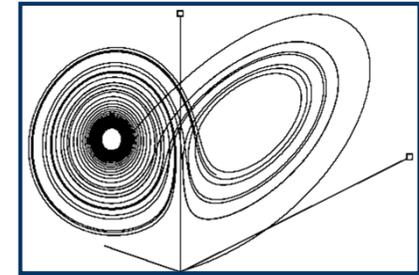


# Chaosforschung

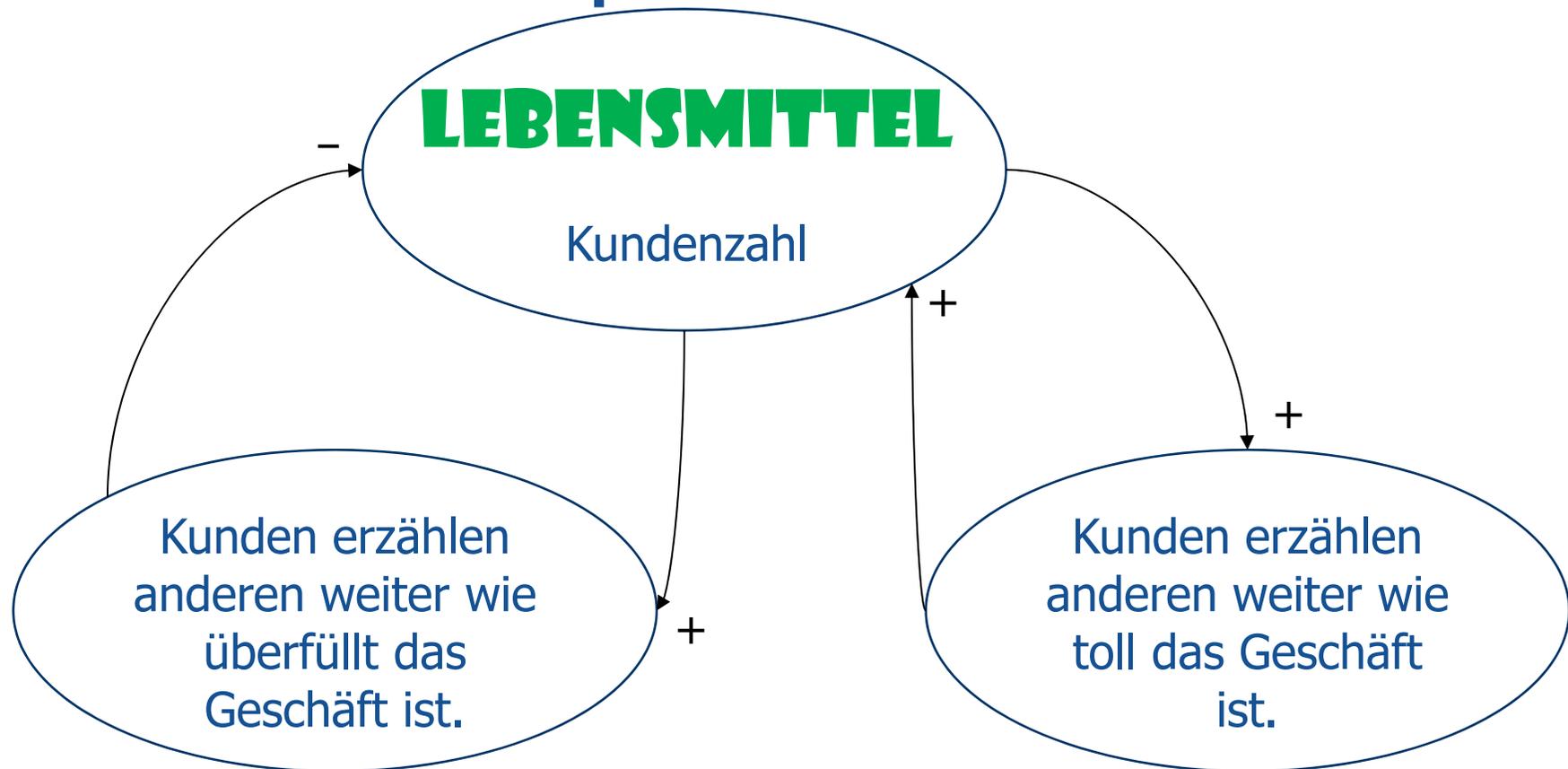
Wie Komplexität entsteht

# Chaotische Dynamik

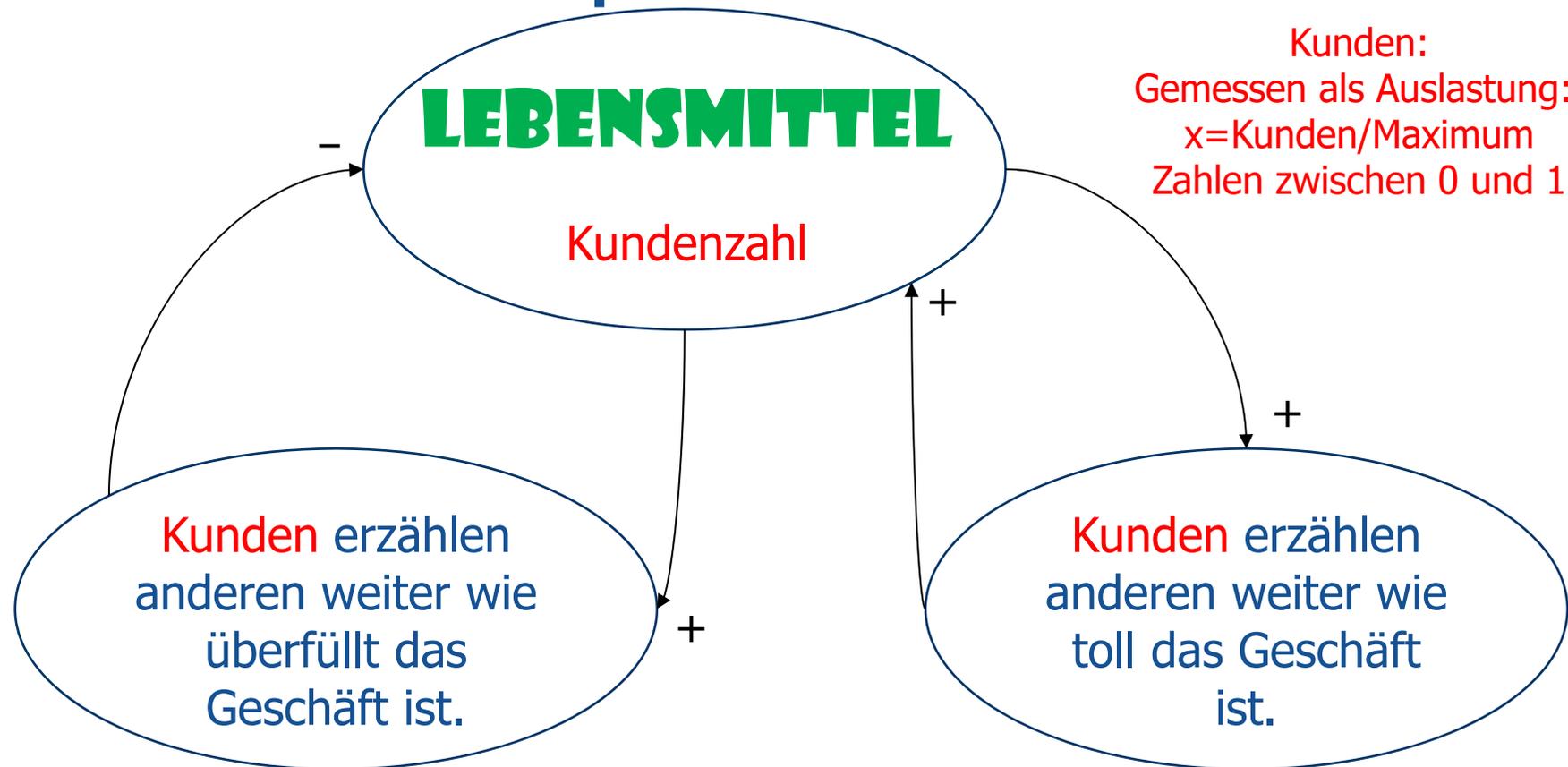


Das Systemverhalten ist nur sehr begrenzt vorhersehbar. Dies hat seinen Grund in der sensiblen Abhängigkeit des Systemverhaltens von den Ausgangsbedingungen bzw. von minimalen „Störeinflüssen“ oder Interventionen von Seiten der Umwelt (sog. „Schmetterlingseffekt“).

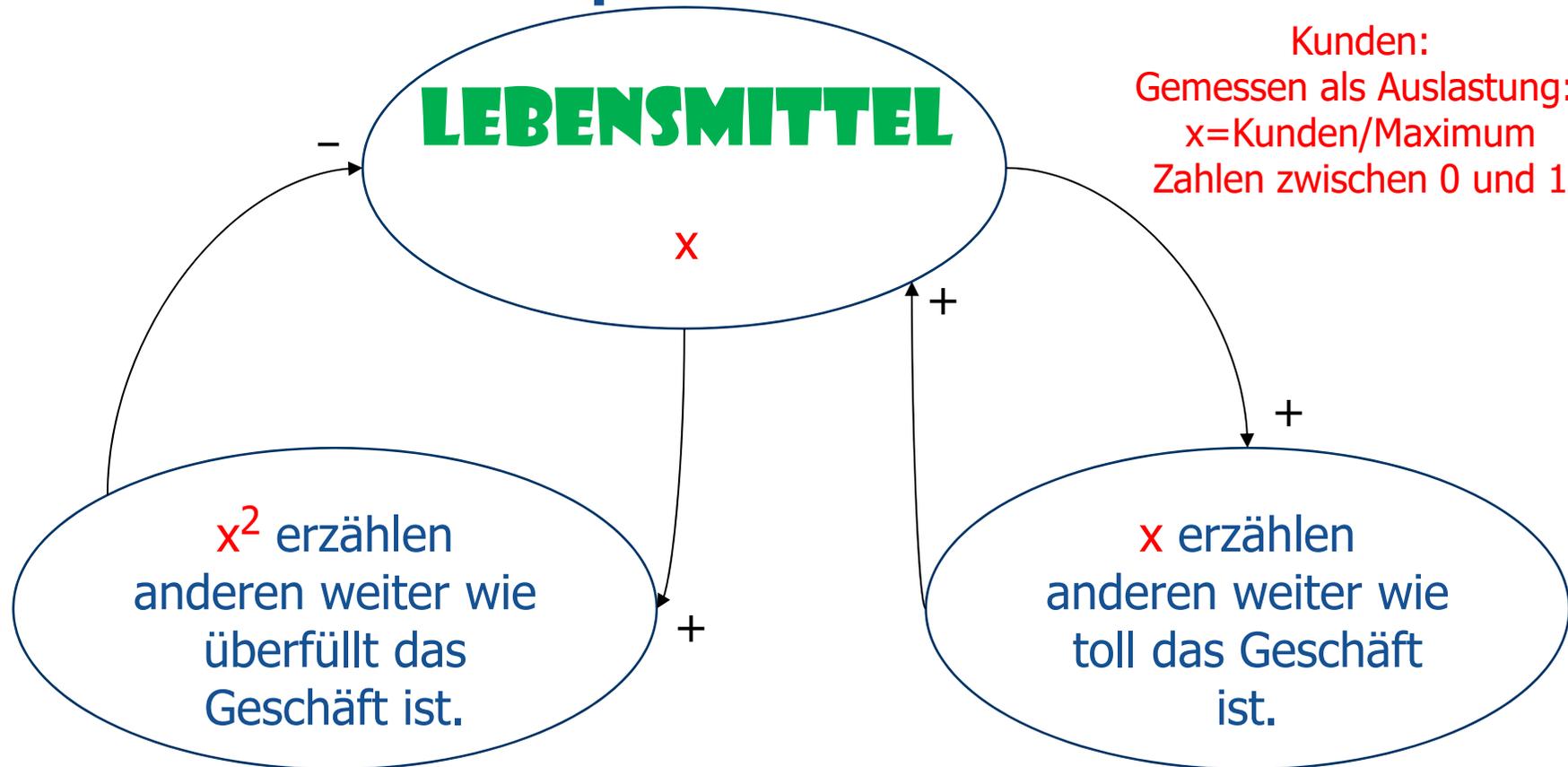
# Neues Lebensmittelgeschäft – Konstruiertes Fallbeispiel



# Neues Lebensmittelgeschäft – Konstruiertes Fallbeispiel



# Neues Lebensmittelgeschäft – Konstruiertes Fallbeispiel

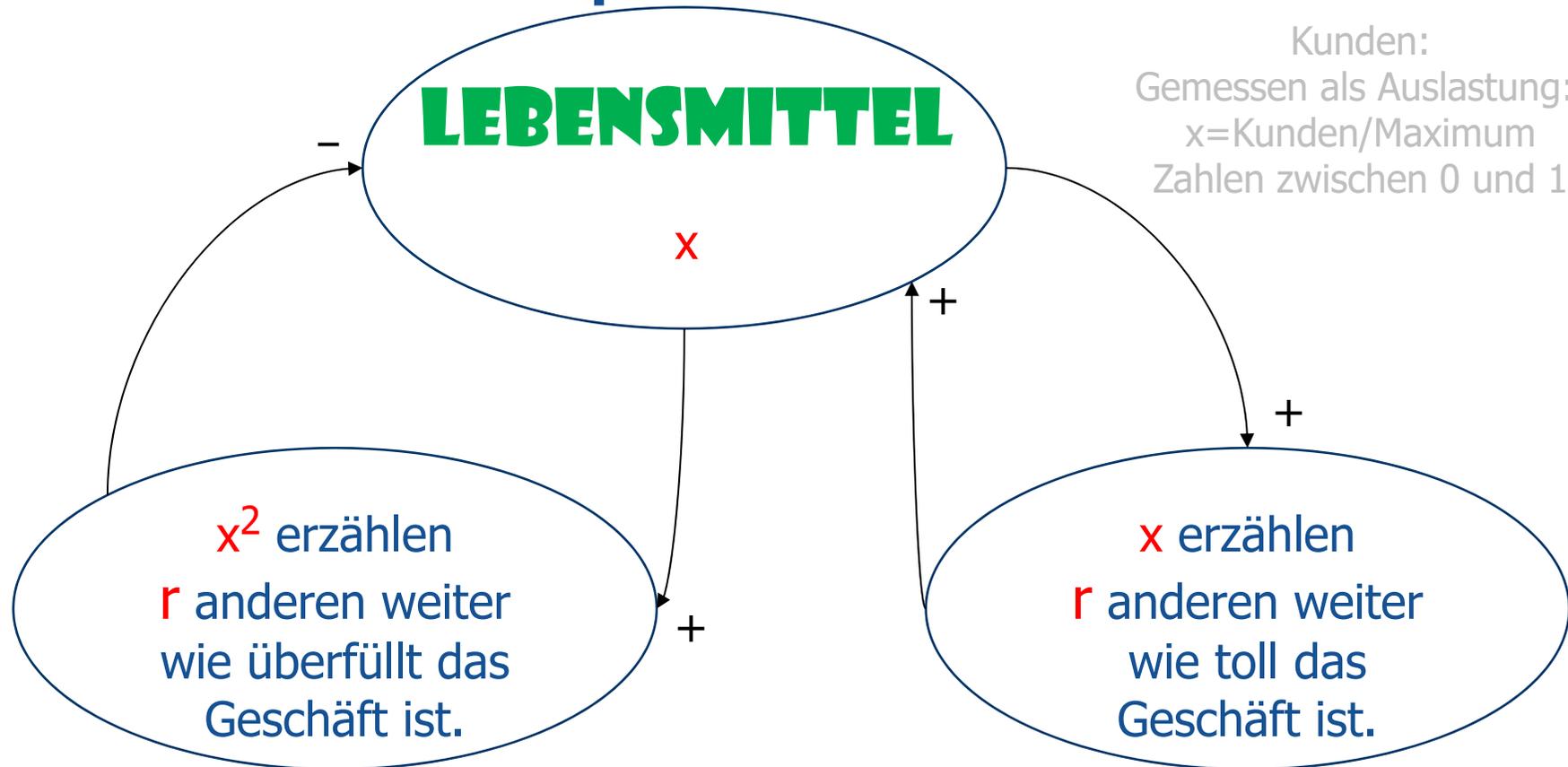


Kunden:  
Gemessen als Auslastung:  
 $x = \text{Kunden} / \text{Maximum}$   
Zahlen zwischen 0 und 1

x<sup>2</sup>:  
Bei geringer Auslastung wird nur  
wenigen von Überfüllung berichtet.

Bei hoher Auslastung steigt die  
Zahl der Warnungen schnell an.

# Neues Lebensmittelgeschäft – Konstruiertes Fallbeispiel



Kunden:  
Gemessen als Auslastung:  
 $x = \text{Kunden} / \text{Maximum}$   
Zahlen zwischen 0 und 1

$x^2$ :  
Bei geringer Auslastung wird nur  
wenigen von Überfüllung berichtet.

Bei hoher Auslastung steigt die  
Zahl der Warnungen schnell an.

