

# **Chaostheorie und Selbstorganisation: Allheilmittel oder intellektuelle Mode?**

## Inhalt

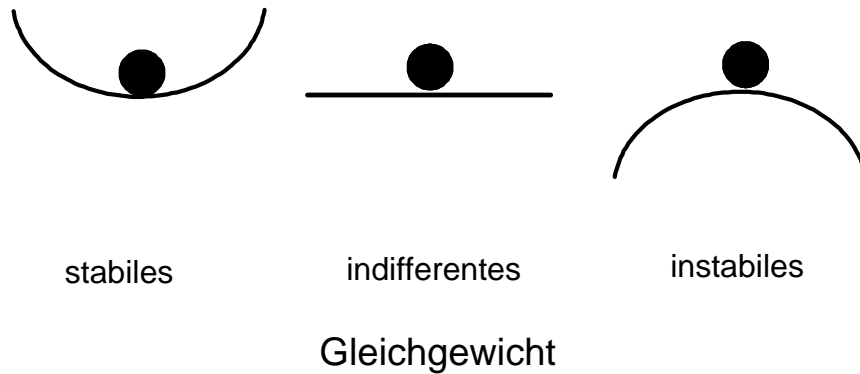
1. Einleitung
2. Die Krise der Vernunft
3. Selbstorganisation und Chaos:  
Neue Denkansätze in den Naturwissenschaften
  - 3.1. Newton: Sicherheit und Ordnung
  - 3.2. Selbstorganisation: den Wärmetod ausgetrickst
  - 3.3. Leben: Selbstorganisation und Zufall
  - 3.4. Chaos: Freiheit und komplexe Ordnung
4. Ausblick: Chaos und Selbstorganisation als  
Metaphern

"Eine Intelligenz, welche für einen gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräfte sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kannte und überdies umfassend genug wäre, diese gegebenen Größen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegung der größten Weltkörper wie des leichtesten Atoms umschließen; nichts würde ihr ungewiß sein und Zukunft und Vergangenheit würden ihr offen vor Augen liegen."

Pierre Simon de Laplace, Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit, Hrsg. v. R.v. Mises, Leipzig 1932  
(Originalausgabe: Paris 1814)

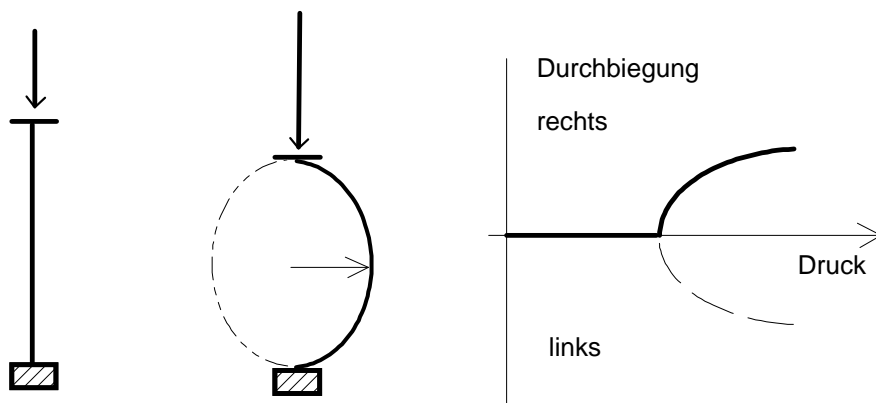
## Die Tücken der Newtonschen Mechanik:

Gleichgewicht einer Kugel:



Nicht-Eindeutigkeit der Entwicklung, Einfluß des Zufalls,  
begrenzte Vorhersagbarkeit

Durchbiegung eines Stabes:



Verzweigung: zwei mögliche Wege der weiteren Entwicklung  
(Bifurkation)

