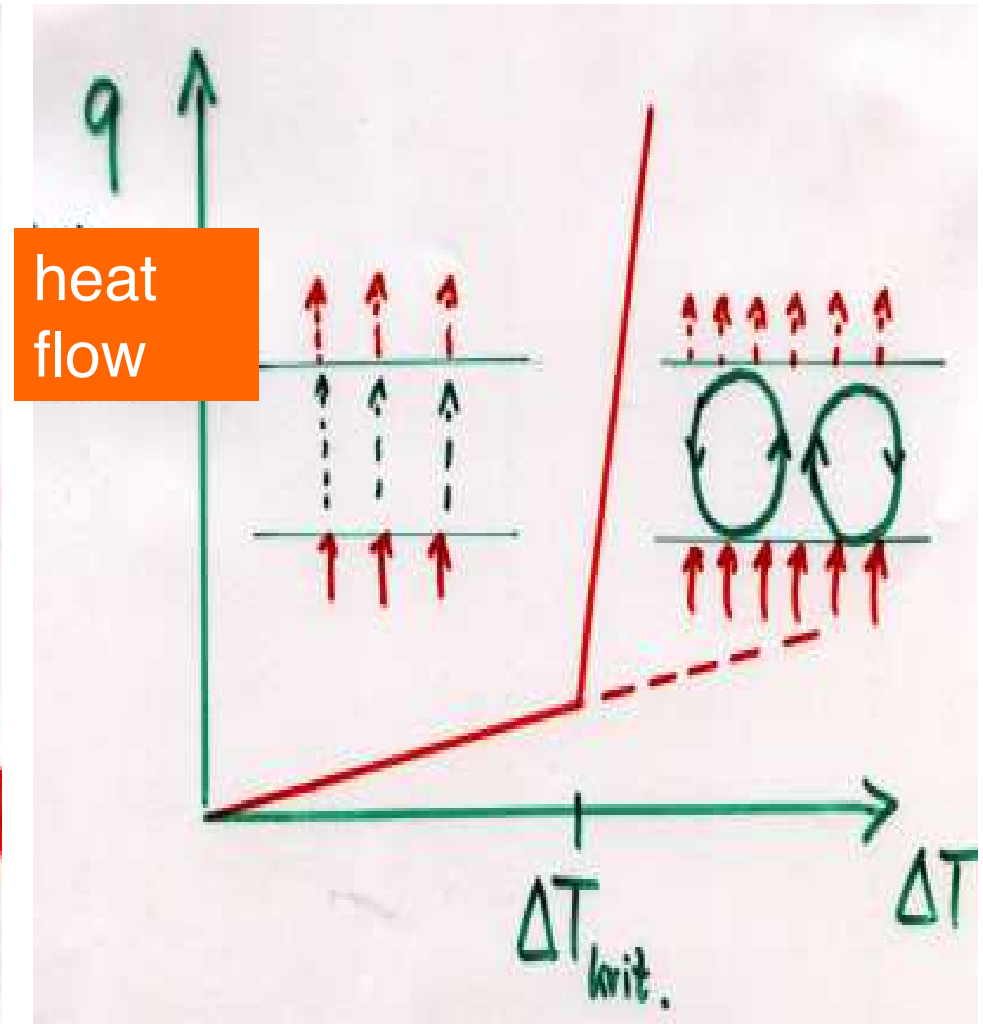
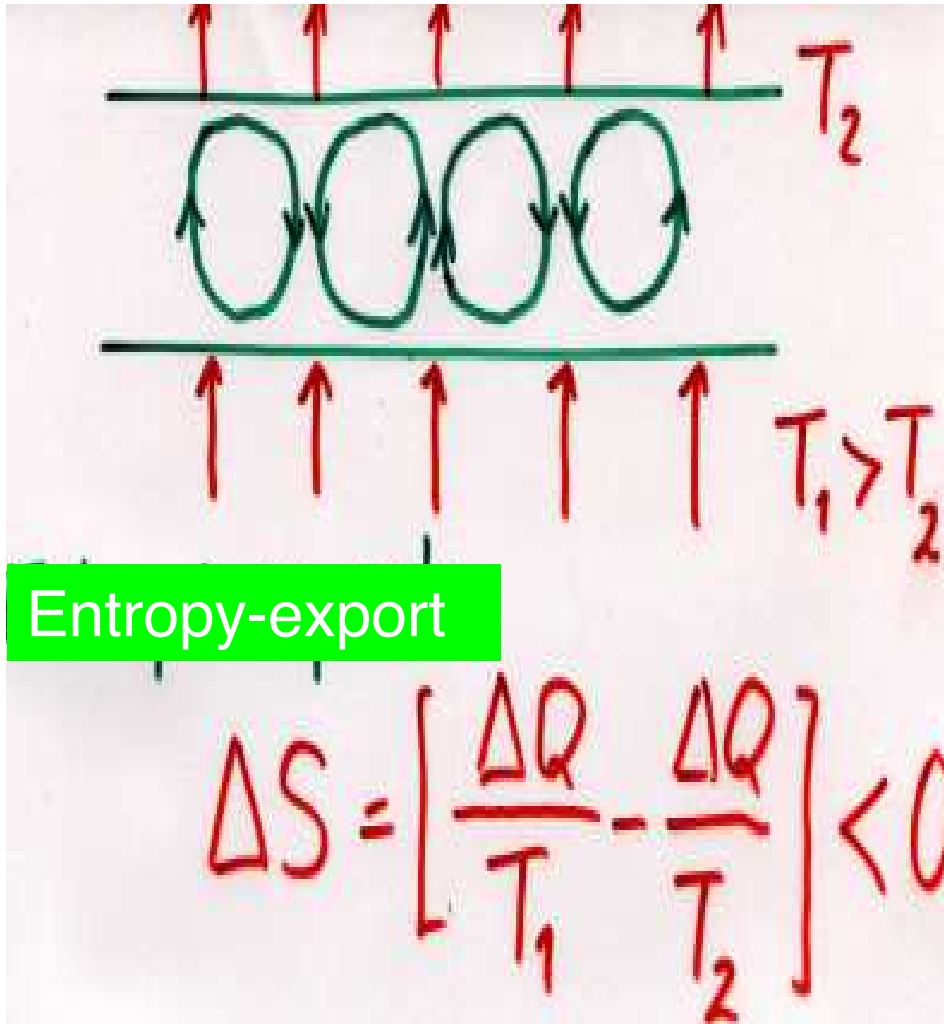
Offene Systeme: E-transform. und Entropie-Export