$r$ :  
Rate mit der weiter erzählt wird.  
Mundpropaganda-Rate

## Wachstumsgleichung mit Grenze (Verhulst-System)

$$x = rx - rx^2$$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

# Verhulst-System

## Schlechte Mundpropaganda

$r = 2,8$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

0,60

# Verhulst-System

## Schlechte Mundpropaganda

$r = 2,8$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

0,64 (Ende)

# Verhulst-System

## Mittelgute Mundpropaganda

$r = 3,2$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

0,60

# Verhulst-System

## Mittelgute Mundpropaganda

$r = 3,2$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

0,80

# Verhulst-System

## Mittelgute Mundpropaganda

$r = 3,2$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

0,51 (ENDE)

## Verhulst-System

Sehr gute Mundpropaganda

$r = 3,9$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

0,60

## Verhulst-System

Sehr gute Mundpropaganda

$r = 3,9$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

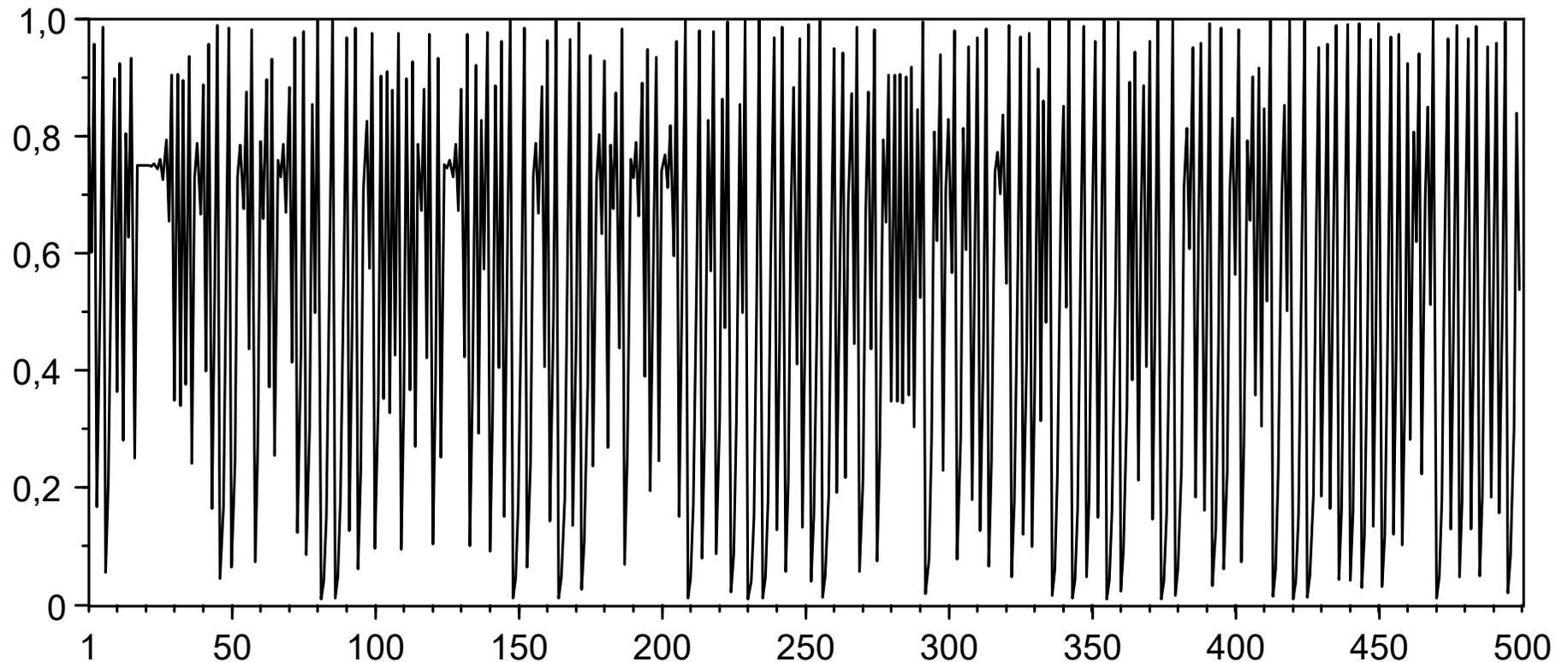
0,94

# Verhulst-System

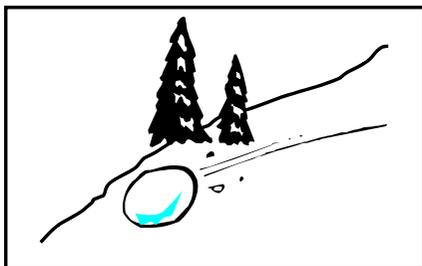
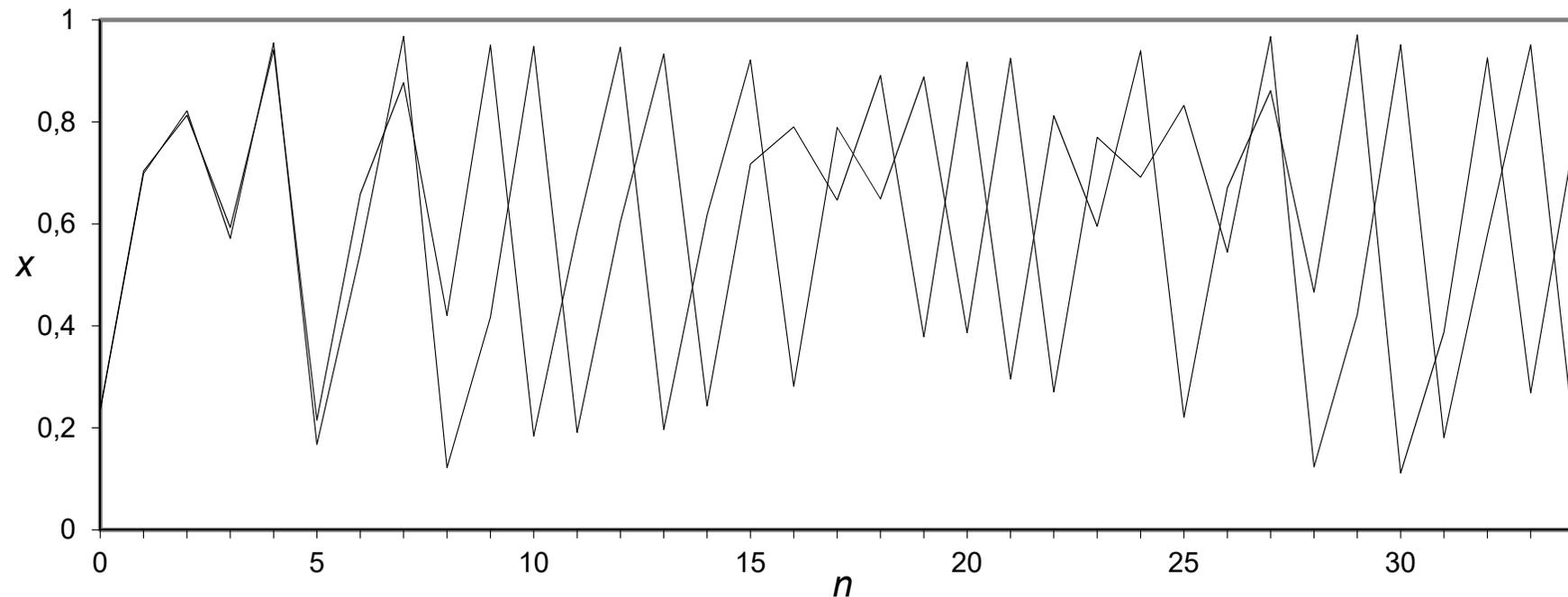
## Sehr gute Mundpropaganda

$r = 3,9$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$



# Schmetterlingseffekt



Exponentielles (lawinenartiges)  
Fehlerwachstum

---

# Phasenraum

## Trotz Schmetterlingseffekt

- Der Schmetterlingseffekt macht eine genaue Prognose unmöglich.
- Aber auch im Chaos ist das Verhalten des Systems durch das System erzeugt.
- Chaos besitzt also irgendwo doch eine Ordnung (wie die Zahl PI).
- Bei unterschiedlicher Mundpropaganda verändert sich die Ordnung dramatisch.
- Die Mundpropaganda ist ein „Kontrollparameter“. Sie beeinflusst das Systemverhalten dramatisch.
- Es ist nicht leicht solche Parameter zu finden.

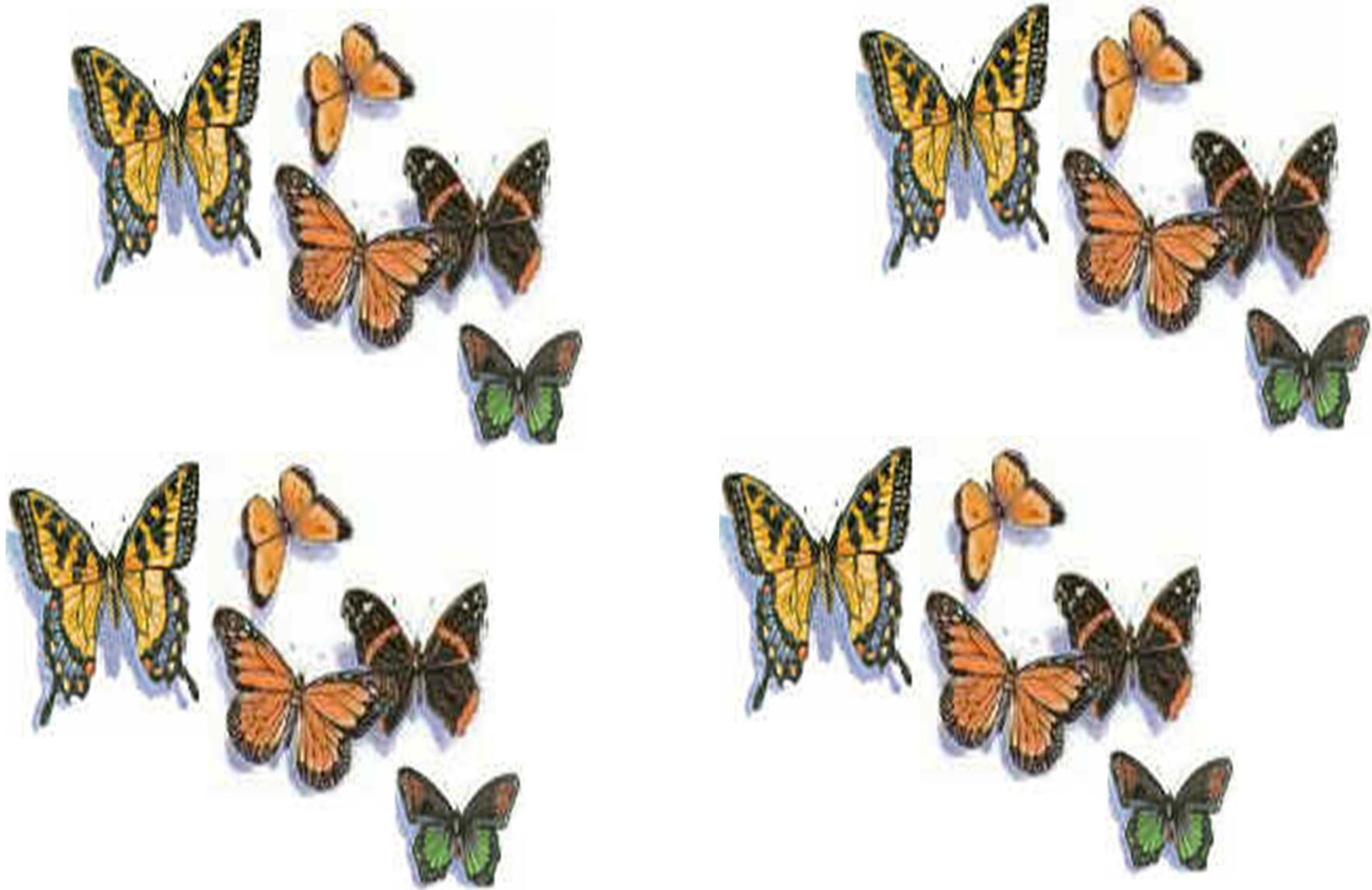
# Das 3-Körper-Problem



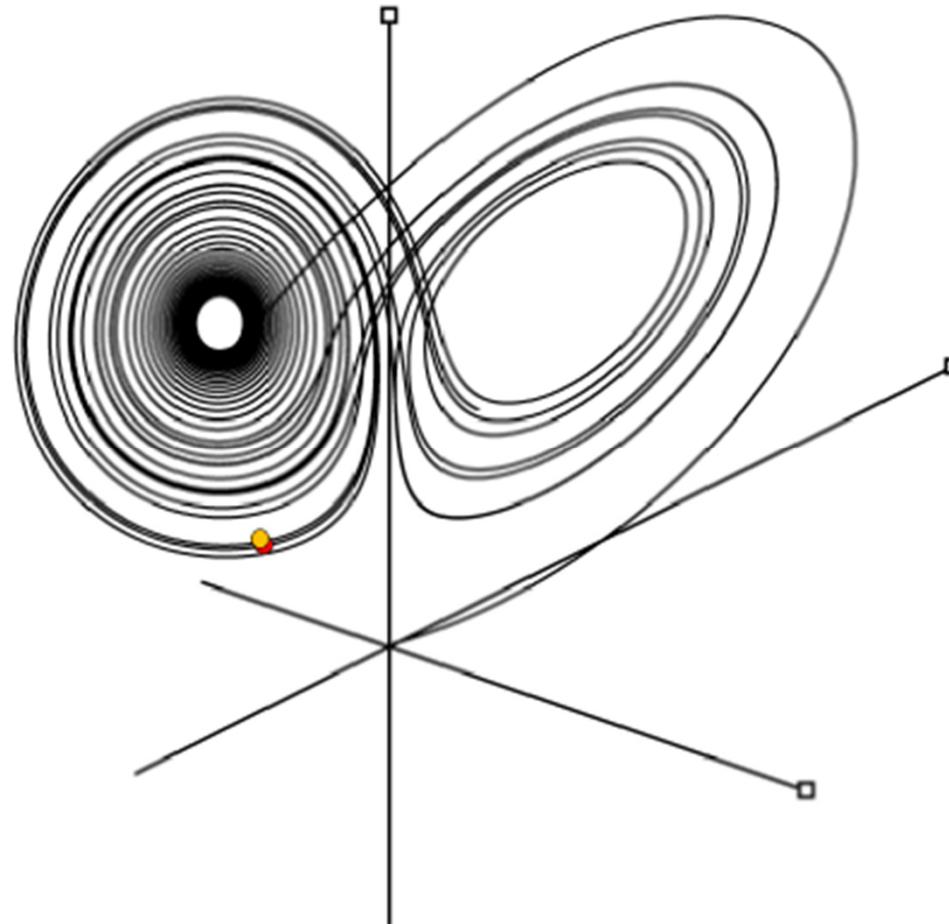
3-Körperproblem

Julien Henri Poincaré

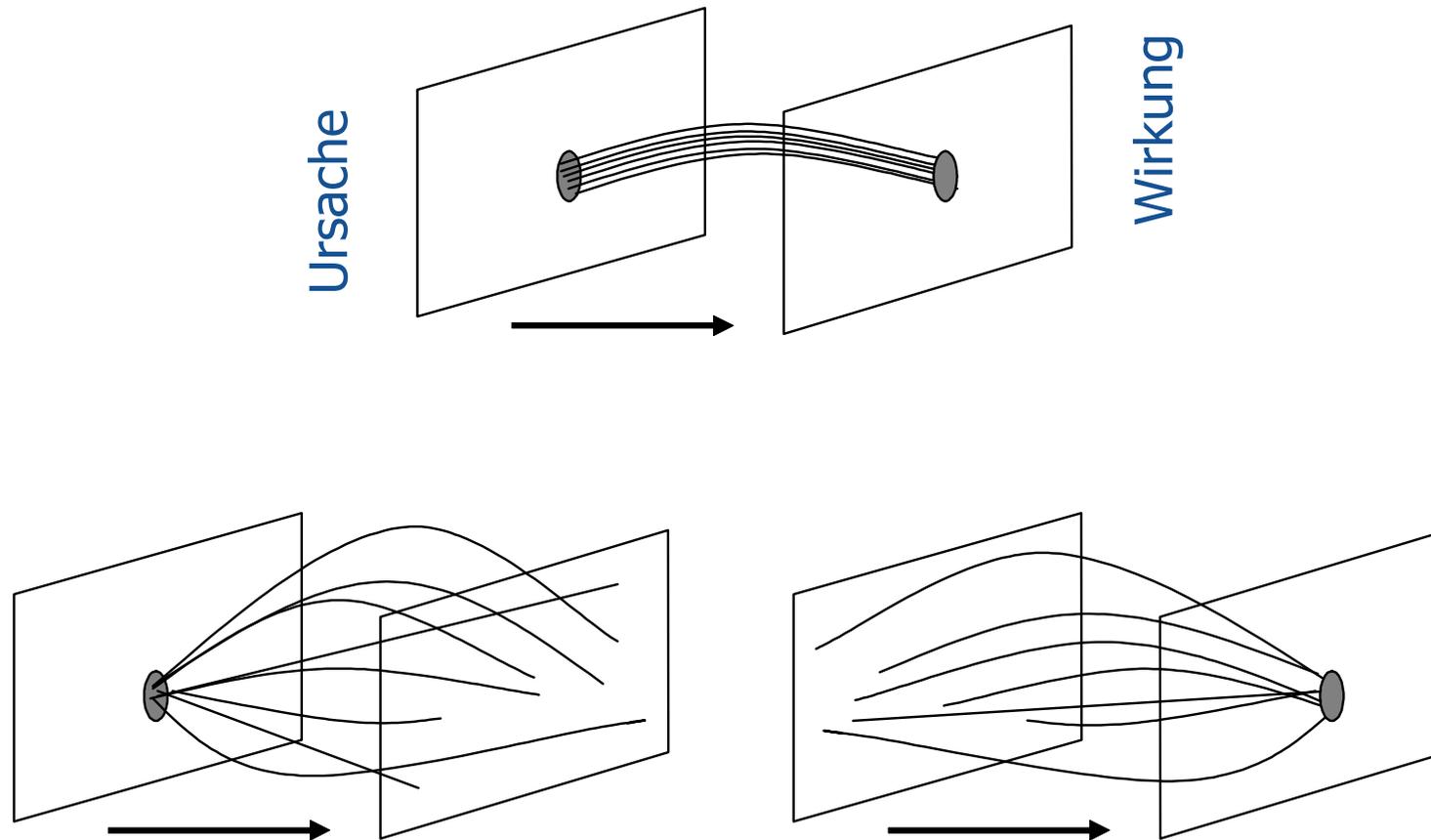
# Edward Lorenz und das Wetter



# Schmetterlingseffekt (Wetter vor 8)



# Verletzungen der starken Kausalität durch Chaos



## Der Dämon des Pierre Simon de Laplace

Pierre Simon de Laplace  
(1749 bis 1827)