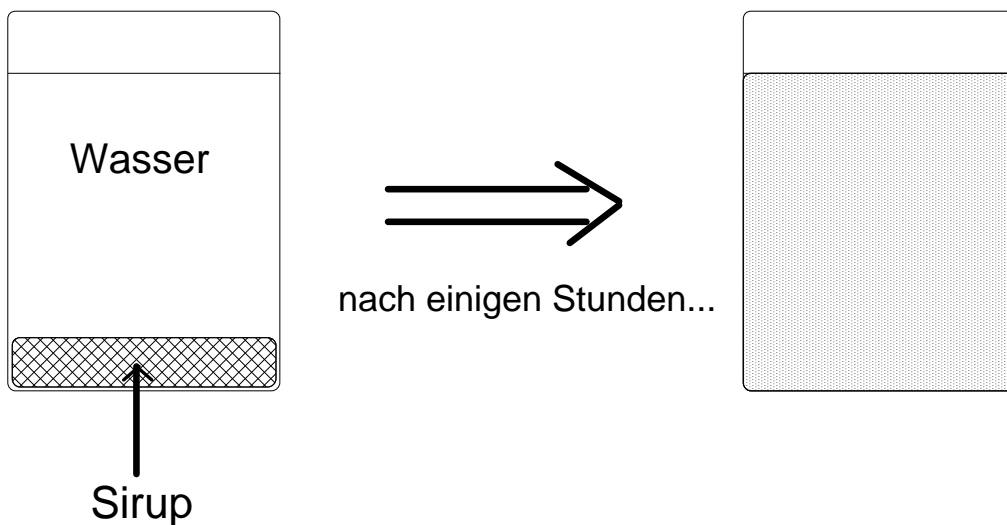
## Zukunft: Wärmetod

Boltzmanns H-Theorem:

im geschlossenen System gilt:

Ordnung und Strukturiertheit können nur abnehmen!

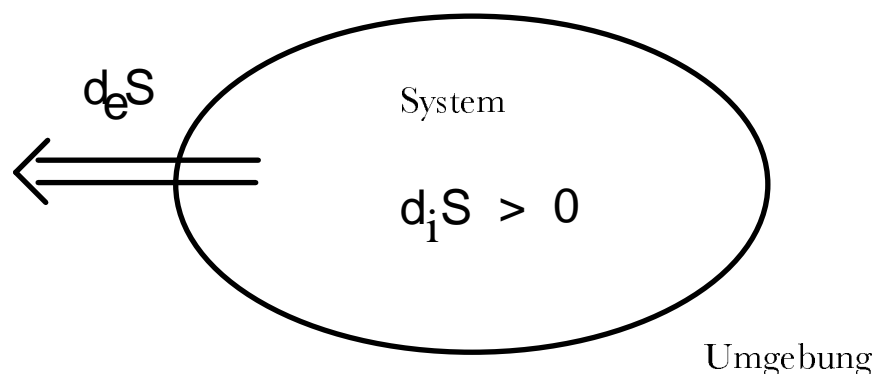
Alle Unterschiede werden sich ausgleichen,  
alle künstlich geschaffenen Formen zerfallen!



## Prigogines neues Paradigma:

In offenen Systemen ist alles ganz anders:

Durch Export von Unordnung (Entropie) können im Innern von selbst neue, komplexe Strukturen (Formen, Muster, Mechanismen) entstehen!



$$dS = d_i S + d_e S < 0 \text{ wenn } d_e S < 0 \text{ und } |d_e S| > d_i S !!!$$

Bedingungen für dissipative Strukturbildungen:

Hinreichende Entfernung des Systems vom thermodynamischen Gleichgewicht, d.h.:

- Offenheit des Systems, Energie- und/oder Stoffströme durch das System;
- Bereich der nichtlinearen Kraft-Fluß-Beziehungen, nach der ersten Bifurkation

## Beispiele für dissipative Strukturen:

- Benard-Zellen (Strömungsmuster, Wolkenformen, Sonnengranulation, Magmaströmungen);
- Grenzyklus-Schwingungen (selbsterregte elektromagnetische Schwingungen, Pendeluhr .. Quarzuhr)
- Oszillierende chemische Reaktionen (biologische Uhren)

## "Eingefrorene" dissipative Strukturen:

- Schneeflocken, Dendriten (Mullins-Sekerka-Instabilität)
- Meniskus-Instabilität
- Liesegang-Ringe