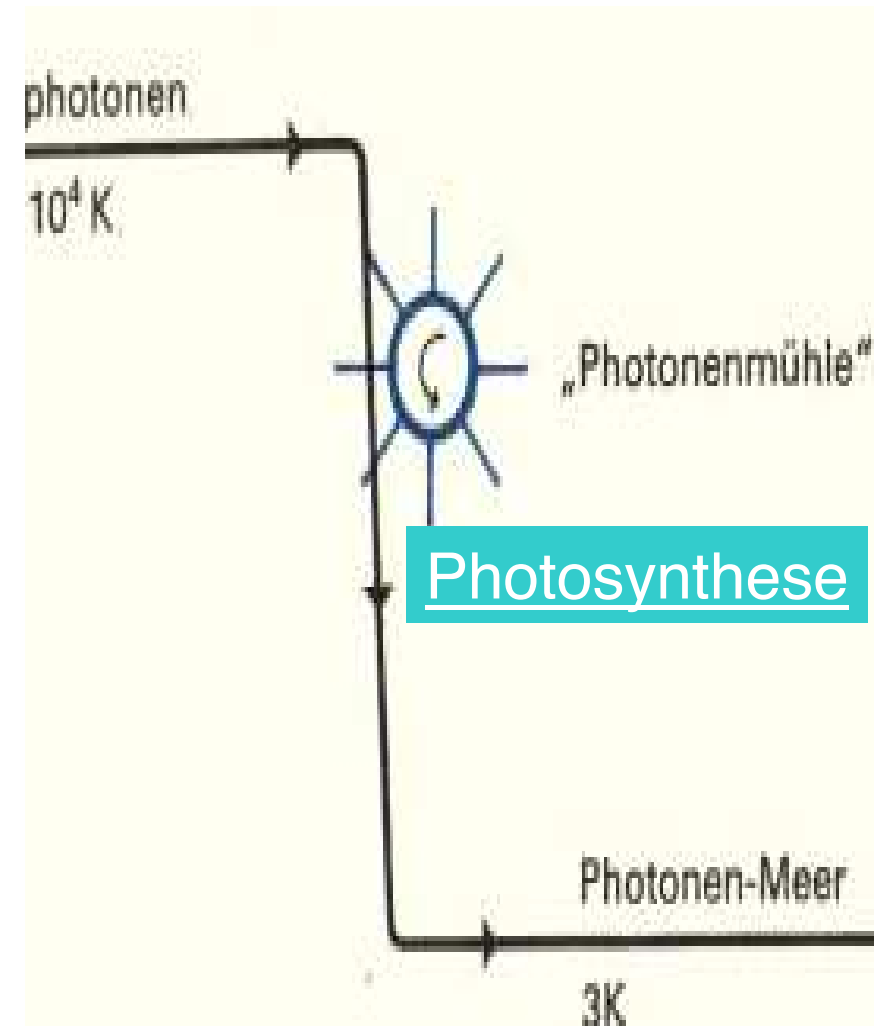
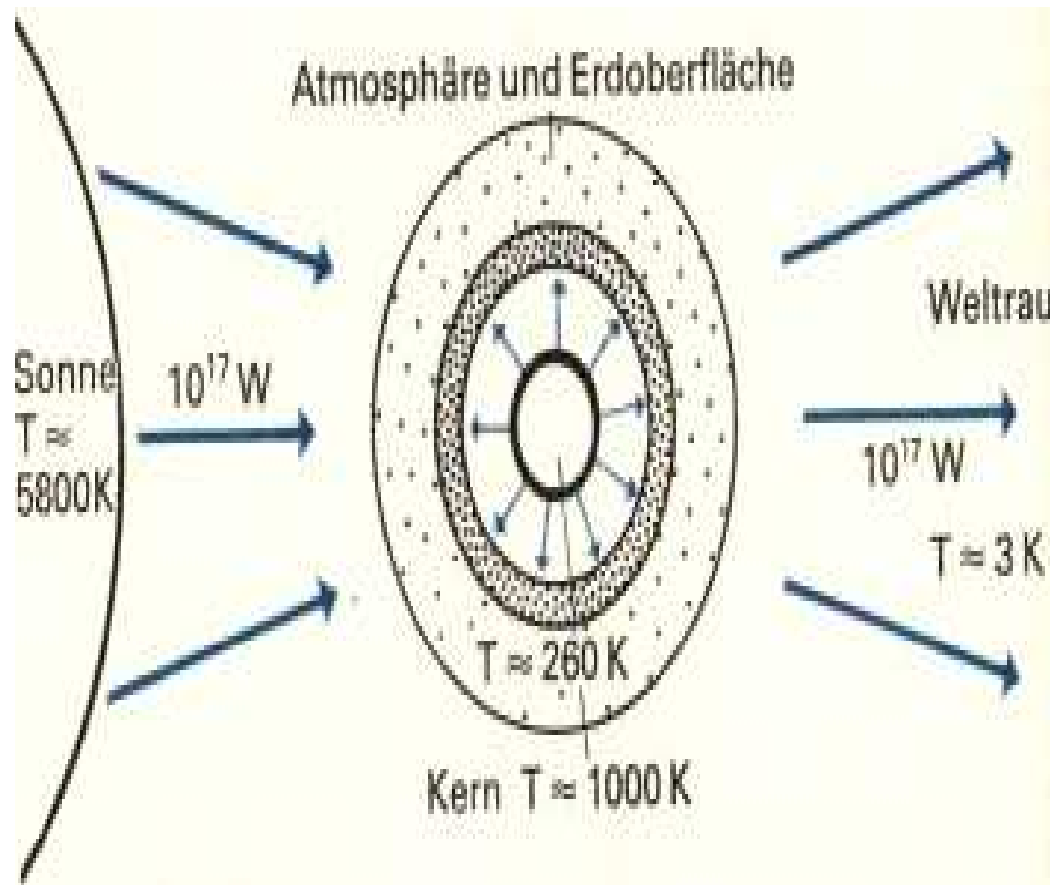
- Import hochwertiger Energie (Sonne)
Export geringw Energie = conditio sine qua non.
- In anderen Worten: Entropieexport, der unvermeidbare Entropieproduktion kompensiert !!!
- Evo von Information