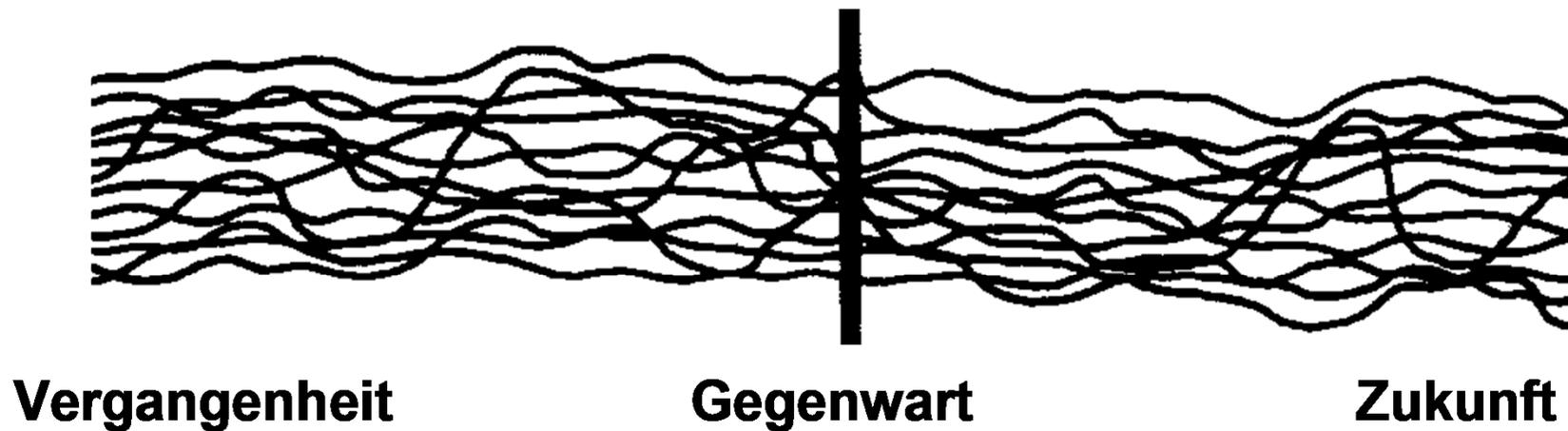


Die gegenwärtigen Ereignisse sind mit den vorangehenden durch das evidente Prinzip verknüpft, dass kein Ding ohne erzeugende Ursache entstehen kann. Dieses Axiom, bekannt unter dem Namen des ‚Prinzips vom zureichenden Grunde‘, erstreckt sich auch auf die Handlungen, die man für gleichgültig hält. Der freieste Wille kann sie nicht ohne ein bestimmendes Motiv hervorbringen; denn wenn er unter vollkommen ähnlichen Umständen das eine Mal handelte und das andere Mal sich der Handlung enthielte, dann wäre seine Wahl eine Wirkung ohne Ursache: sie wäre dann, wie Leibniz sagt, der

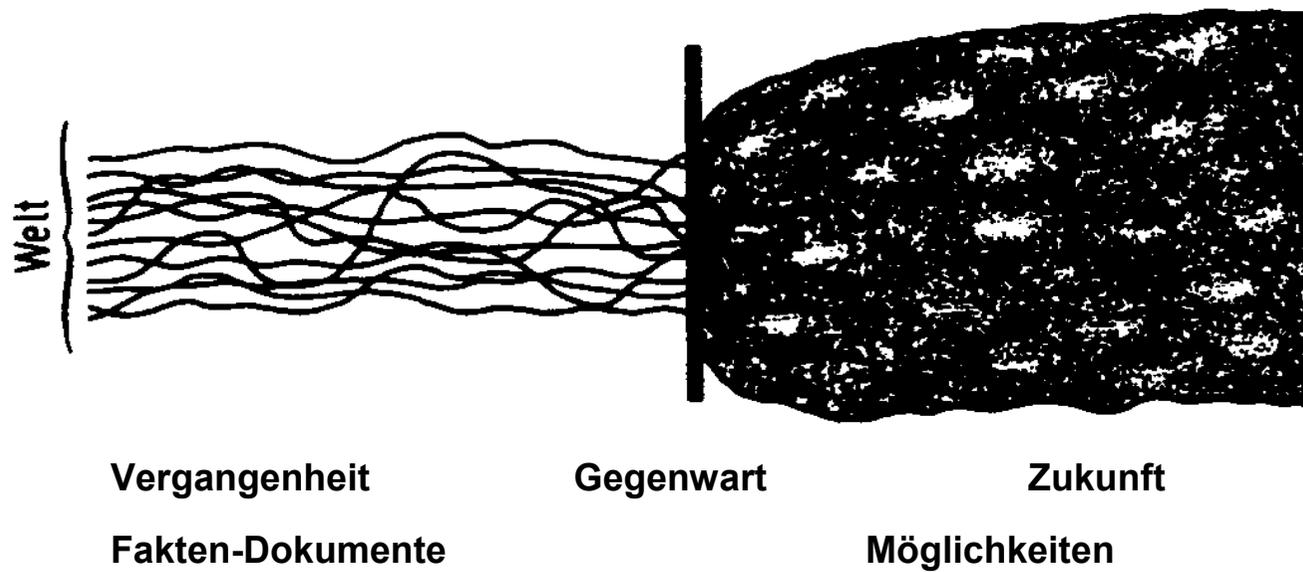
**Eine Intelligenz, welche für den gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräfte sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kannte, und überdies umfassend genug wäre, um diese gegebenen Größen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten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

**(de Laplace 1996/1814, S. 1f.)**

# Zukunft nach Laplace steht bereits fest



# Zukunft aus Sicht der Chaosforschung ist offen



## Voraussetzungen für Chaos

- Feedback (**Nichtlinearität**)
- Gemischtes Feedback (positiv und negativ)
- Mindestens 3 interagierende Variablen (Verhulst ist eine seltene Ausnahmen)
- Mindestens eine Wechselwirkungsbeziehung ist nichtlinear (**Nichtlinearität**)
- Genügend hoher Energiedurchfluss (energetisch geschlossene Systeme zeigen immer nur Fixpunktverhalten) (**Dissipation**)
- Vorsicht: auch ein chaosfähiges System ist nicht immer und in jedem Fall chaotisch

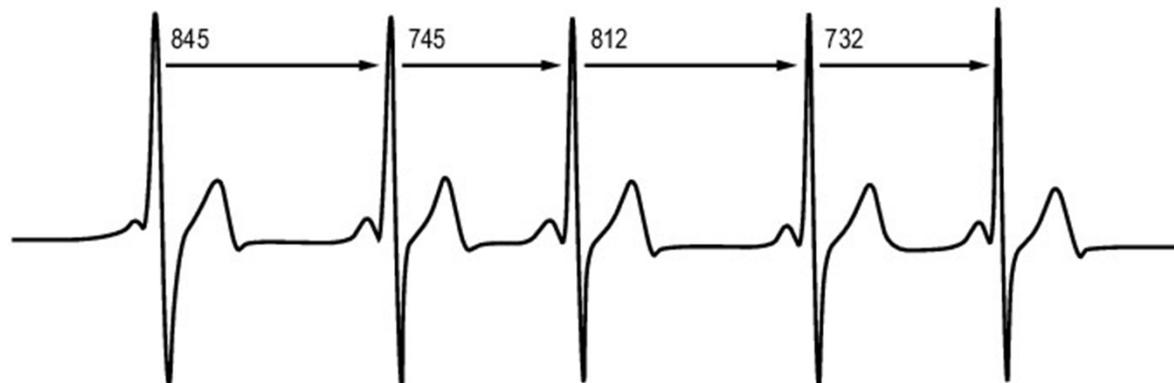
## Checkliste für das Chaos

- Liegen Feedbackprozesse vor?
- Gibt es verstärkendes und hemmendes Feedback?
- Sind mehr als 2 Variablen beteiligt?
- Wird das System mit Energie versorgt?
- Gibt es nichtlineare Beziehungen zwischen den Variablen?



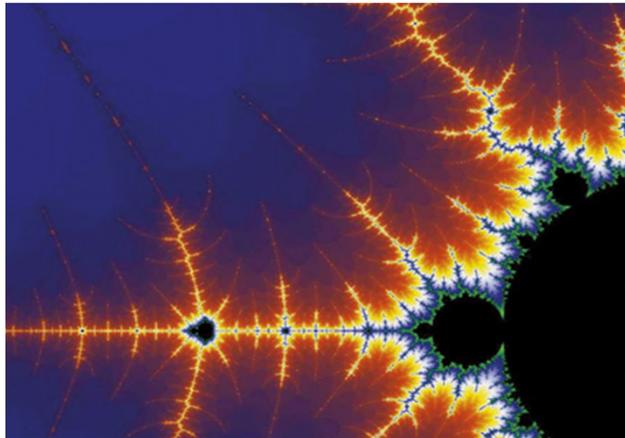
# Herzratenvariabilität

- Liegen Feedbackprozesse vor?
- Gibt es verstärkendes und hemmendes Feedback?
- Sind mehr als 2 Variablen beteiligt?
- Wird das System mit Energie versorgt?
- Gibt es nichtlineare Beziehungen zwischen den Variablen?



## Bedeutung von Chaos

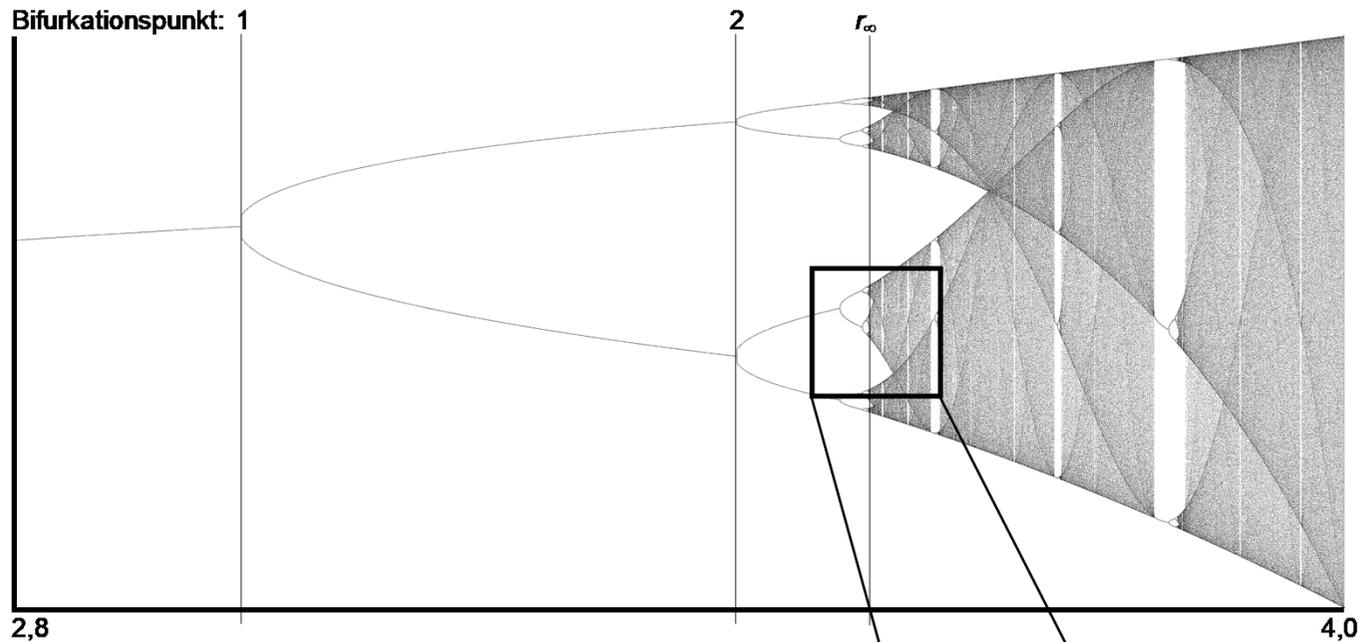
- Selbstorganisation: Ausbildung komplexer Ordnung
- Chaos bedeutet die gigantische Verstärkung kleinster Unterschiede (inputsensibel)
- Chaos ist flexibel und damit „lernfähig“
- Beim Menschen bedeutet Chaotizität häufig körperliche und geistige „Gesundheit“
- Bei technischen Geräten stört häufig die fehlende Prognostizierbarkeit
- Chaotische Systeme sind nicht-triviale Maschinen
- Chaos verletzt die Kausalität



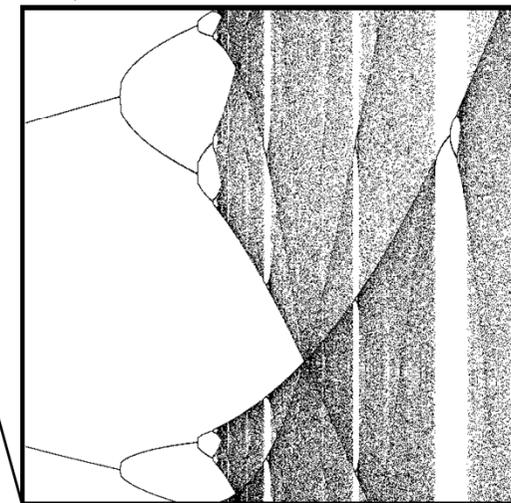
## Phasenübergang und Bifurkation



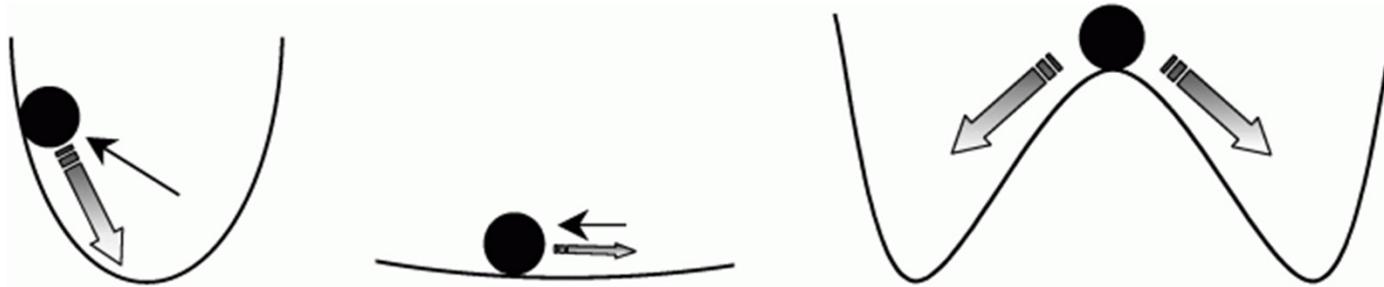
# Feigenbaum-Szenario

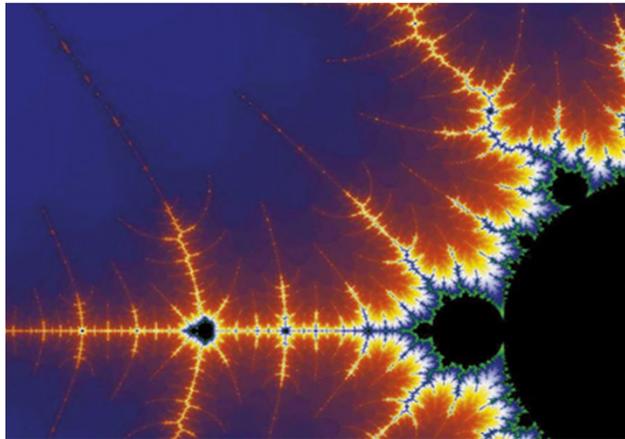


- $r < 1$ : Aussterben
- $1 < r < 3$ : Homöostase, Regelkreisverhalten
- $3 < r < 3,449490\dots$ : zyklisch mit Periode 2
- $3,449490\dots < r < 3,544090\dots$ : zyklisch mit Periode 4
- $3,544090\dots < r < 3,568759\dots$ : zyklisch mit Periode 8
- ... zyklisch mit Periode 16
- ... zyklisch mit Periode 32
- ... zyklisch mit Periode 64
- $r > 3,569946\dots$  Periode  $\infty$  (aperiodisch)



# Phasenübergang

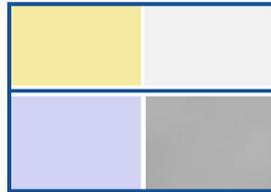




# Synergetik und die „anderen“ Systemtheorien

Priv.-Doz. Dr. Dr. Guido Strunk

# Inhalte



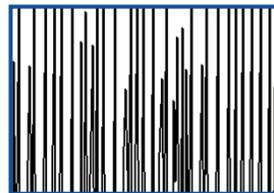
Ein Rahmen zur Einordnung von Systemtheorien und ...



