

100 Jahre nach Boltzmann - wie steht es um die Grundlagen der Thermodynamik?

Jochen Gemmer
Osnabrück, 28.10.2004

Primäres Gesetz oder angepaßte Beschreibung?

Quantenmechanik:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi = \left(-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + V\right)\Psi$$

Klassische Mechanik:

$$m\frac{d^2}{dt^2}\vec{x} = -\nabla V$$

Thermodynamik:

$$dU = TdS - pdV$$

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

Primäres Gesetz oder angepaßte Beschreibung?

Quantenmechanik:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right) \Psi$$

→ “Heisenbergschnitt” →

Klassische Mechanik:

$$m \frac{d^2}{dt^2} \vec{x} = -\nabla V$$

Thermodynamik:

$$dU = TdS - pdV$$

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

Primäres Gesetz oder angepaßte Beschreibung?

Quantenmechanik:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right) \Psi$$

→ “Heisenbergschnitt” →

Klassische Mechanik:

$$m \frac{d^2}{dt^2} \vec{x} = -\nabla V$$



Ergodizität



Thermodynamik:

$$dU = TdS - pdV$$

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

Primäres Gesetz oder angepaßte Beschreibung?

Quantenmechanik:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right) \Psi$$

→ "Heisenbergschnitt" →

Klassische Mechanik:

$$m \frac{d^2}{dt^2} \vec{x} = -\nabla V$$

?

Ergodizität

Thermodynamik:

$$dU = TdS - pdV$$

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

Entropiedefinitionen

Entropiedefinitionen

phänomenologisch:



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

Nur über Messungen zugänglich!

Entropiedefinitionen

phänomenologisch:



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

Nur über Messungen zugänglich!

statistisch, mikroskopisch:



$W(U, V)$ berechenbar!

Entropiedefinitionen

Gesucht ist die **Entropie** als eine Funktion des **Mikrozustandes** (Orte und Impulse aller Teilchen), dessen Dynamik durch die **Newtonschen Gleichungen** beschrieben wird, die:

- monoton steigt
- eine obere Grenze von $S(U, V) = k \ln W(U, V)$ erreicht

Aber die Newtonschen oder Hamiltonschen Gleichungen

- sind zeitumkehrinvariant
- haben keinen Fixpunkt

Film 1

Film 2

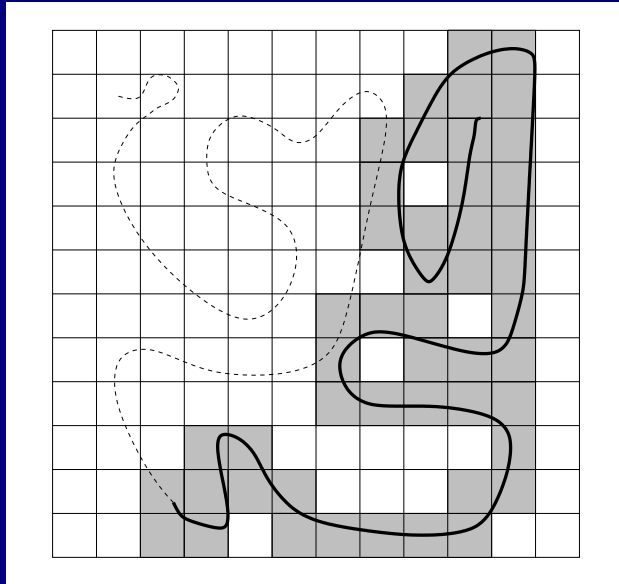
Film 3

Film 4

Dynamische Entropiedefinitionen: Der Zweite Hauptsatz

Phasenraumportraits:

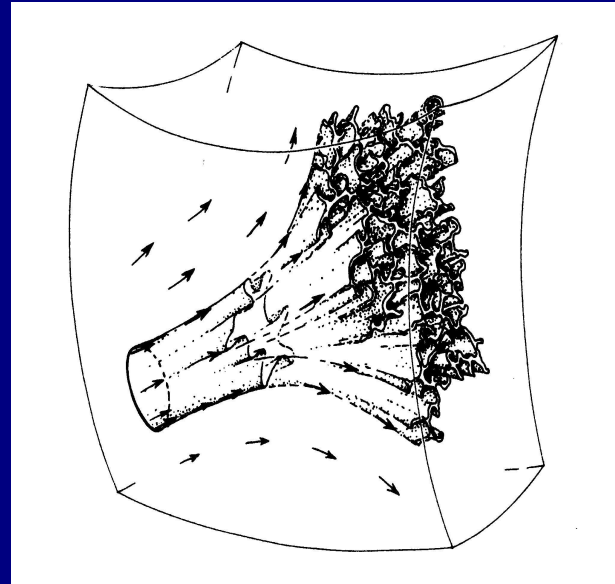
Boltzmann:



Probleme:

- Ergodizität
- Zellgröße
- Zählzeit

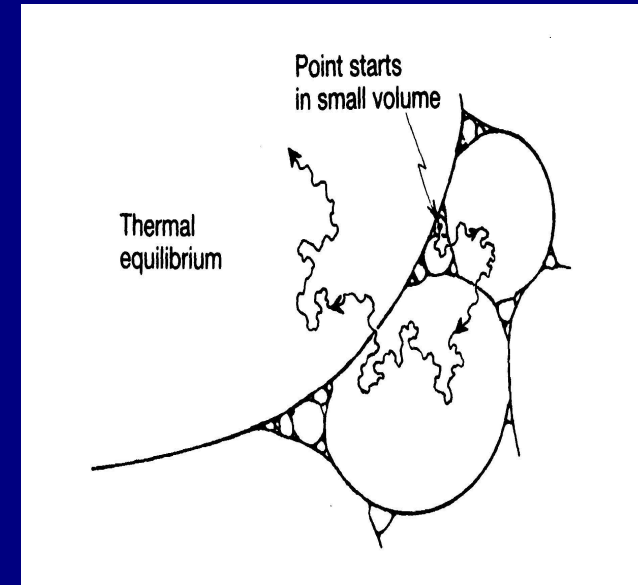
Gibbs:



Probleme:

- Liouvillsche Satz
- mischend
- Zellgröße

Ehrenfest:



Probleme:

- Definition der makroskopischen Zellen
- Trajektoriengeschwindigkeit

Klassisch mechanisches Fundament der Thermodynamik?

Klassisch mechanisches Fundament der Thermodynamik?

“Over the years enormous effort was invested in proving ergodicity, but for a number of reasons, confidence in the fruitfulness of this approach has waned”

Y. Ben-Menahem, I. Pitowski (2001)

Klassisch mechanisches Fundament der Thermodynamik?

“Over the years enormous effort was invested in proving ergodicity, but for a number of reasons, confidence in the fruitfulness of this approach has waned”

Y. Ben-Menahem, I. Pitowski (2001)

Heisenbergschnitt?

Teilchenmassen: $\approx 1 - 100$ Protonenmassen

Teilchengrößen: $\approx 10^{-10}$ m

Breite eines Wellenpaketes für $t = 0$: 10^{-10} m

Breite eines Wellenpaketes für $t = 1$ sek. : 1 m – 100 m

Klassische Beschreibung von Thermodynamischen Systemen insgesamt *a priori* fraglich!

Gültigkeit des 2. Hauptsatzes in der Quantenphysik

Es gibt keine Maschine die Arbeit verrichtet indem sie einen einzigen Wärmebad Energie entzieht.

VOLUME 85, NUMBER 9

PHYSICAL REVIEW LETTERS

28 AUGUST 2000

Extraction of Work from a Single Thermal Bath in the Quantum Regime

A. E. Allahverdyan^{1,2,4} and Th. M. Nieuwenhuizen³

Es gibt kein Perpetuum Mobile 2. Art.