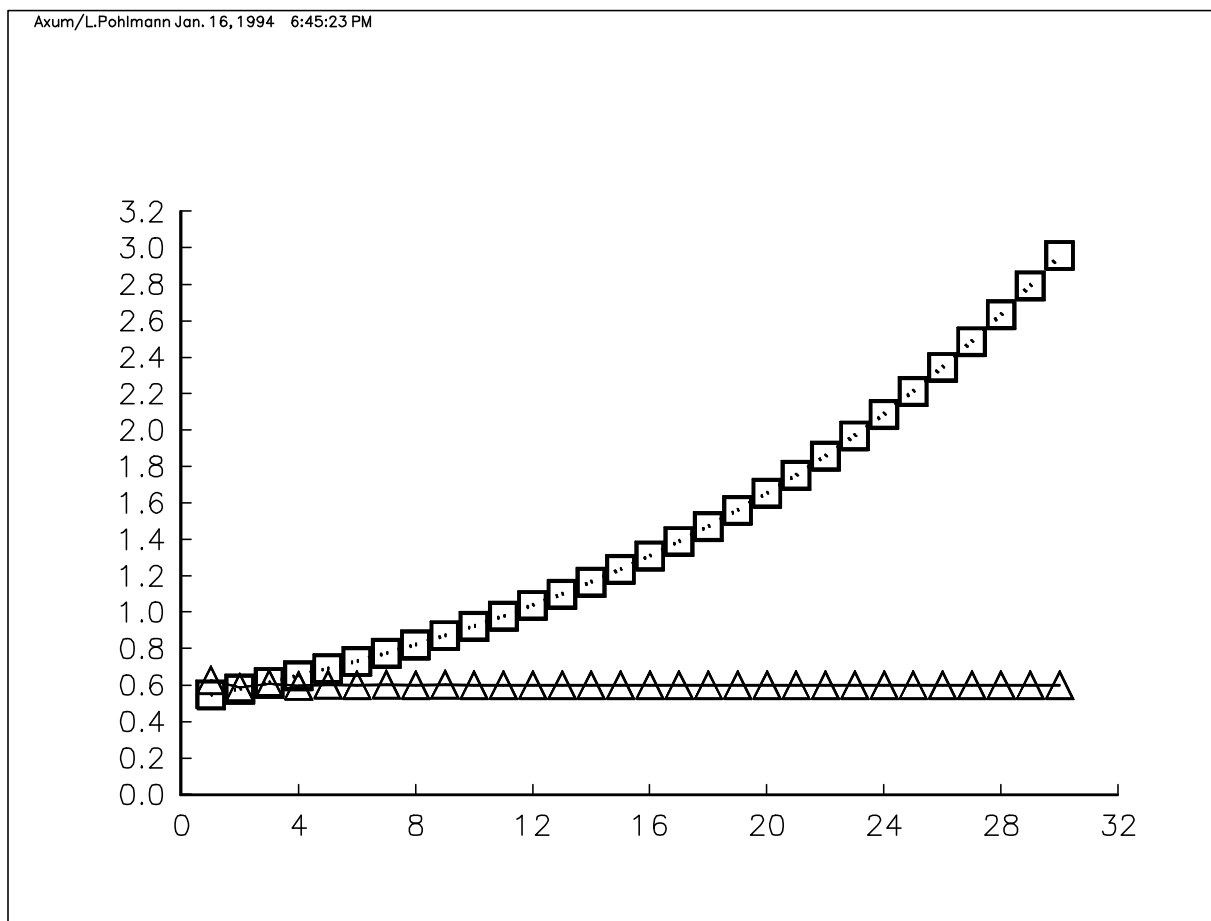
## Chaos: Mysterien der Zinseszinsrechnung

normaler Zinseszins:  $X(n+1) = X(n) \cdot (1 + z/100)$   
(n - Jahreszahl, z - Zinsfuß, X - Guthaben)

=> X wächst geometrisch über alle Grenzen!

Vorschlag eines "gerechteren" Zinsmechanismus:

$$X(n+1) = A \cdot X(n) \cdot (1 - X(n)/X_{\max})$$

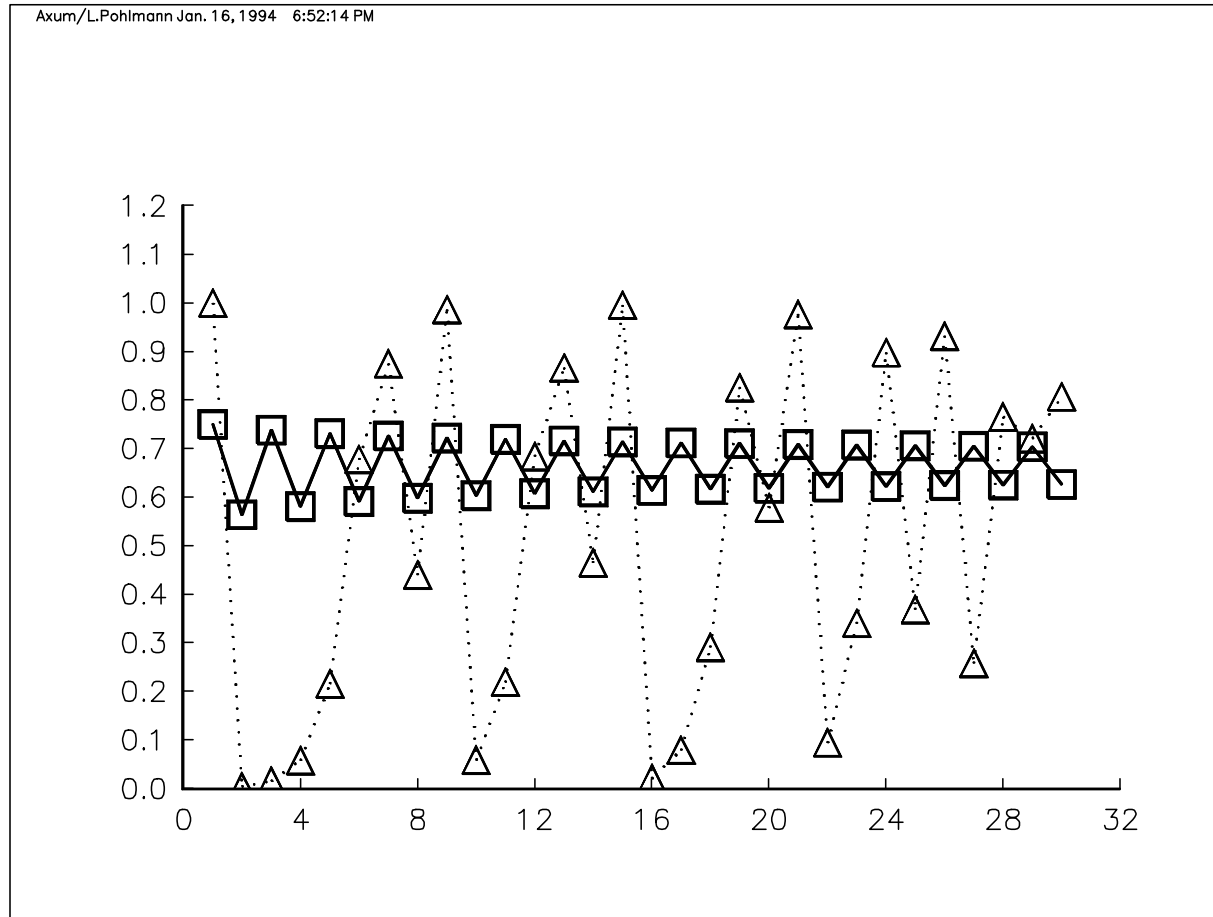


$$X(1) = 0.5121$$

Quadrate: normaler Zinsfuß von 6%

Dreiecke: "gerechterer" Zinsmechanismus mit  $A = 2.5$

Wollen wir etwas großzügiger sein...



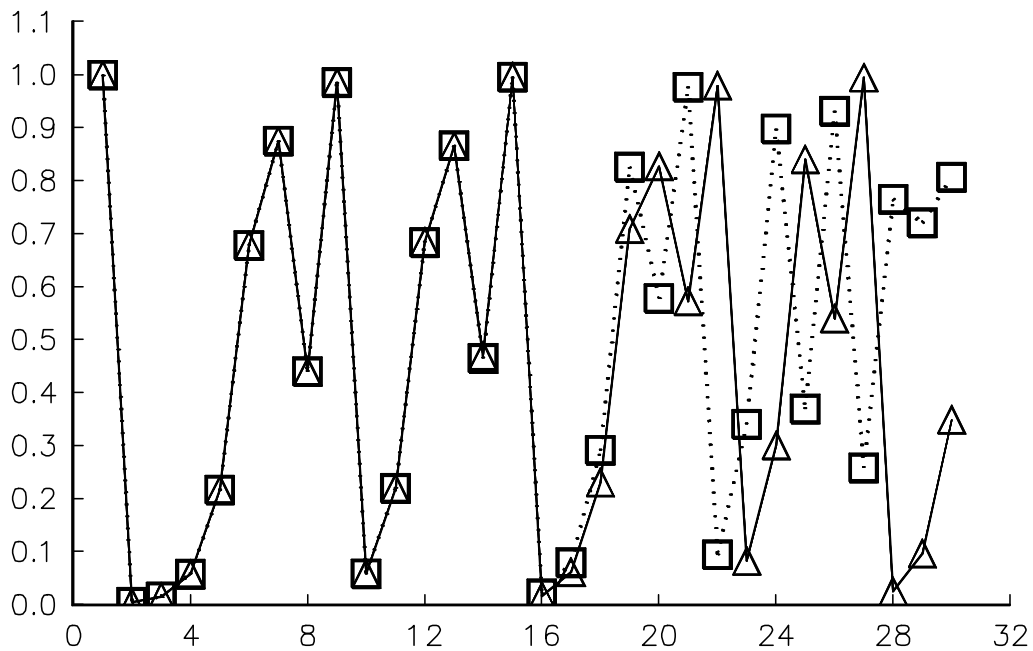
Quadrate:  $A = 3.0$   $\implies$  periodisch

Dreiecke:  $A = 4.0$   $\implies$  chaotisch!



# Wie gut ist Ihr Taschenrechner?

Axum/L.Pohlmann Jan. 14, 1994 8:45:59 PM



$A = 4$  ,  $X(1) = 0.5121$

Dreiecke: Rechnung mit 6 Stellen Genauigkeit

Quadrate: Rechnung mit 10 Stellen Genauigkeit

=> starke Empfindlichkeit gegenüber kleinsten Störungen, Fehlern oder äußeren Einflüssen (ein anfänglicher Fehler von nur 0.00005 % führt nach nur 23 Wiederholungen zu einem maximalen Fehler von ca. 100 %!)

Kleinste Ursachen => größte Wirkungen!