Benard: hydrodyn.Zellen

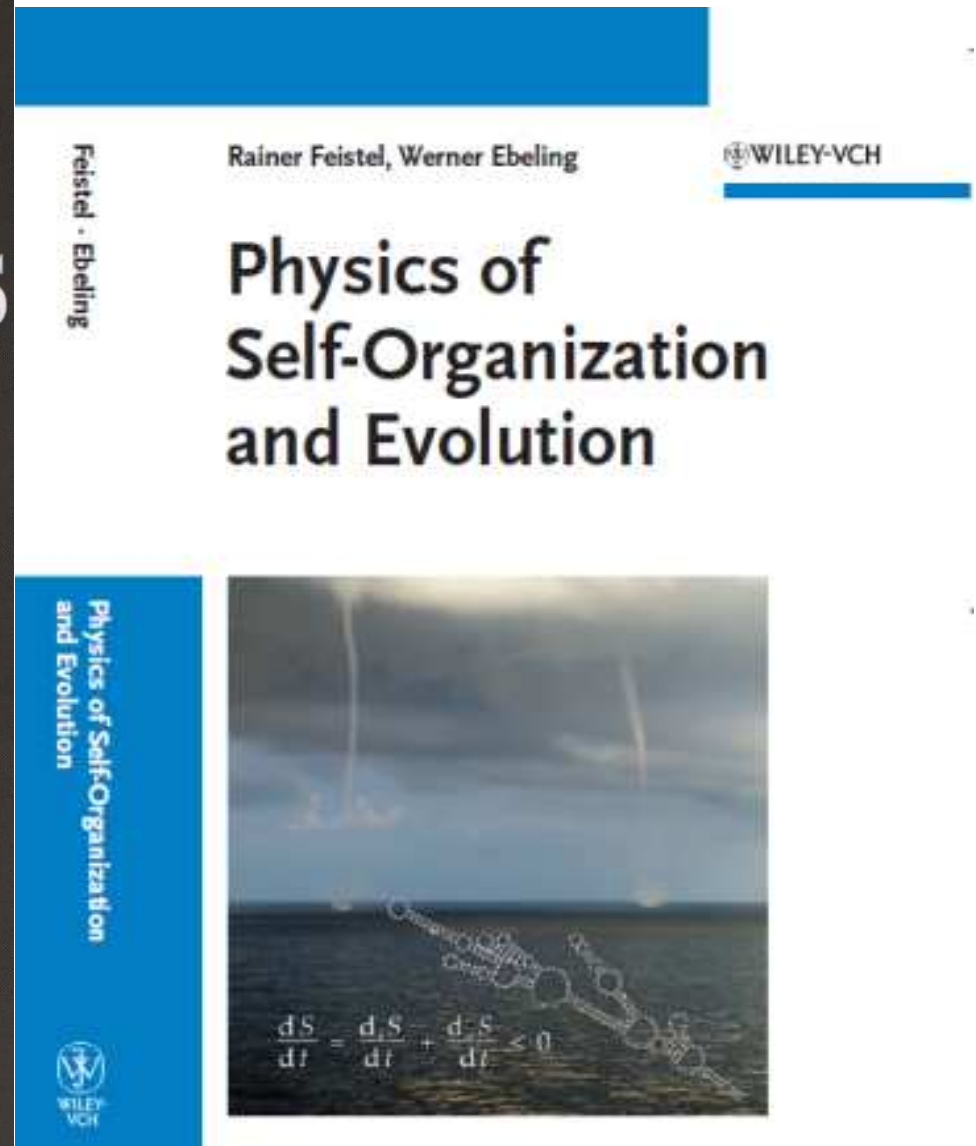
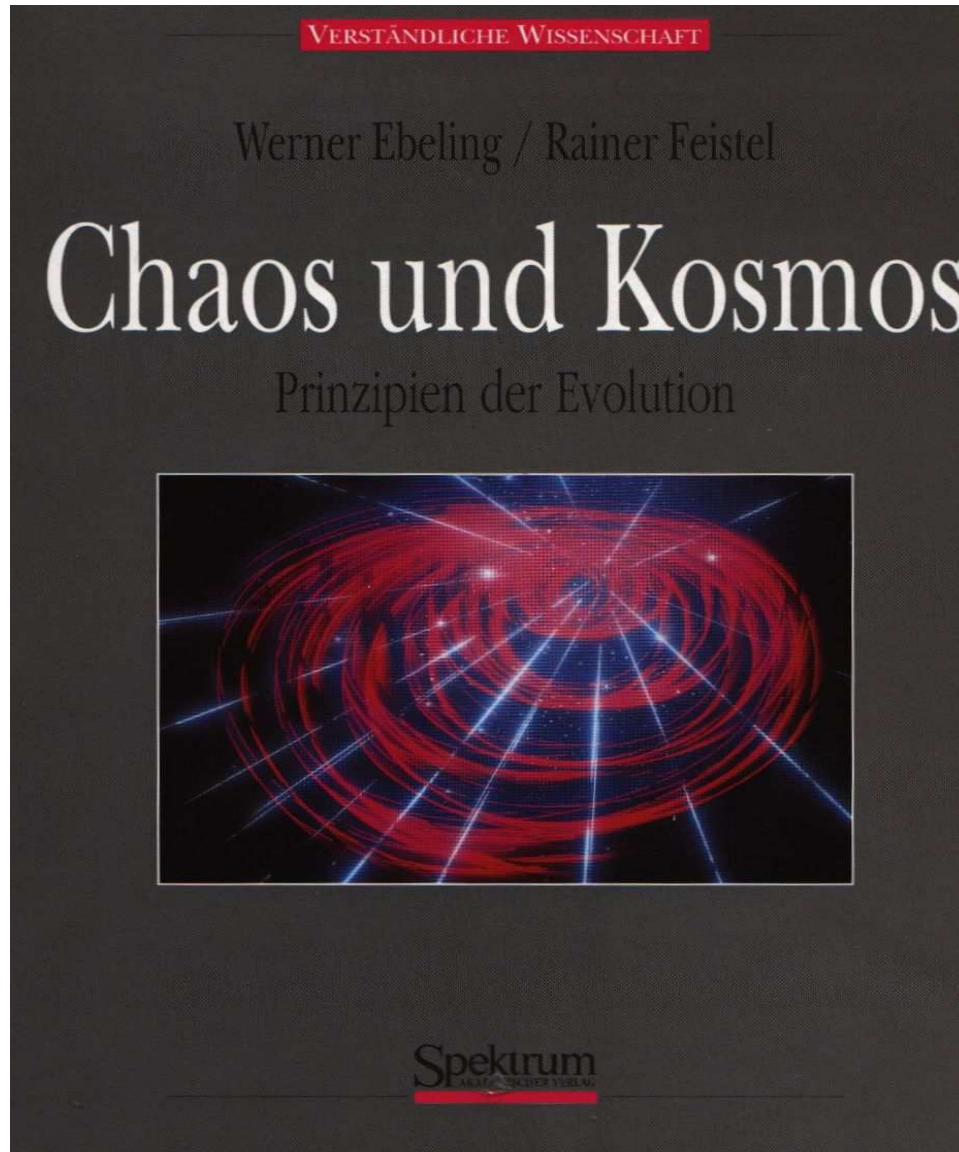
Haken: Laser



Photonen- Mühle: Sonne-Erde primär Antrieb der Photosynthese



Lit.: Haken, Plath, Eb, Romanovsky: Geschichte u. Prinzipien der Synergetik, Springer 2016