PHYSICAL REVIEW E 66, 036102 (2002)

Statistical thermodynamics of quantum Brownian motion: Construction of perpetuum mobile of the second kind

Th. M. Nieuwenhuizen¹ and A. E. Allahverdyan^{2,1,3}

Gültigkeit des 2. Hauptsatzes in der Quantenphysik



Der Wirkungsgrad einer idealen Wärmekraftmaschine kann nicht übertroffen werden.

VOLUME 88, NUMBER 5

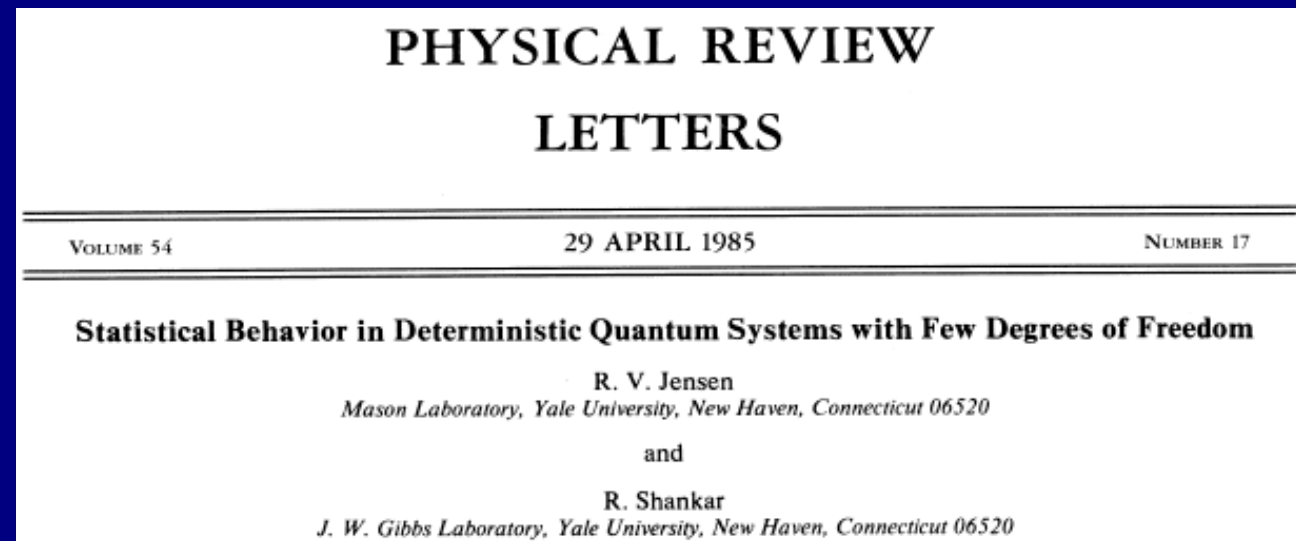
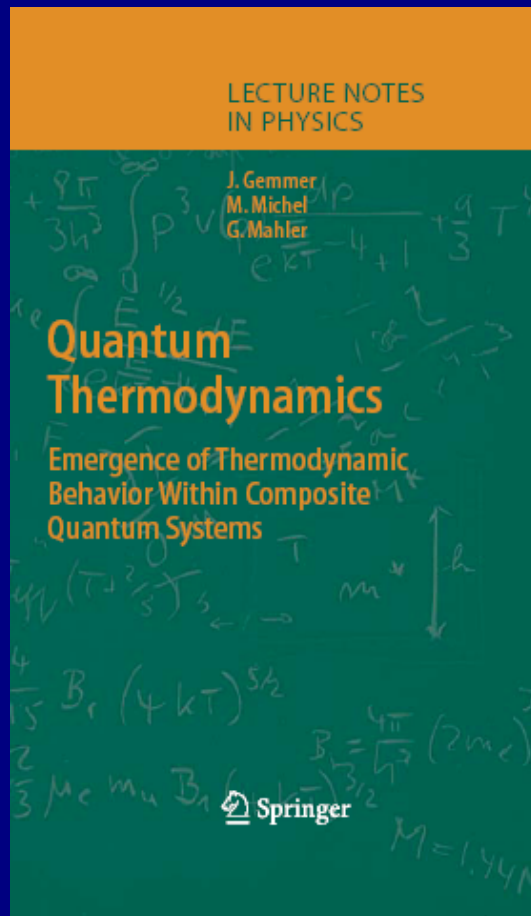
PHYSICAL REVIEW LETTERS