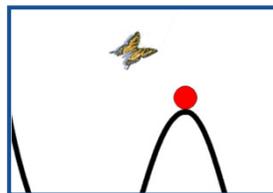
der mathematischen Systemtheorie, die ...



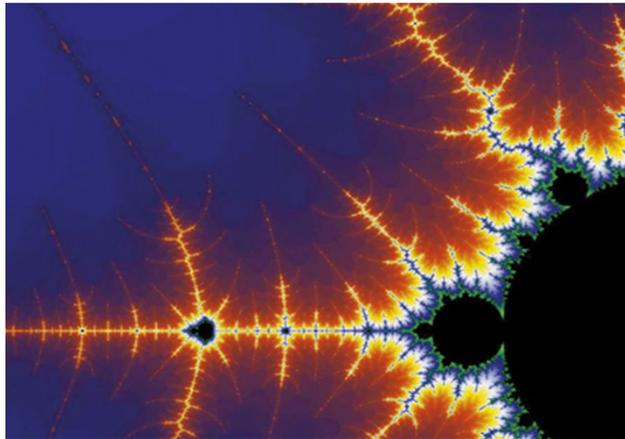
Selbstorganisation und ...



Chaos zum Thema hat und ...

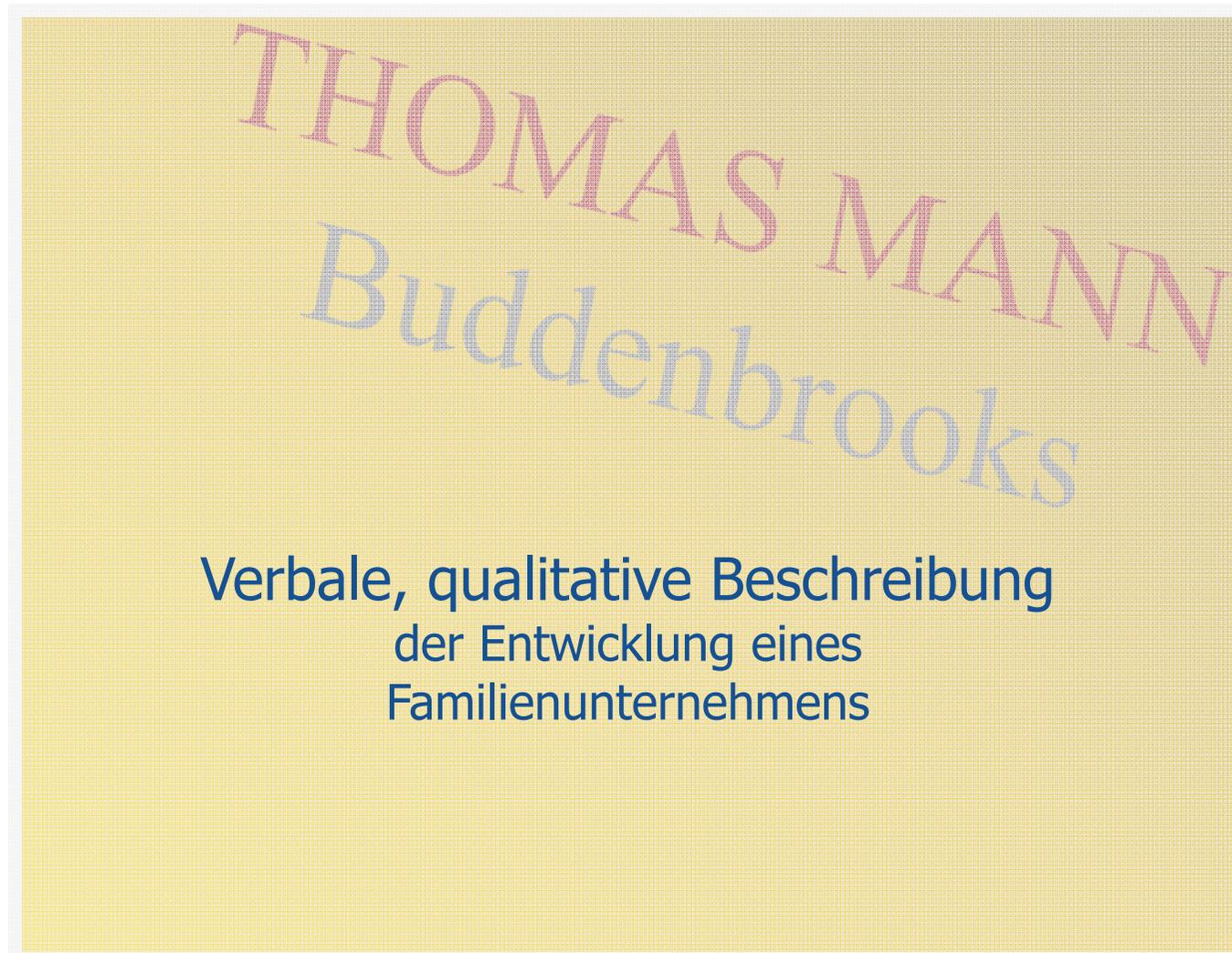


ein Modell für ein Beratungskonzept nahe legt.



## Ein Rahmen ...

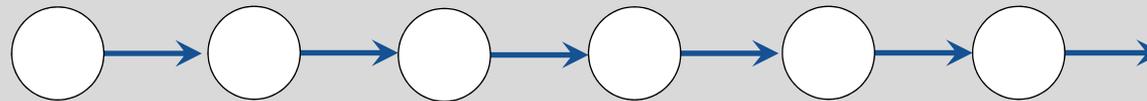
Versuch einer groben Orientierung



## Tony und Herr Permaneder

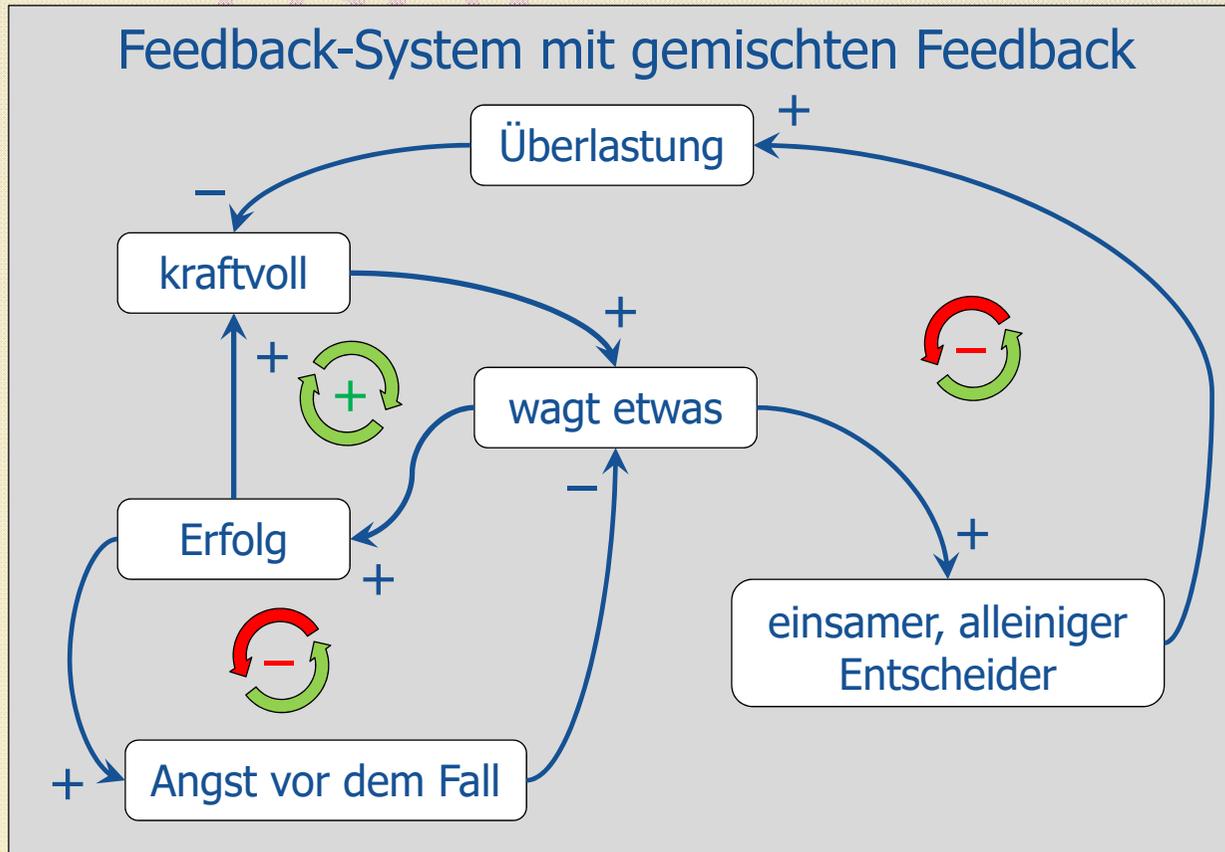
THOMAS MANN  
Budd...

### Lineale Systemstruktur



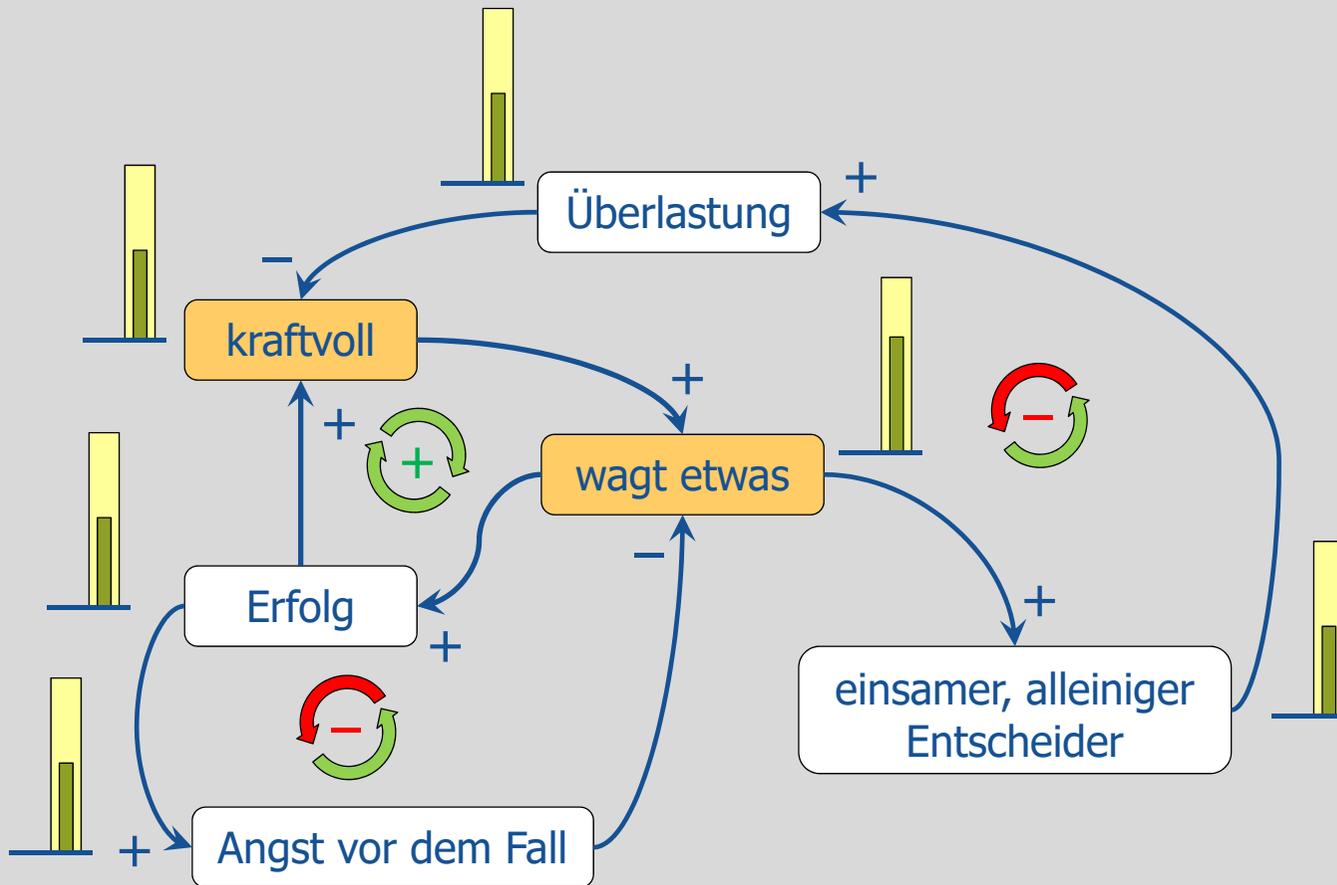
# Thomas Buddenbrook

## Feedback-System mit gemischten Feedback

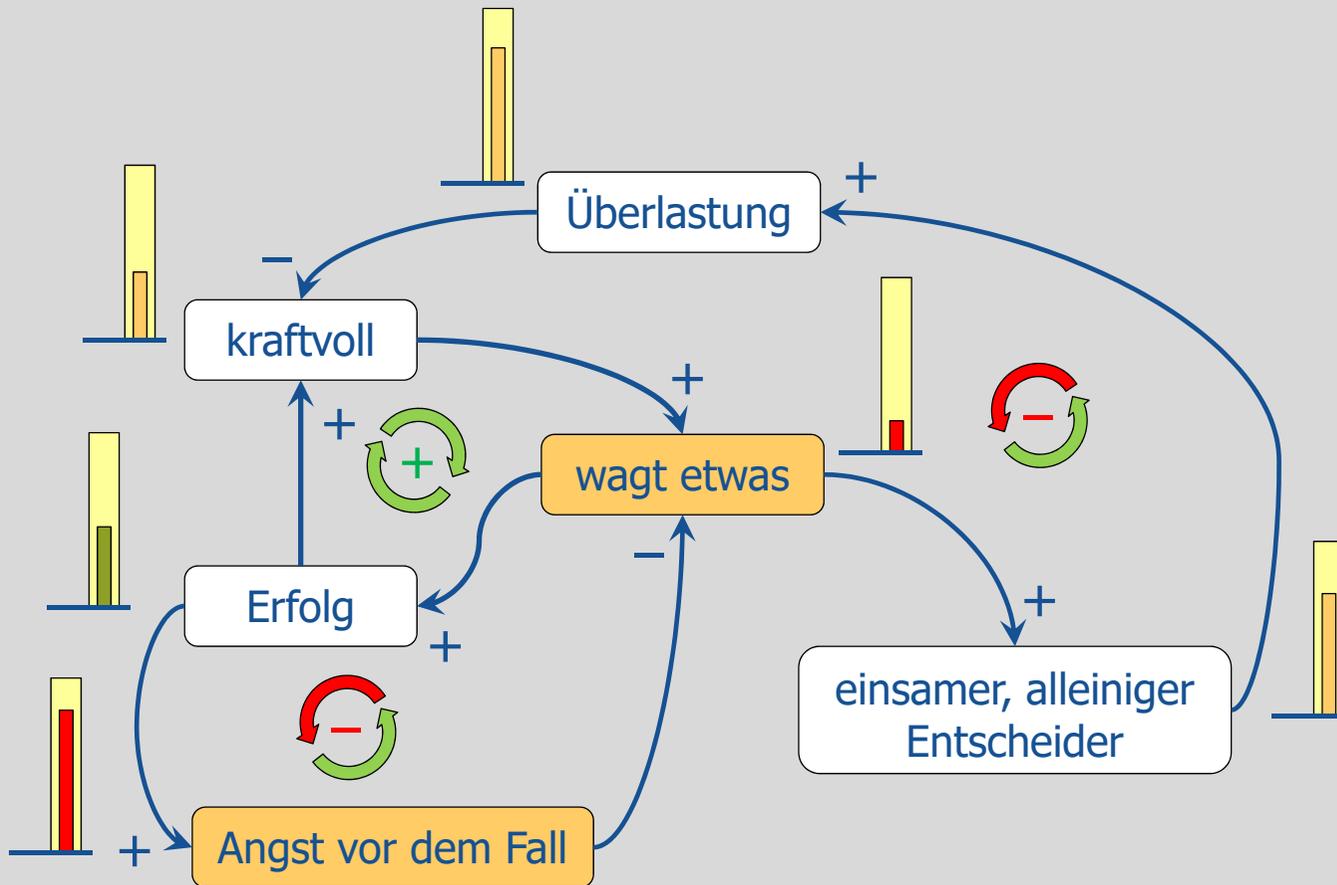




## Kybernetische Simulation



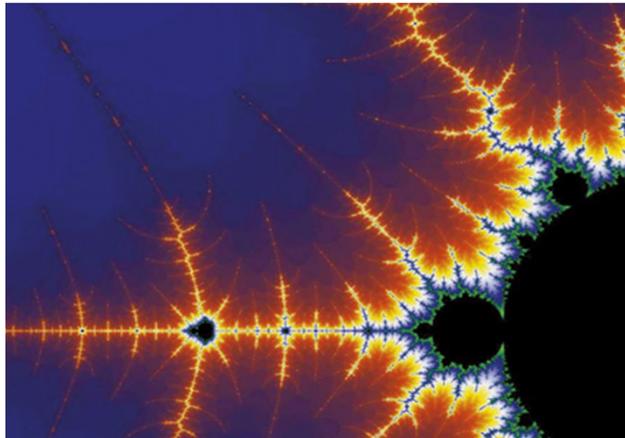
## Kybernetische Simulation



THOMAS MANN  
Buddenbrooks

**Mathematische Formalisierung,  
quantitative Beschreibung der  
Entwicklung eines Familienunternehmens**

	Qualitativ	Quantitativ
Erkenntnisoptimistisch	<p>Verbale, qualitative Systembeschreibung</p> <p>Die „Geschichte“ eines Systems kann verstanden werden.</p> <p>Z.B. Firmengeschichte als Abfolge von Ereignissen.</p>	<p>Kybernetik</p> <p>Systeme sind plan- und steuerbar, wenn ihre Wechselwirkungsbeziehungen (mathematisch) vollständig verstanden sind.</p> <p>Z.B. Konzeption von Wirtschaftsprozessen durch Regelkreise.</p>
Komplexitätsorientiert	<p>Kybernetik 2. Ordnung</p> <p>Alles was über die Welt gesagt wird, wird von Beobachtern gesagt (Maturana).</p> <p>Z.B. Systemische Management- und Beratungspraxis.</p>	