Die erste CO₂ Umwelt-Krise des Lebens



- Vor 2 - 3 Mrd Jahren war die Erde schon einmal in einer CO₂-Umweltkrise. Erde hatte reduzierende giftige Atm dominant CO₂, N₂,.....
- Ausweg: Erfindung einer innovative Spezies = frühe Pflanzen/Algen verwandelten Sonnenlicht + CO₂ durch **Photosynthese CO₂ in feste nutzbare Stoffe wie Kohle/Erdöl.**
- Photosynthese hat schon einmal nachgewiesen wie es **billig-umweltfreundlich** geht!
- Licht+CO₂ → nutzbare Energie/Entropieexport

Global gesehen ist die heutige Krise keine CO₂ oder



Temperatur-Krise sondern eine Entropie-Krise

- *Wir erzeugen global zu viel Entropie, indem wir Ressourcen wie Kohle/Erze ausbeuten, heute besonders **seltene Erden***
- *Vom Entropie-Standpunkt: Es ist **keine globale Lösung**, die Erde mit **Siliziumplatten** und **Betontürmen** zu überziehen, die sind teuer, haben hohen Herstellungsaufwand und **schlechte Entropiebilanz, viel schlechter als Bäume!***
- *Ausgehend von der Entropiebilanz und aus ökonomischen und ästhetischen Gründen kann die Empfehlung nur lauten:*
- *Entwickelt Photosynthese in Forschung/Technologie weiter!*
- ***Schont Wald/Urwald**, fördert innovative Forst-Land-und See-Wirtschaft, entwickelt eine **echte grüne Technologie!***

I. u. II. HS als Bilanz (Prigogine): Produktion, Austausch haben versch Formen



$$dE = d_e E + d_i E, \quad d_i E = 0,$$

$$d_e E = d' Q + d' A + \sum \mu_i dN_i;$$

$$dS = d_e S + d_i S, \quad d_i S > 0,$$

in isolierten Systemen: $dE = 0$, Energie wird erhalten
Entropie kann nur produziert werden

Thermodyn Entropie und Information sind Austauschgrößen

$$TD.1 \dots\dots\dots d_e S = \frac{d'Q}{T} + \dots\dots\dots TD.2$$

$$INFO : Syst.1 \dots\dots < \text{---} d_e S \text{---} > \dots Syst.2$$

$$\dots\dots\dots S_{\text{inf}} = k \log W \dots\dots\dots$$

Entropie verbindet Thermodynamik mit Informationstheorie,
Bei TD-prozessen und bei INFO-proz. fließt ENTROPIE

In komplexen Systemen wird neben Wärme/Arbeit/Stoff bes. Information ausgetauscht. Nach Szilard/Brillouin/Shannon/Stratonovich ist das auch Entropieaustausch