4 FEBRUARY 2002

Quantum Afterburner: Improving the Efficiency of an Ideal Heat Engine

Marlan O. Scully

Gültigkeit des 2. Hauptsatzes in der Quantenphysik



Entropie in der Quantenphysik

Von Neumann Entropie:

$$S = -k \text{Tr}\{\hat{\rho} \ln \hat{\rho}\}$$

Entropie ist Funktion des Mikrozustandes $\hat{\rho}$!

Schrödingergleichung:

$$\hat{\rho} = \hat{\rho}(t) \quad \Rightarrow \quad S = S(t)$$

Für **abgeschlossene Systeme**

$$\frac{d}{dt} S = 0$$

(“Quanten Liouvillsche Satz”)

???

System-Umgebung Modelle:

Reduzierte Dichtematrix

$$\hat{\rho}_s = \text{Tr}_u \hat{\rho}$$

Enthält die maximale Information über das betrachtete System

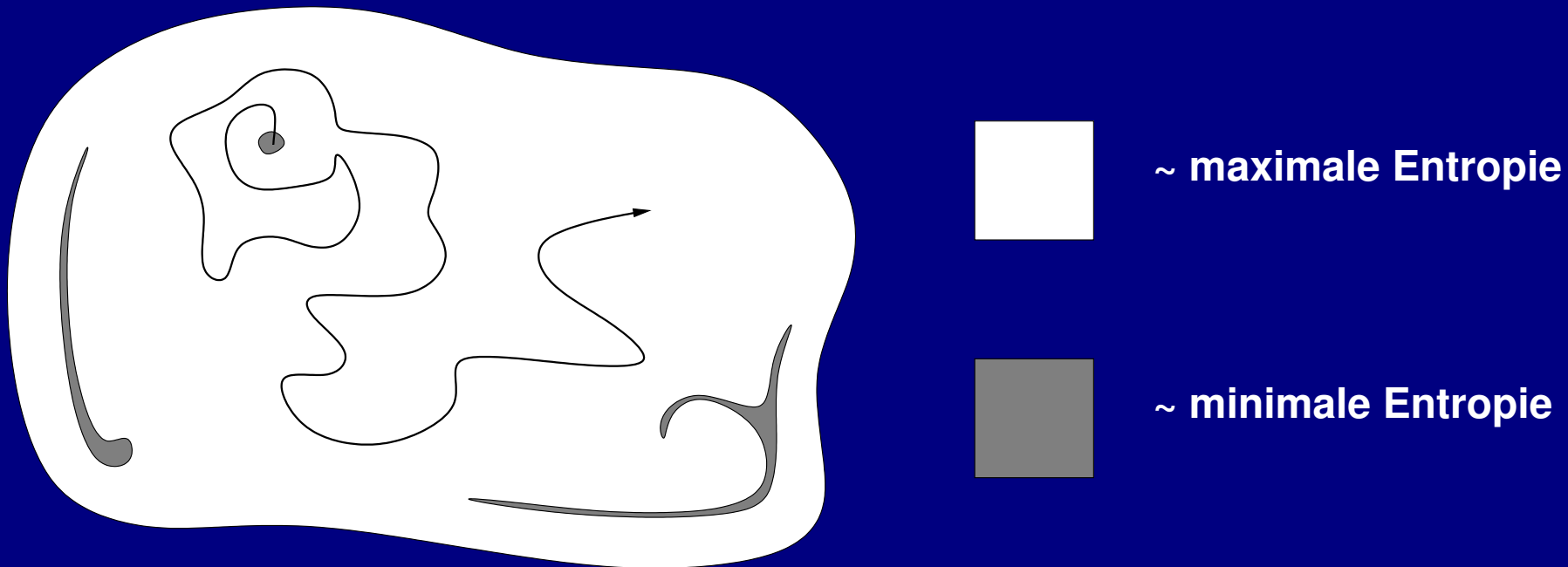
$$\frac{d}{dt} S(\hat{\rho}_s(t)) \neq 0$$

Gilt auch für Wechselwirkungen die keinen Energieaustausch generieren!