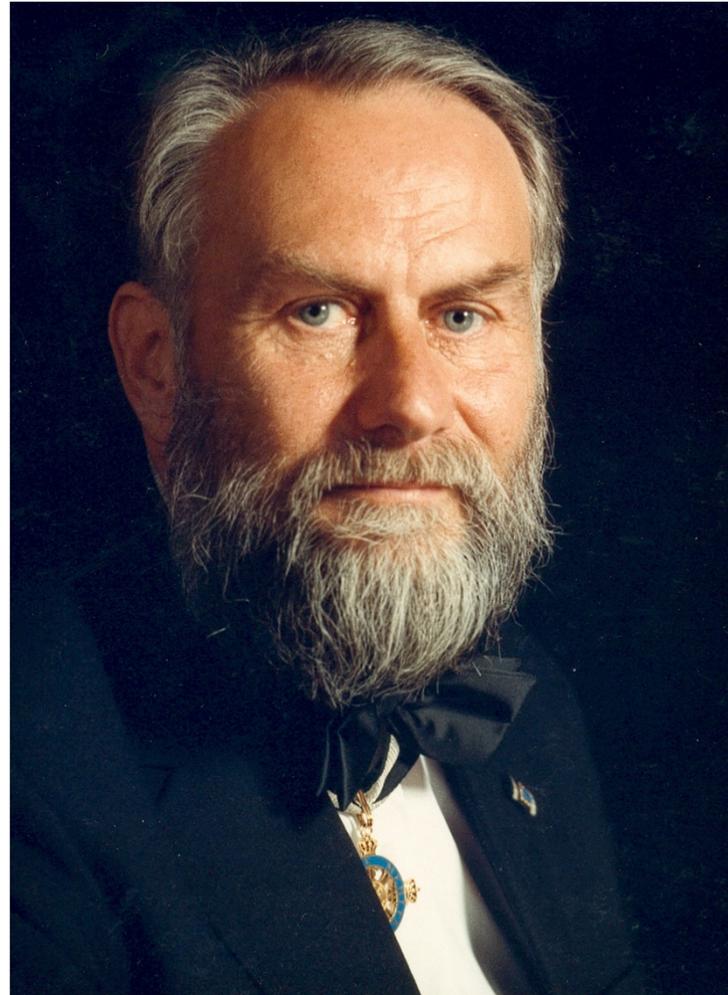
## Selbstorganisation

Wie ein System entsteht

# Wie entsteht Ordnung?



**Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Hermann Haken**  
**Institut für Theoretische Physik und Synergetik**  
**Universität Stuttgart**



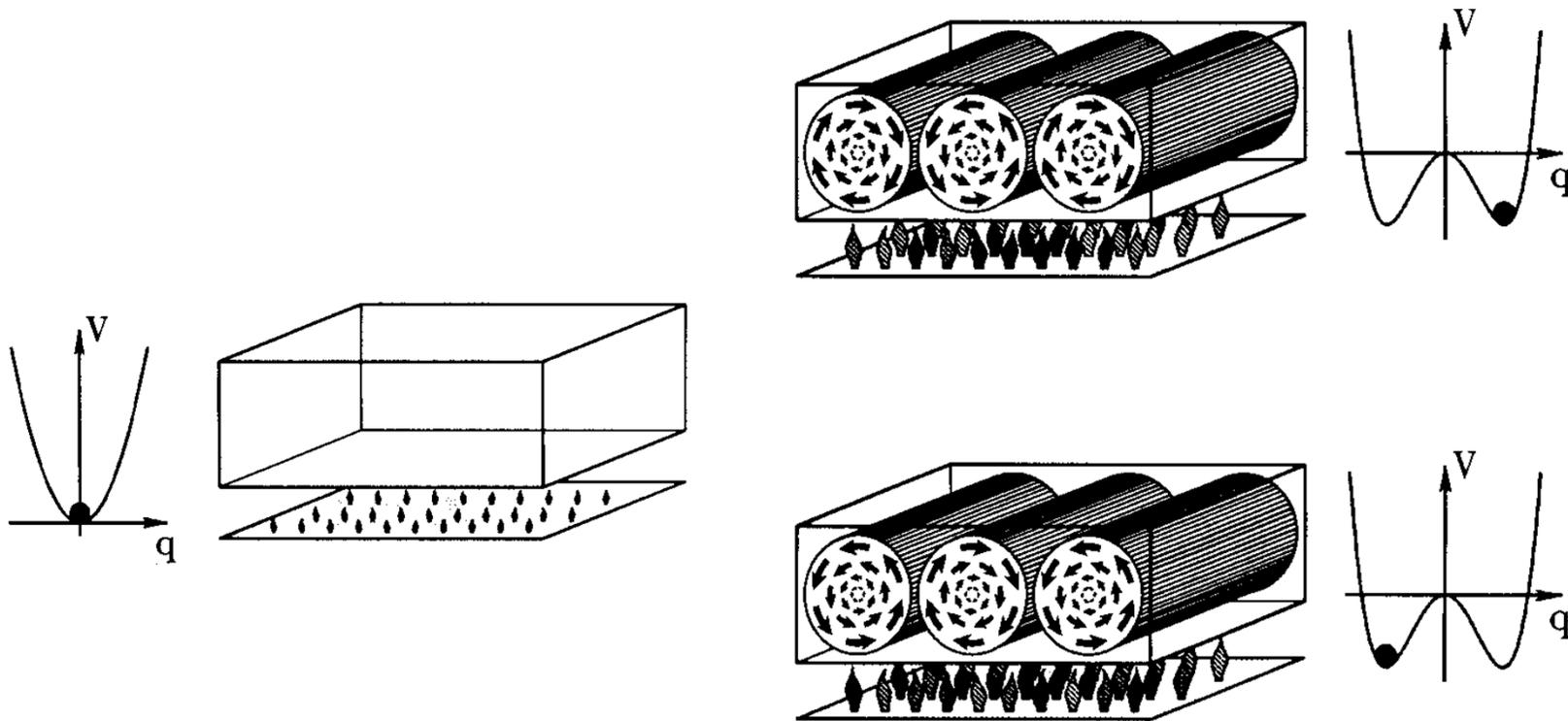
# Synergetik als Modell für Vielteilchen-Systeme



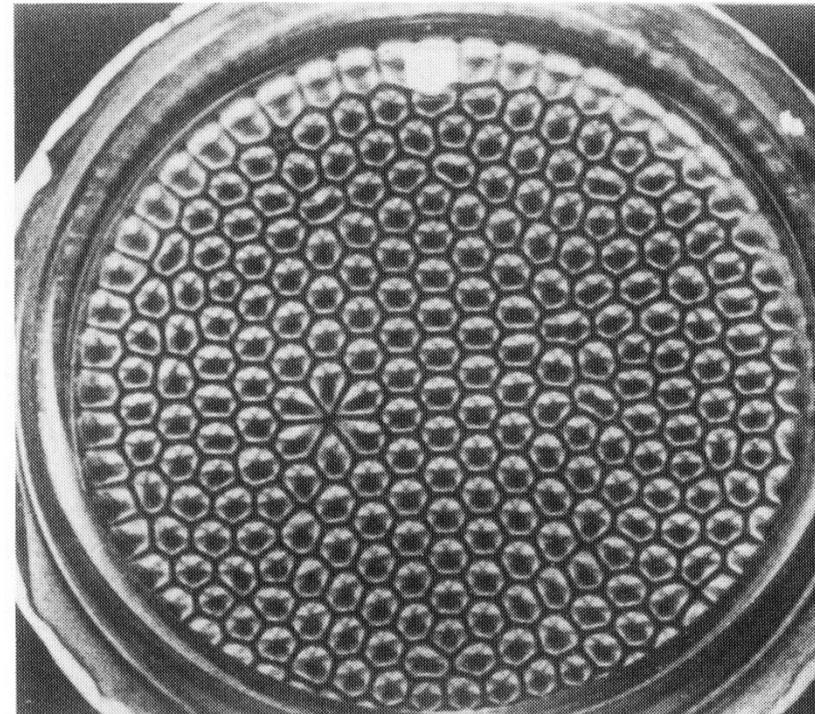
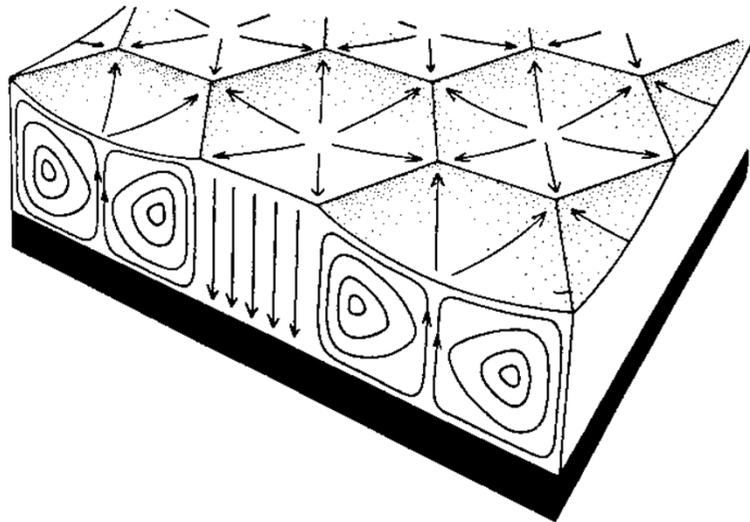
# Synergetik als Modell für Vielteilchen-Systeme



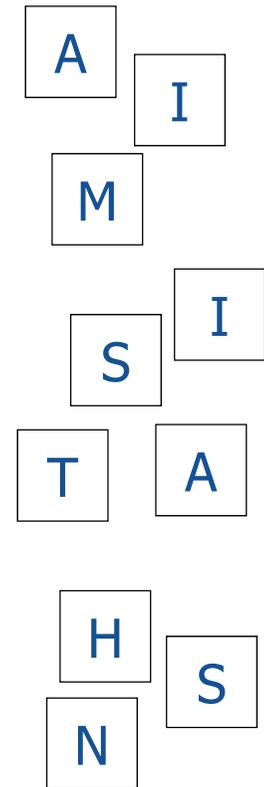
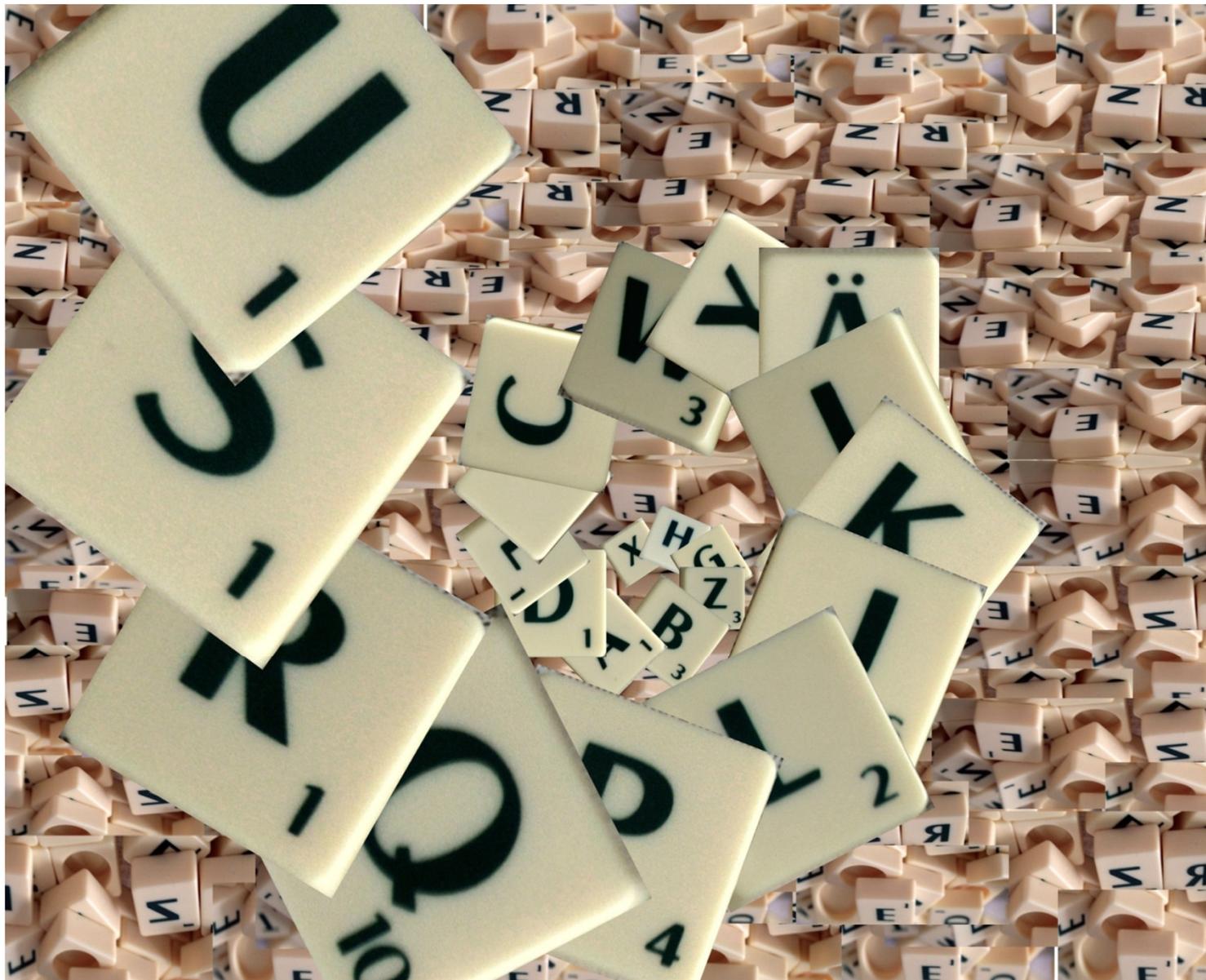
# Rayleigh-Bénard-Instabilität



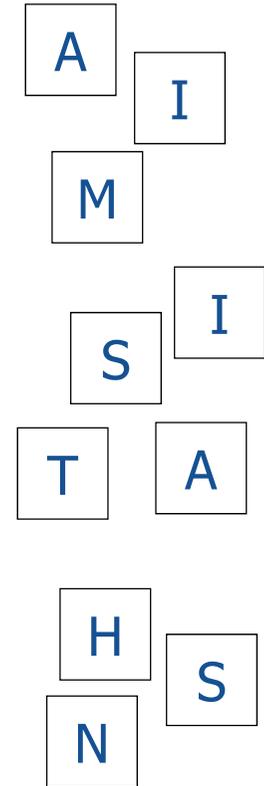
# Hexagonales Muster der Rayleigh-Bénard-Instabilität