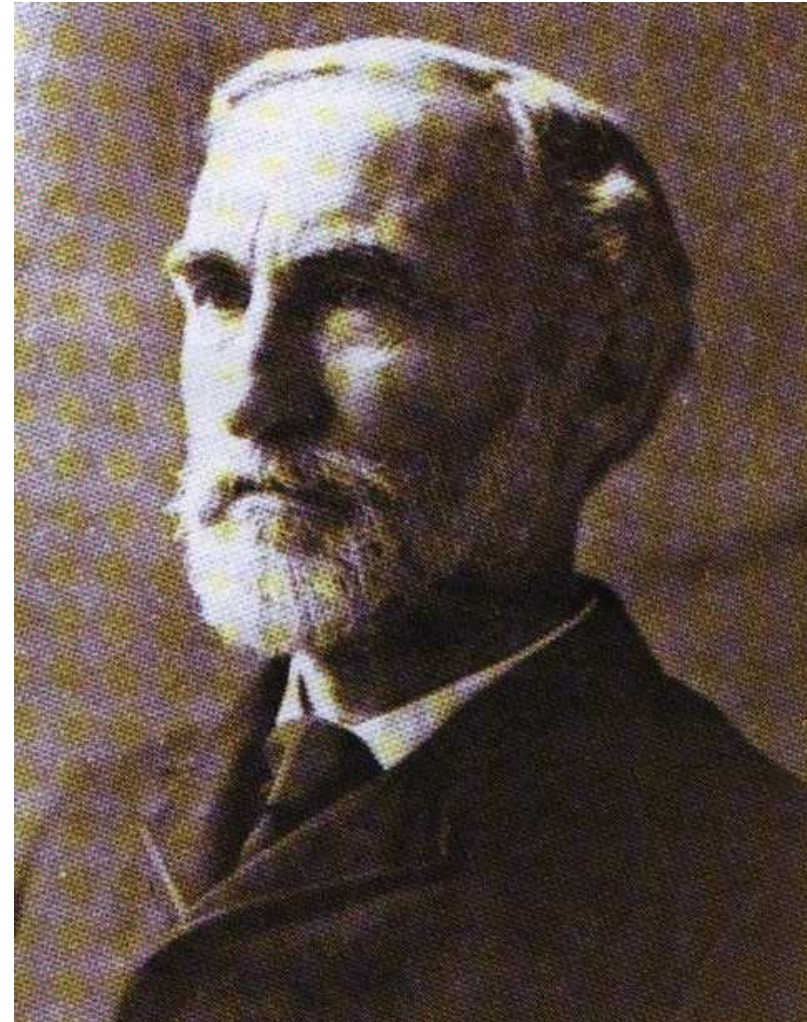
- Das hängt mit dem statist. Hintergrund der Entropie zusammen.
- Entropie ist viel allgemeiner als bei Clausius vorgedacht, auch bei Austausch von Information wird Entropie ausgetauscht.
- Ohne Übertreibung: Entropie ist ein Band, das die Physik mit den Technik- und Gesellschaftswissenschaften und unserer INFO-WELT verbindet.
- Von Neumann zu Shannon:
- *“Nennen das doch Entropie “* ,war kein Unfall!

Die statistische Theorie der Entropie stammt aus der STATPHYS



L. Boltzmann

J.W. Gibbs



Statistische Theorie der Entropie

Boltzmann/Gibbs/Planck/vNeumann

$$S = k_B \ln W$$

$$S = -k_B \int dx P(x) \ln P(x)$$

$$S = -k_B \text{Tr} [\rho \ln \rho]$$

Gilt nach Shannon nicht nur in TD auch in Informationstheorie,
Der fruchtlose Streit um den Begriff?

Beziehung thermodyn Entropie Info: Maxwells Dämon, Szilard, Brillouin Hartley, Shannon,



Informationsaustausch ist mit Entropie-
austausch verbunden, klein aber wichtig!