Hilbertraum “Landschaften”

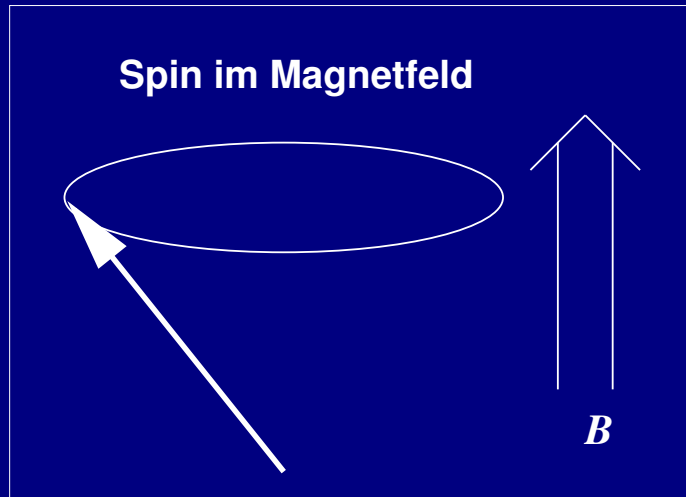
Wie kann man erklären dass die Entropie immer nur steigt?

Hilbertraumportrait:

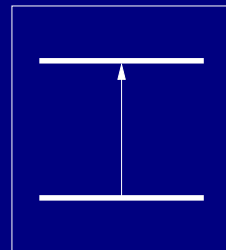
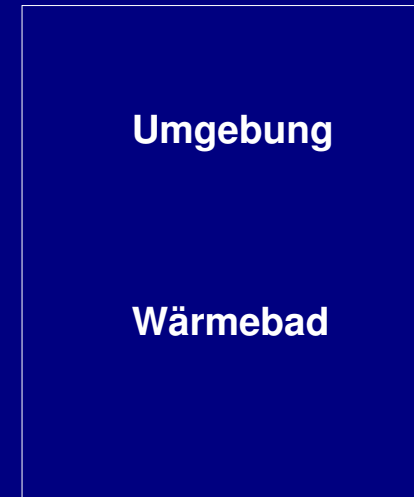


Für “große” Umgebungen sind fast alle Mikrozustände hochentropisch!
(ohne Beweis)

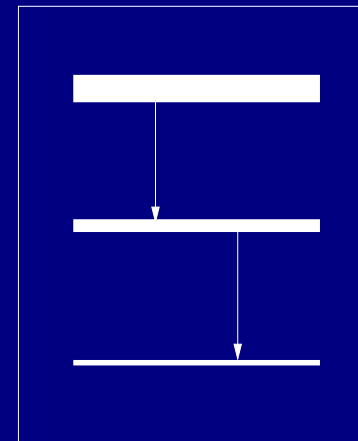
Das kleinste thermodynamische System



schwache
Wechselwirkung



mikrokanonisch
kanonisch



Danke!

Mein Dank gilt dem gesamten Fachbereich, insbesondere

Prof. Dr. Bärwinkel

Prof. Dr. Schnack

S. Guthoff

Mathias Exler

Harald Schmid

u.v.a.

Never mind!

“Wenn man keinen Schimmer hat, worum es im zweiten thermodynamischen Hauptsatz geht, [...], dann wird niemand daraus auf mangelnde Bildung schließen.”

D. Schwanitz in : **Bildung**

Kapitel: Was man nicht wissen sollte.

Endlich!

Das Buffet ist eröffnet!