# Selbstorganisation



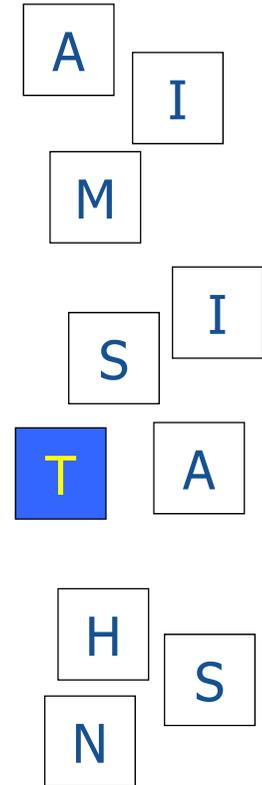
# Selbstorganisation



---

3.628.800 mögliche Reihenfolgen

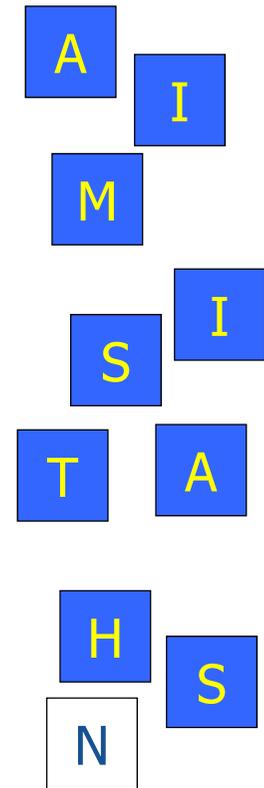
# Selbstorganisation



T

362.880 mögliche Reihenfolgen

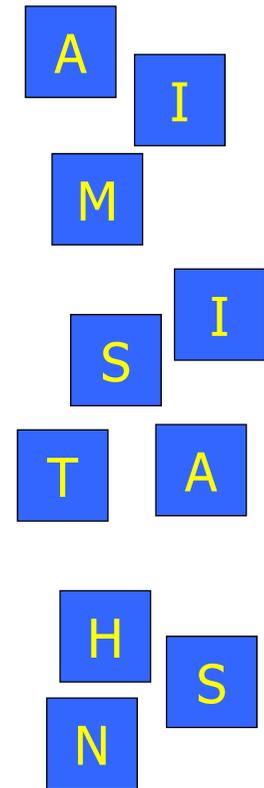
# Selbstorganisation



T H I S I S A M A

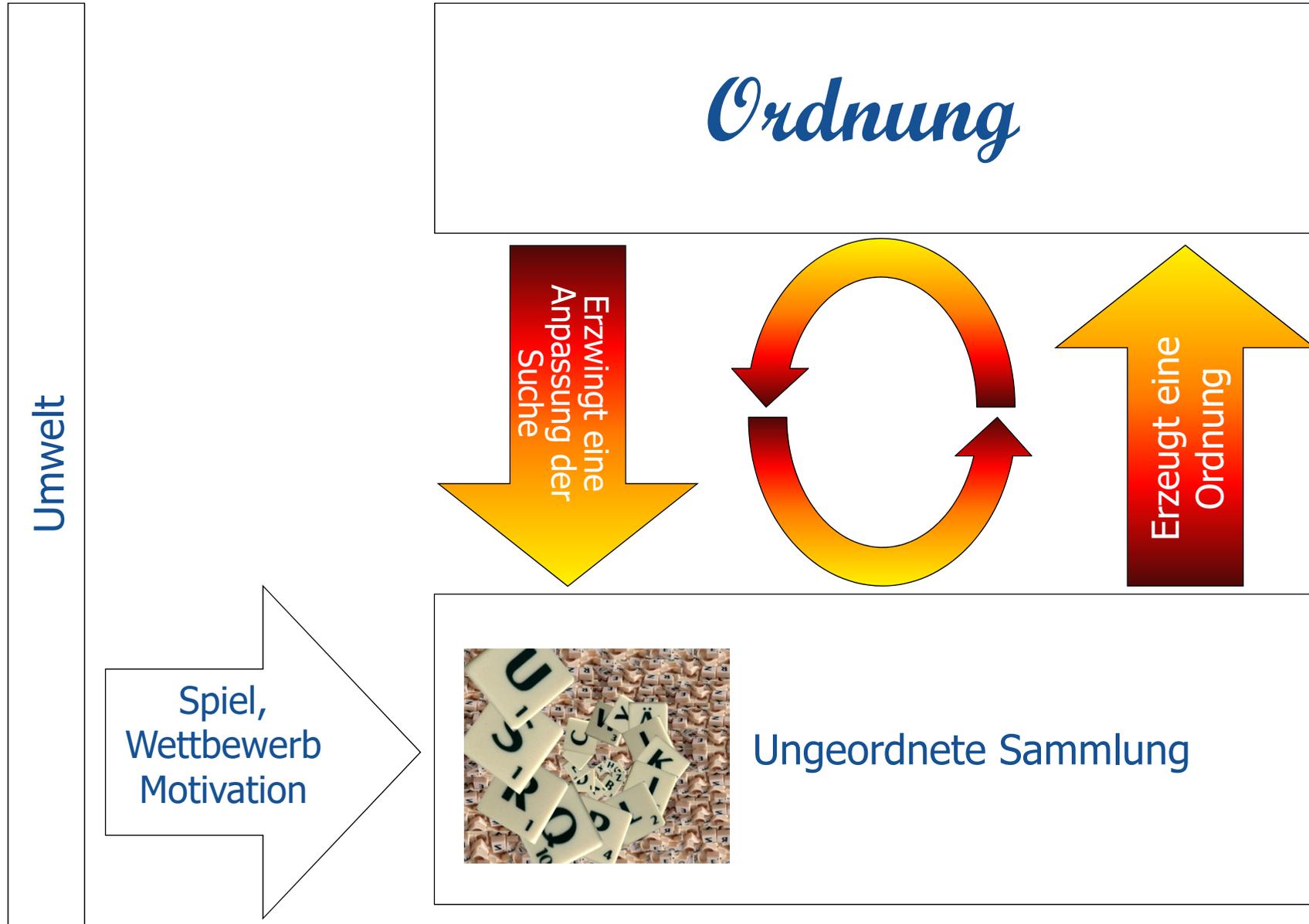
1 mögliche Reihenfolge

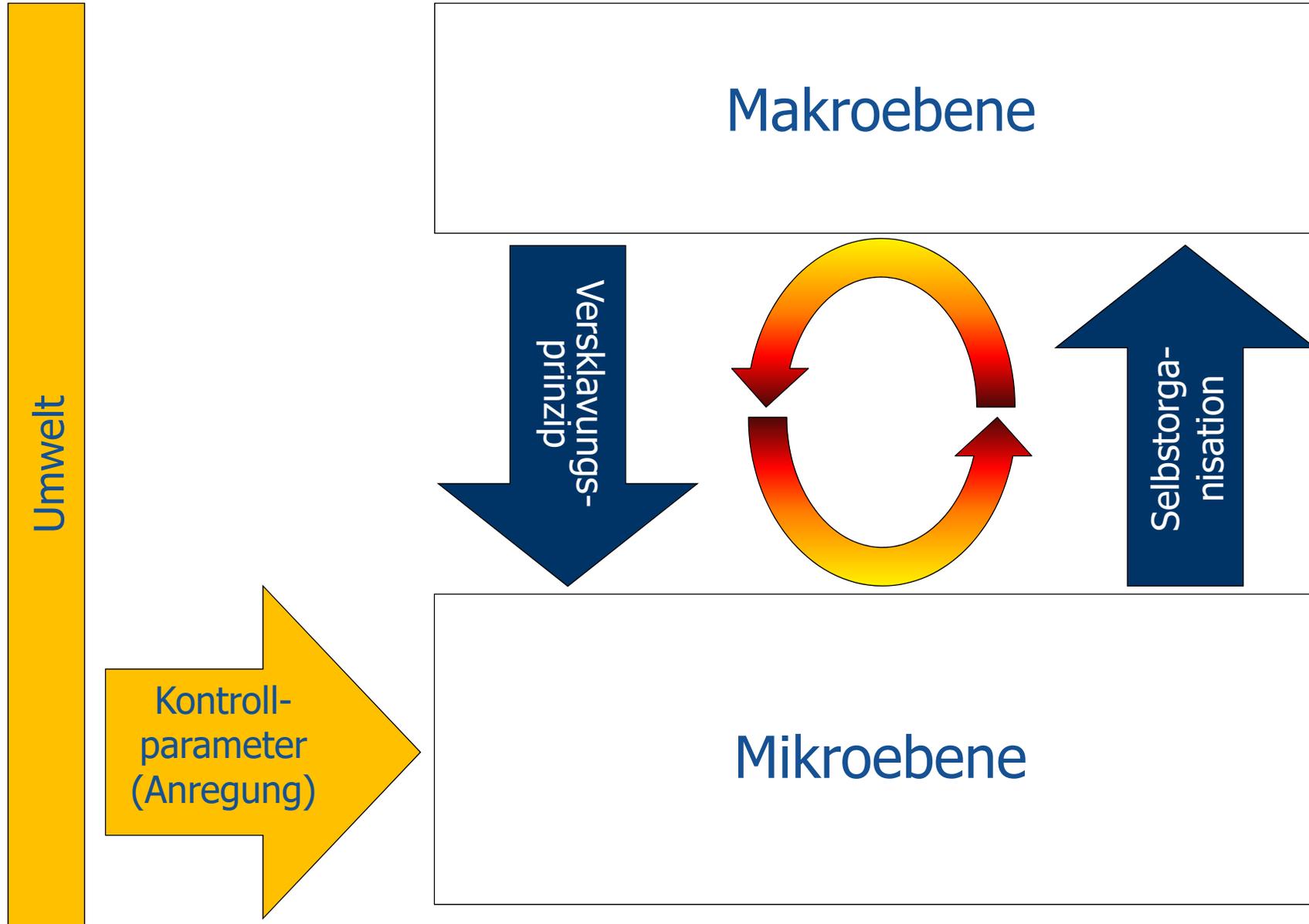
# Selbstorganisation



T H I S I S A M A N

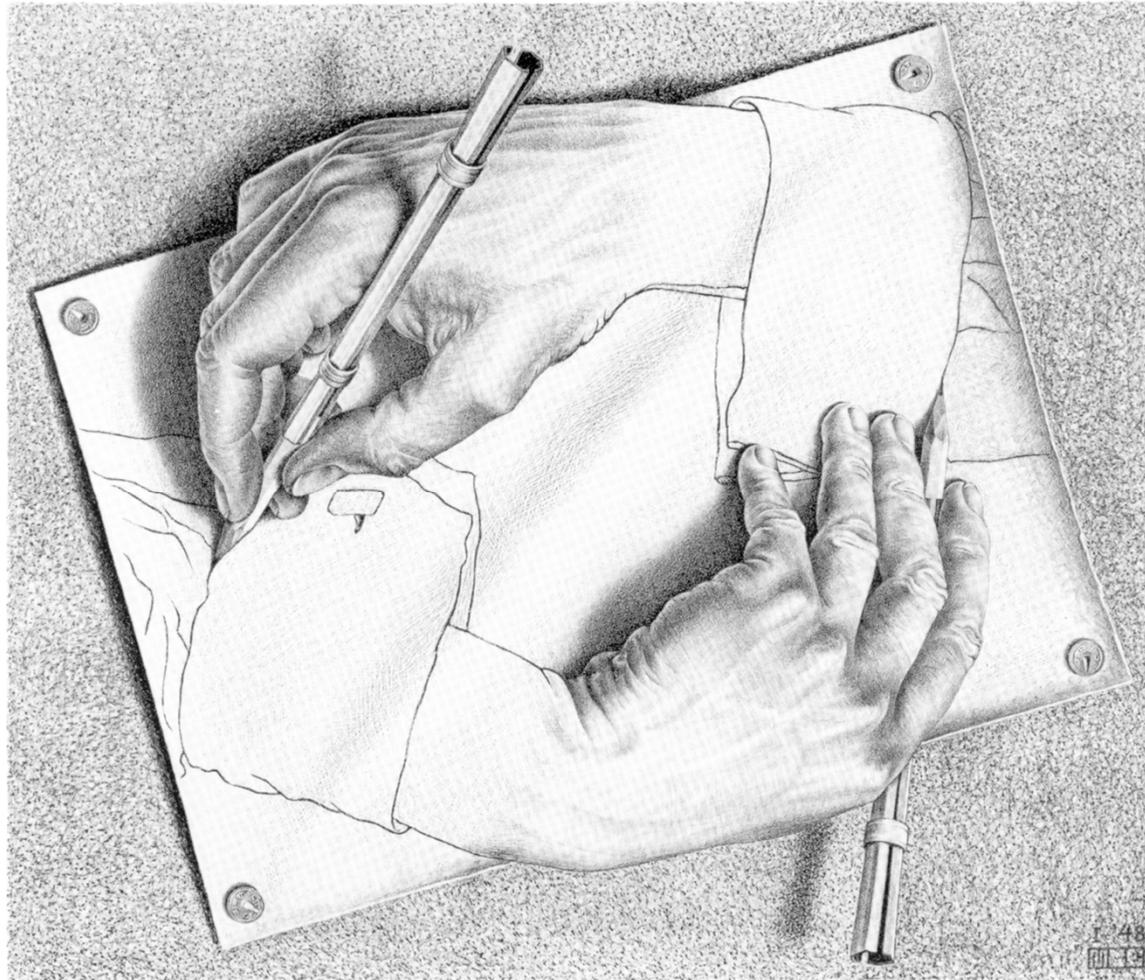
0 mögliche Reihenfolgen





# Maurits Cornelis Escher (1898-1972)

## Zeichnen (1948)



## Selbstorganisation bedeutet Immunität gegen Verstörung

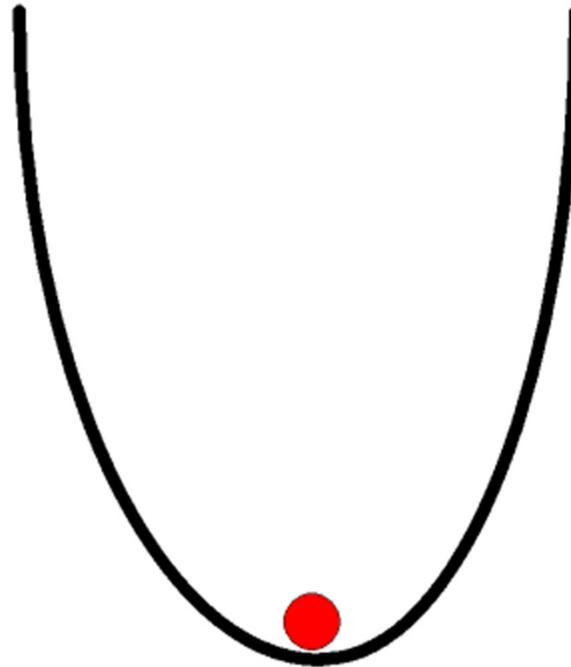
- Aufgrund einer Suite an einer Elingshchen Unvirestität ist es egal, in welcher Reihenfolge die Bausteine in einem Wort stehen, das einzig wichtige dabei ist, dass der erste und letzte Baustein am richtigen Platz sind. Der Rest kann totaler Bölsdinn sein, und du krasst es trotzdem ohne Probleme lesen. Das geht deshalb, weil wir nicht Bausteine für Bausteine einzeln lesen, sondern Wörter als Ganzes.

# Selbstorganisation bedeutet Ordnungsbildung



z.B. Unternehmensgründung führt  
zum personenzentrierten  
Entscheidungsprinzip

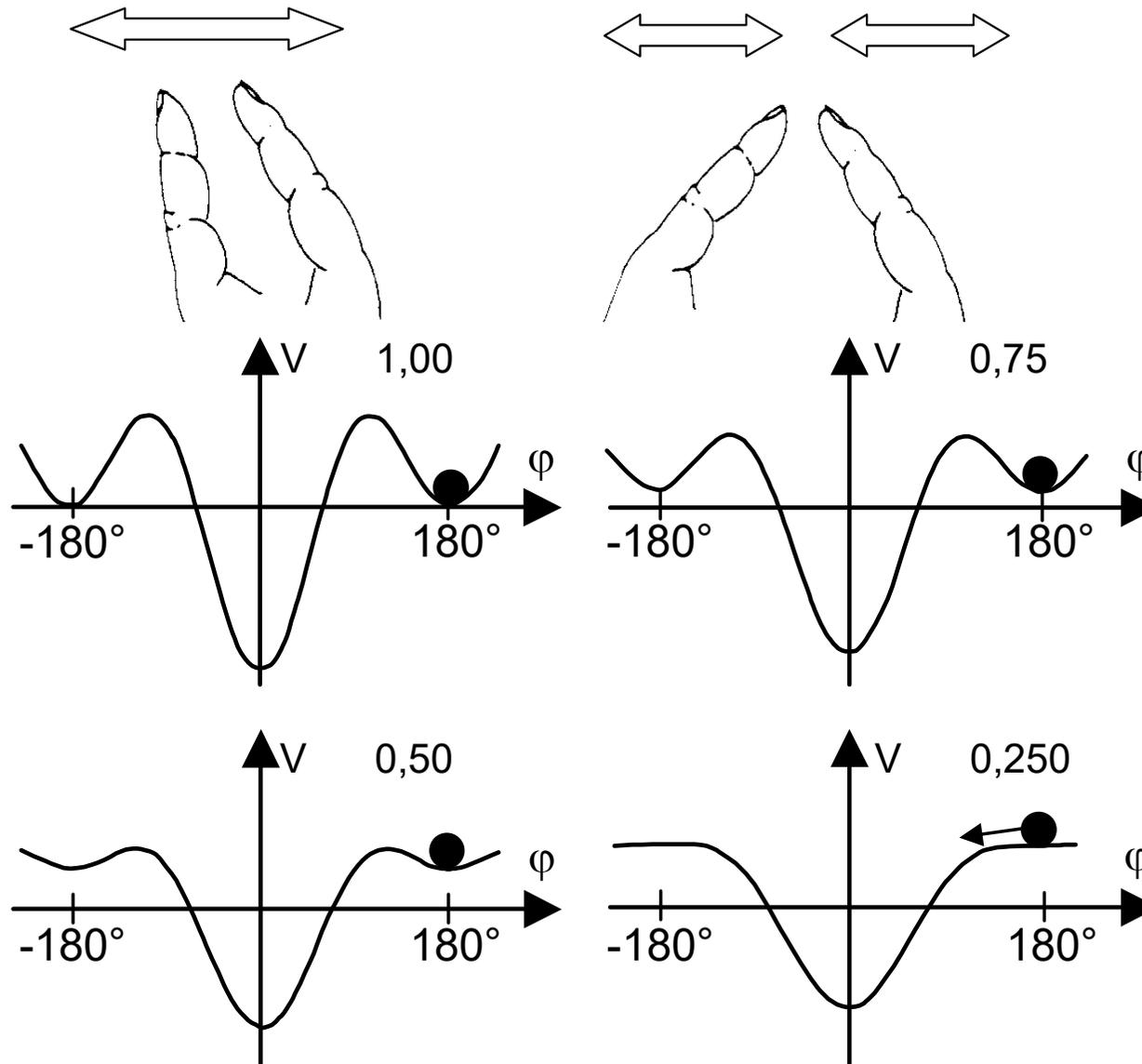
# Selbstorganisation bedeutet Immunität gegen Verstörung