Leo Szilard

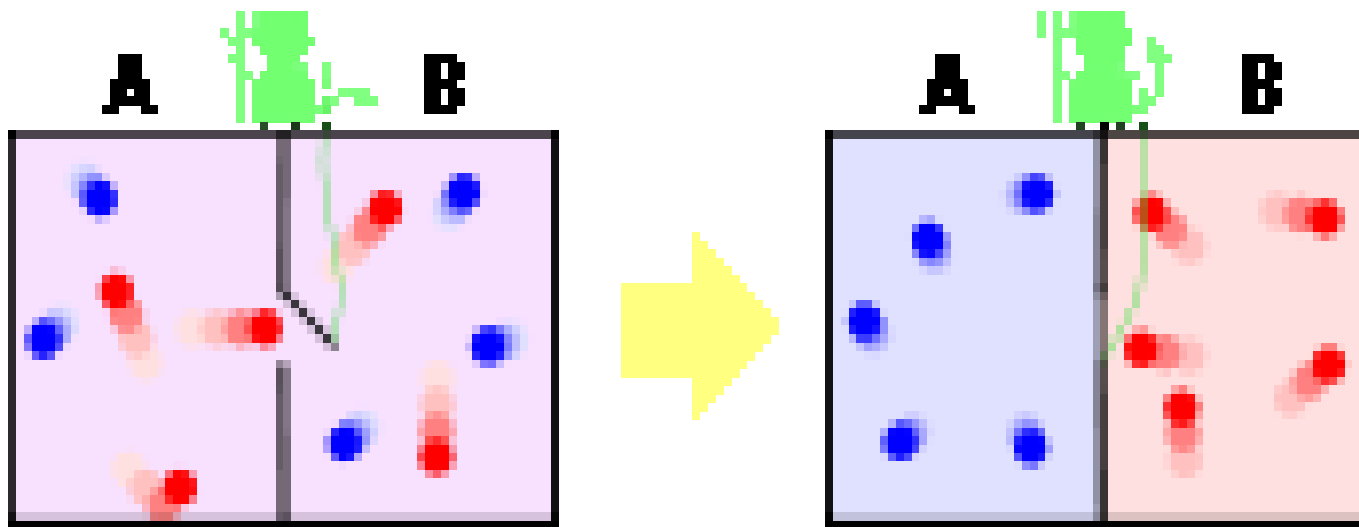
Leon Brillouin



Maxwells Dämon, Szilards Diss, Brillouin's Buch,



Informationsaustausch ist mit Entropie-
austausch verbunden, klein aber relevant.
Aus Info kann man sogar TempDiff=Arbeit
machen



Das tiefere math Verständnis verdanken wir Ruslan Stratonovich (1930-1997)



Assume a probability distribution $P(x)$ and two functionals

$$\Phi_1 [P] = \text{extr}_P ; \Phi_2 [P] = A = \text{fixed}$$

$$S = \Phi_1 [P] + \alpha \Phi_2 [P] = \text{extr}_P$$

k_B

$$\rightarrow S(\alpha) = \Phi_1 + \alpha A ; dS / d\alpha = A$$

$$L(A) = S - \alpha A = S - \alpha dS / d\alpha$$

$$dL(A) / dA = \alpha$$

These formal relations between Legendre transforms are the basis of thermodyn, information theory and optimization theory.

Ruslan Stratonovich 1930-1997



- Er beweist, daß Thermodynamik, Informationstheorie und Optimierungstheorie math. isomorph sind.
- Entropie=zentral, Analogie der Energie=Strafenfunkt. Risk.
- Math Basis sind Lagranges Extremalaufgabe mit NB und Legendre-Transform.



Entropie in Alltag, Kunst, Wiss



- Lebewesen, Ökosysteme, das Klima, die Gesellschaft sind komplexe Systeme, brauchen emergente Begriffe. Welt nur als Ensemble von Atomen zu begreifen, wird scheitern, aber ohne Physik erst recht und Entropie ist zentral !
- Ein Narr bringt sein kaputtes Auto, das aus Atomen besteht zum Atomphysiker. Besser kann das ein Automechaniker, aber ohne Thermodyn/Informatik gäbe es keine modernen Autos. Nur Hand-in Hand!
- Auf der untersten/phys/thermodyn Ebene ist alles Austausch Energie auf der höchsten Infofluß und alles ist verbunden mit Entropieflüssen (s. Capek).

Übersichten:



Peter Fleissner



Wolfgang Hofkirchner



Harald Müller



Margit Pohl



Christian Stary

Der Mensch
lebt nicht
in m Bit allein...



Mikhail V. Volkenstein

Entropy and Information



M. Faber H. Niemes G. Stephan

Entropy, Environment and Resource

An Essay in Physico-Economics

Schlußwort

- In unserer komplexen Welt gibt es einige wenige umfassende Klammern, eine davon ist die **Entropie**.
- **Entropie fließt bei fast allen Prozessen, auch in Informatik**, auch wenn man sie nicht sehen kann!
- Entropie ist eines der tiefsten, leider zu wenig verstandenen Konzepte, die unsere moderne Welt aus Natur/Gesellschaft/Industrie/Information durchweben.
- Die **beste Entropiebilanz** hat der **Wald** +Algenfelder
Nur mit ihrer Hilfe ist die CO₂-Krise lösbar, nur so kann die **echte grüne Technologie** der Zukunft geschaffen werden! Wie eine **grüne Infogesellschaft** aussieht, hat Hieronymus Bosch dargestellt!

Das ist nur Entropie sagte er bei Capek..