z.B. Unternehmensgründung führt  
zum personenzentrierten  
Entscheidungsprinzip

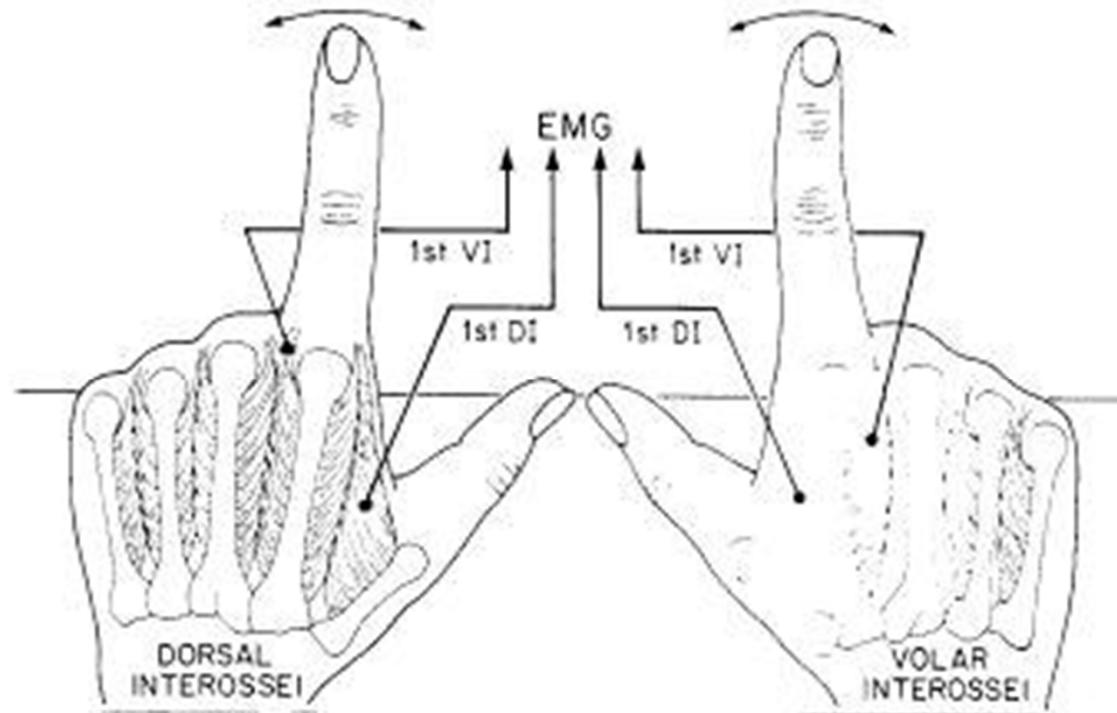
# Motorischer Ordnungsübergang mit Hysterese

## Das Haken-Kelso-Bunz-Modell



# Motorischer Ordnungsübergang mit Hysterese

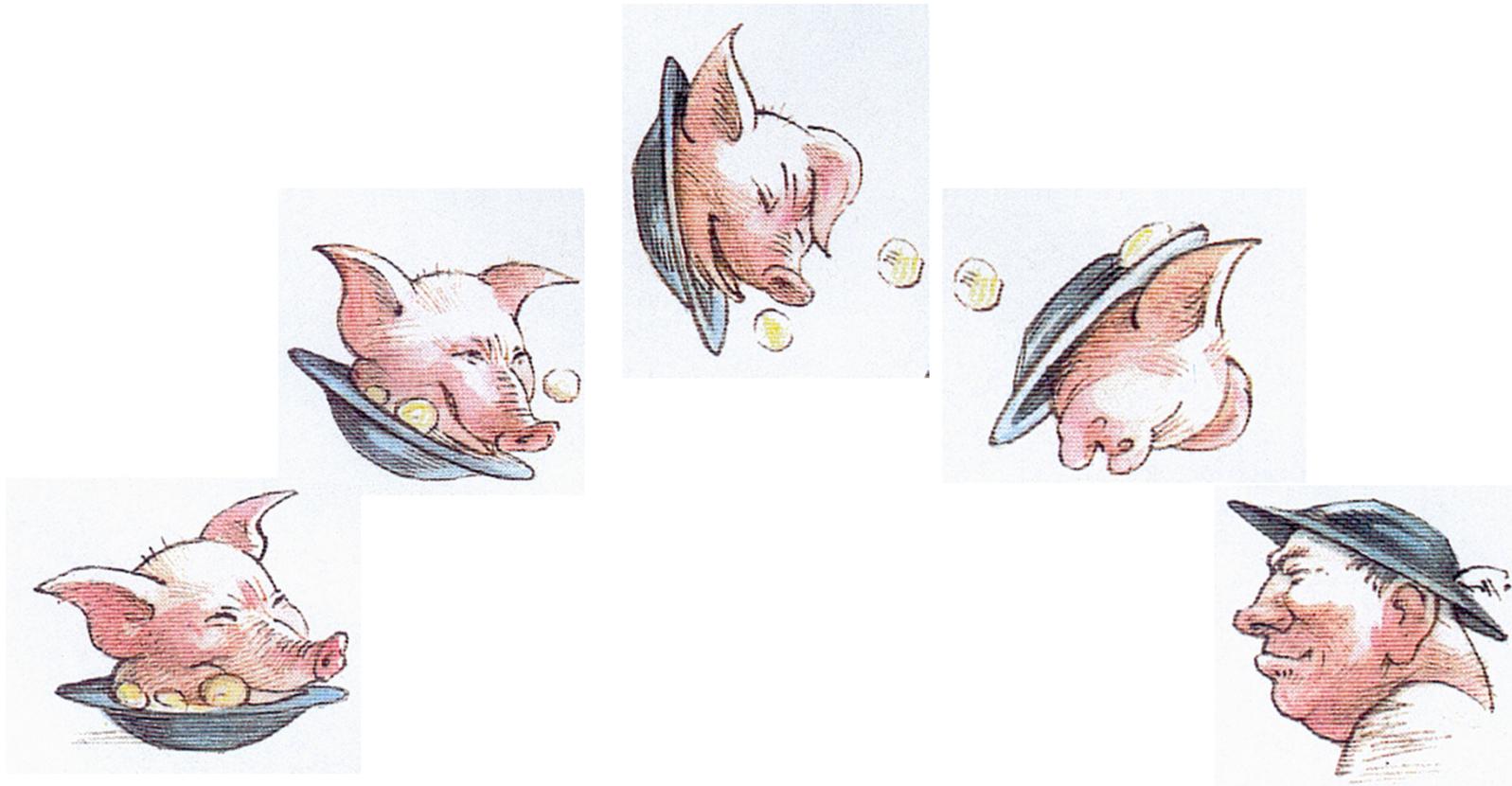
## Das Haken-Kelso-Bunz-Modell



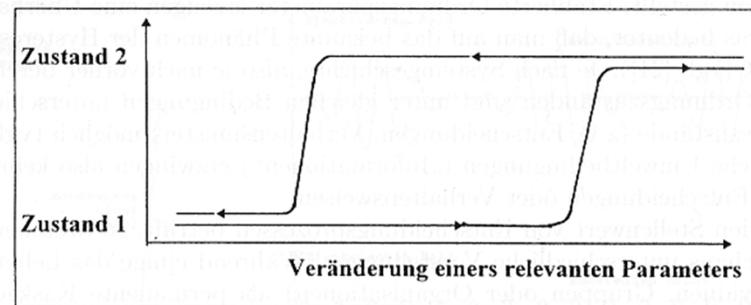
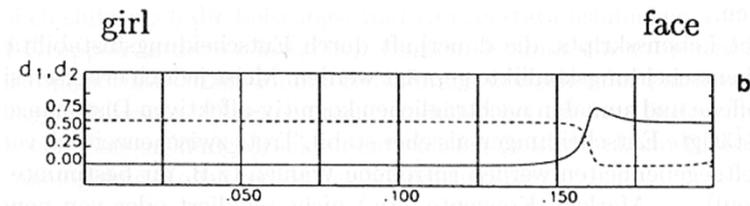
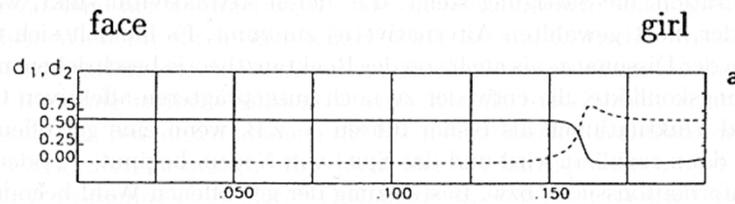
## Merkmale von Phasenübergängen

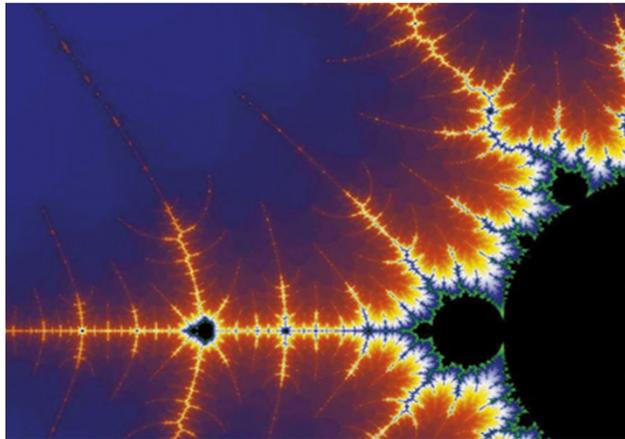
- Kritisches Langsamerwerden.
- Kritische Fluktuationen.
- Komplexitätszunahme im Bifurkationspunkt, also im Moment des Phasenübergangs.
- Den Moment der Veränderung zu kennen ist wichtig für die Begleitung von Veränderungsprozessen.
- Durch die Messung der Komplexität von Prozessen kann eine bevorstehende Veränderung festgestellt werden (z.B. Frühwarnsystem).

# Ordnungsübergang auf Bayrisch



# Hysterese – Überhangstabilität





## **Versuchsaufbau ökonomisches Entscheidungsszenario**



# Ökonomische Szenarien zur empirischen Messung Kognitiver Aktivierung

Szenario	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Angebot	6	6	6	5	4	3	2	1
Nachfrage	0	0	0	1	2	3	4	5

Symmetrieachse

Symmetrieachse

9. Szenario  
0 Angebot  
6 Nachfrage

Szenario	15.	14.	13.	12.	11.	10.
Angebot	6	5	4	3	2	1
Nachfrage	0	1	2	3	4	5

Angebot ist knapp aber Nachfrage geht zurück

# Ökonomische Szenarien zur empirischen Messung Kognitiver Aktivierung

Weil sich die Geflügelbestände durch die vergangene Vogelgrippe derart dramatisch reduzierten, will die Bundesregierung vorbeugen: Durch mehr Kontrollen und Mindestgrößen für Käfige soll die Hygienesituation in der Geflügelzucht verbessert werden. Eine differenziertere Herkunftsbezeichnung soll dem Verbraucher helfen, den Kauf von Geflügelfleisch aus Betrieben, in denen die kürzlich verbotene Stopfmast betrieben wird, zu vermeiden. Der Bundesverband der Geflügelzüchter beklagte den ohnehin schon großen Kostendruck.

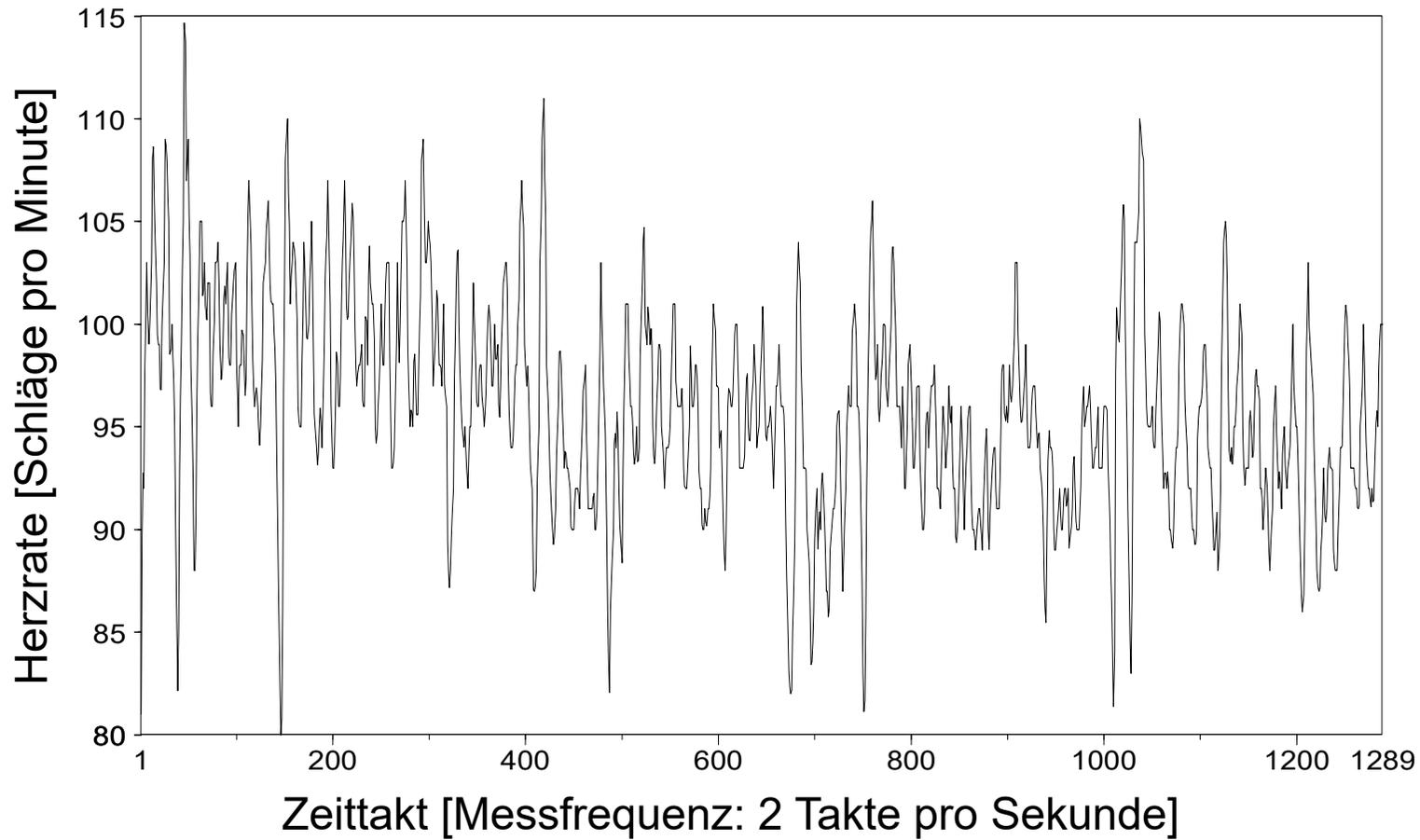
- Angebotsinformation
- Nachfrageinformation

# Ökonomische Szenarien zur empirischen Messung Kognitiver Aktivierung

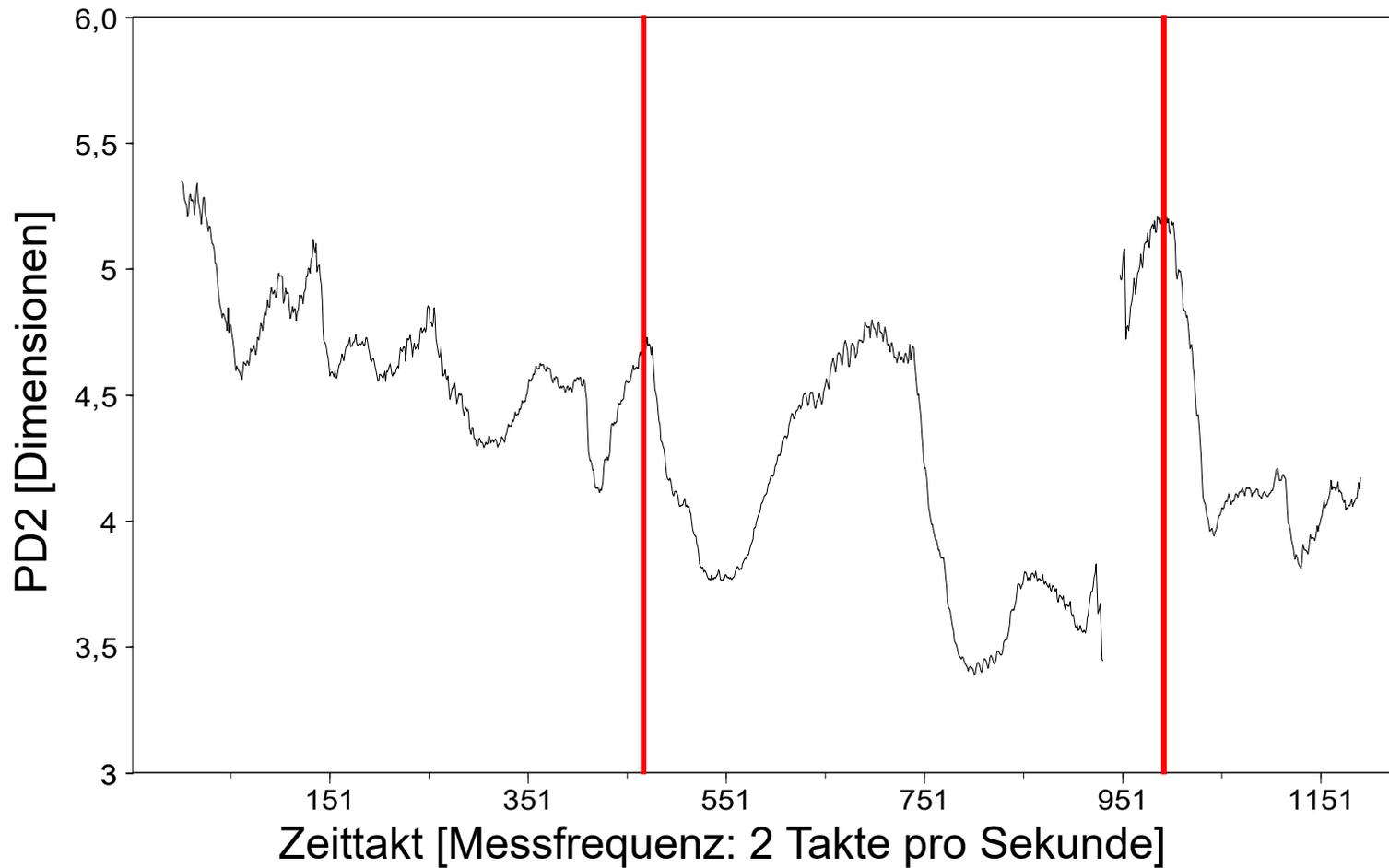
Einer im Zuge des aufkommenden Fitnesswahns in Auftrag gegebenen Studie zufolge sei der Genuss von Geflügelfleisch ungesünder als bisher angenommen. Aus Tierschutzgründen verbot die Bundesregierung kürzlich die Stopfmast. Zudem soll durch Mindestgrößen für Käfige und häufigere Kontrollen die Hygienesituation in der Geflügelzucht verbessert werden. Zuletzt machten Berichte Schlagzeilen, die den Geflügelzüchtern Antibiotikamissbrauch vorwarfen.

- Angebotsinformation
- Nachfrageinformation

# Erhebung biophysischer Messwerte - Herzrate



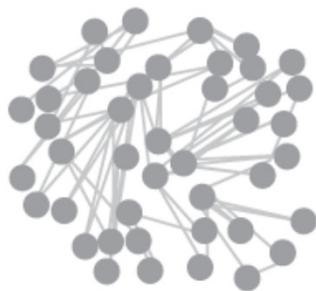
# Komplexitätsberechnung der Herzrate eines Probanden



# Prinzip des Coordinated Reset (ANM Ärztinformation, P.Tass)

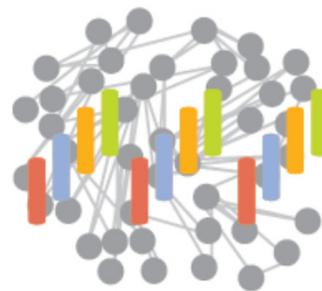
Das Wirkprinzip

## Gezielte Desynchronisation der Nervenzellen



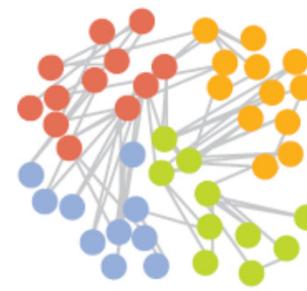
Synchronisierte Nervenzellverbände

1. Eine Gruppe gleichzeitig feuender kranker Nervenzellen.



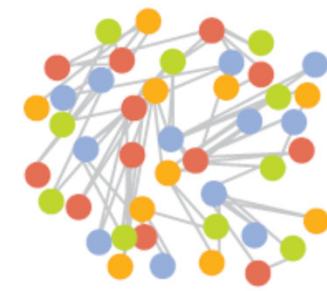
Coordinated Reset

2. Mit Coordinated Reset wird die Gruppe durch gezielte schwache Impulse in ihrer Synchronität gestört.



Erste desynchrone Aktivitäten

3. Dadurch bilden sich kleinere, in sich synchrone Untergruppen, die im gesamten Verband aber nicht mehr im Gleichtakt sind (Cluster-Zustand).



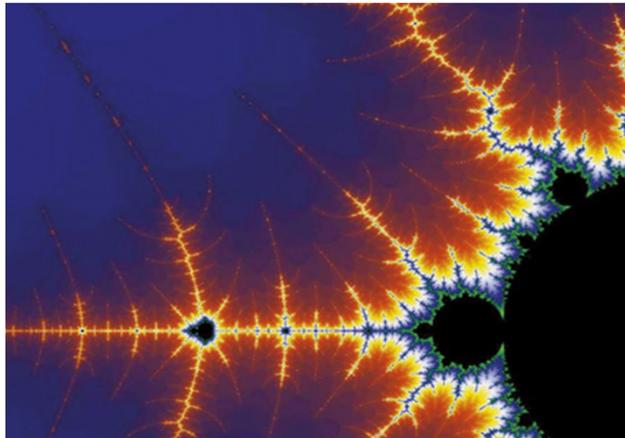
Vollständig desynchrone Aktivitäten

4. Nach dem Selbstorganisationsprinzip verlieren sich die Zellen in den Stimulationspausen im gesunden Chaos, da keine Gruppe den Takt vorgeben kann.



## Zusammenfassung

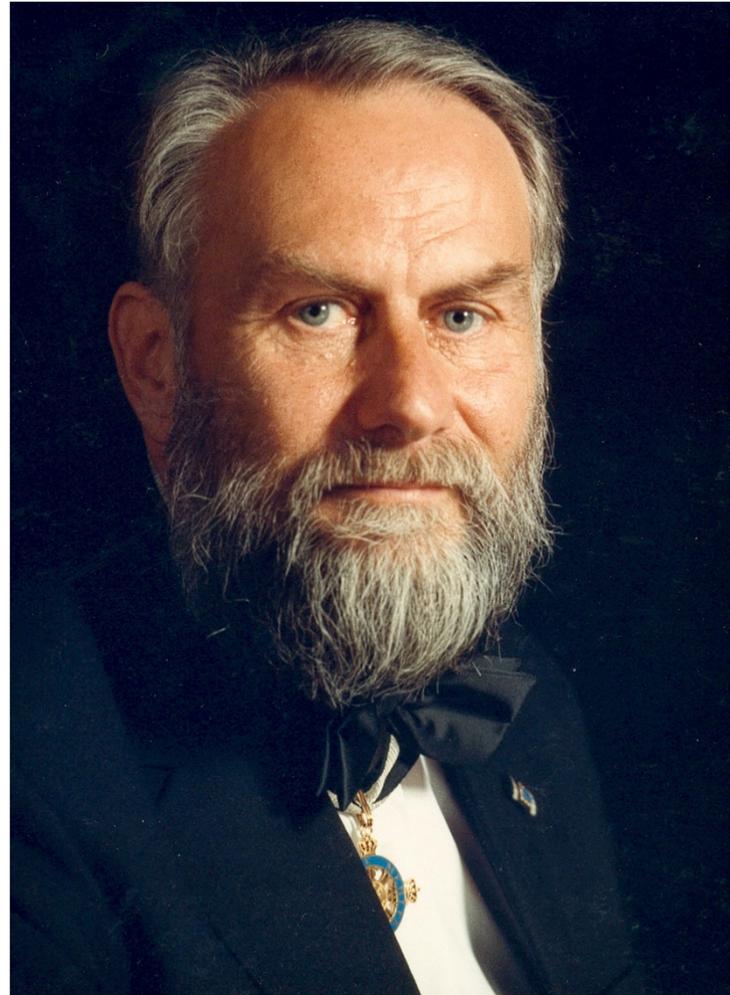
- Man unterscheidet eine **Mirko-** (Vielzahl von Elementen des Systems) und eine **Makroebene** (Ebene auf der Muster sichtbar werden).
- Ordnung entsteht **Kreiskausal** im System aus dem Wechselspiel von Mikro- und Makroebene.
- Die **Mikroebene** bringt durch **Selbstorganisation** die Muster auf der Makroebene hervor.
- Das Muster der Makroebene **versklavt** die Mikroebene.
- **Kontrollparameter** (Energie) regen die Selbstorganisation an.
- Es gibt **Unordnungs-Ordnungs-Phasenübergänge ...**
- **und Ordnungs-Ordnungs-Übergänge.**
- Solche Phasenübergänge führen zum **Kritischen Langsamerwerden** und
- dann zu **Kritischen Fluktuationen.**



## **Chaos ist das makroskopische Muster eines Selbstorganisationsprozesses**

Chaos aus der Perspektive der Synergetik

**Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Hermann Haken**  
**Institut für Theoretische Physik und Synergetik**  
**Universität Stuttgart**



## Die Wachstumsgleichung (Verhulst-System)

fasst das Verhalten vieler Elemente zusammen

$$x_{n+1} = rx_n - rx_n^2$$

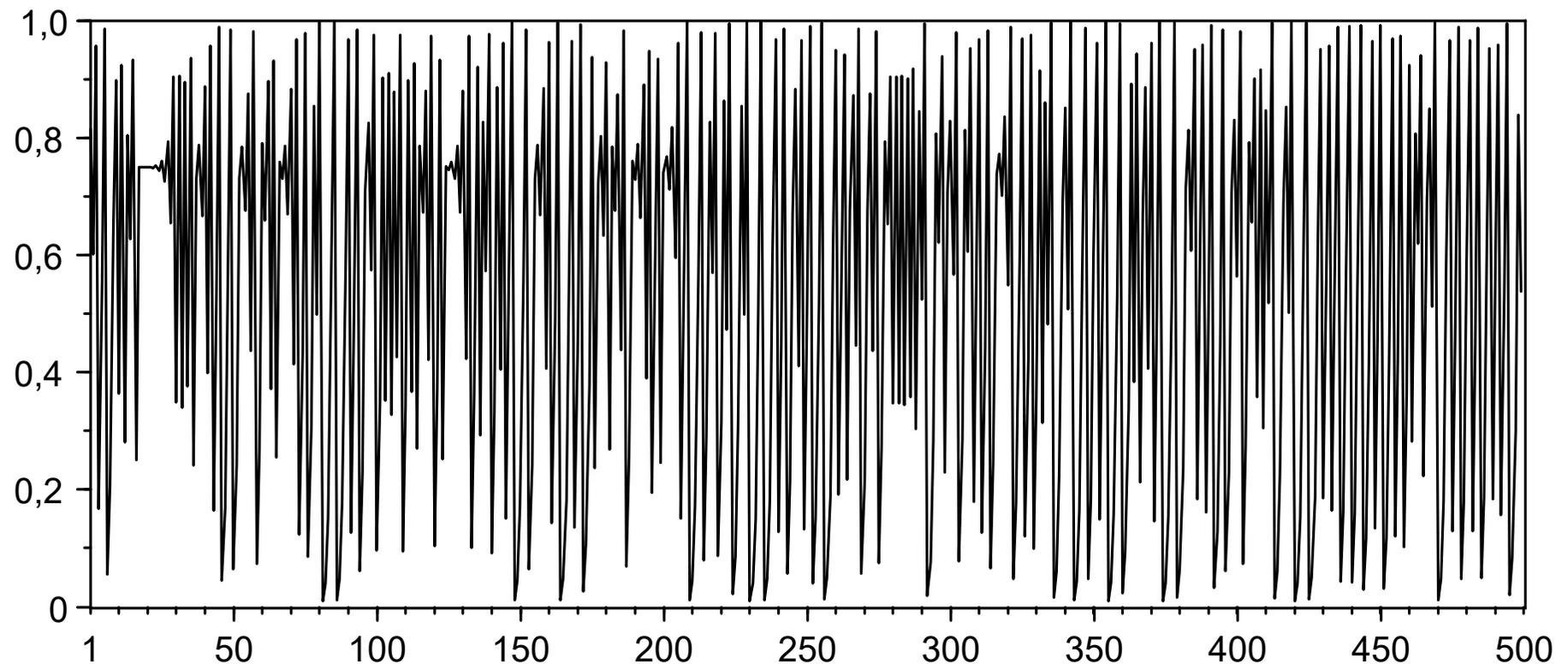
$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$

# Verhulst-System

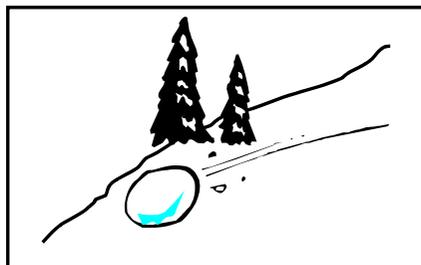
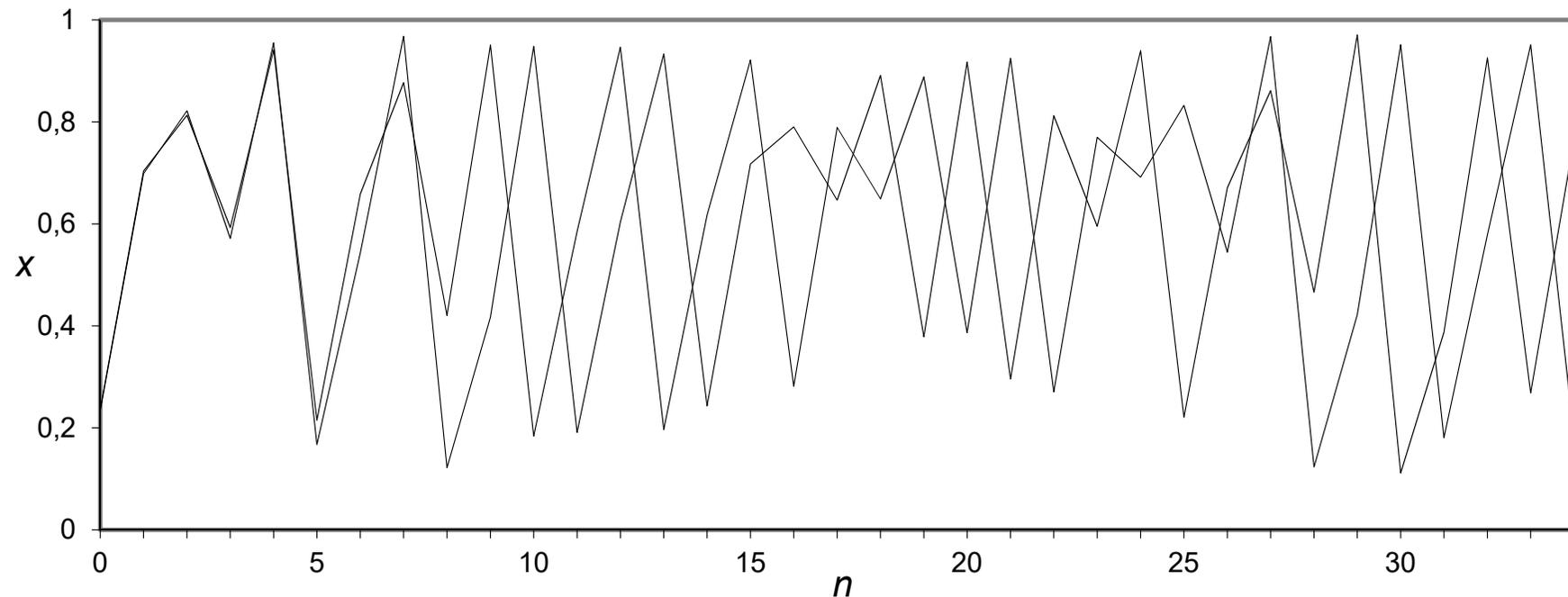
## Sehr gute Mundpropaganda

$r = 3,9$

$$x_{n+1} = rx_n (1 - x_n)$$



# Schmetterlingseffekt



Exponentielles (lawinenartiges)  
Fehlerwachstum

	Qualitativ	Quantitativ
Erkenntnisoptimistisch	<p>Verbale, qualitative Systembeschreibung</p> <p>Die „Geschichte“ eines Systems kann verstanden werden.</p> <p>Z.B. Firmengeschichte als Abfolge von Ereignissen.</p>	<p>Kybernetik</p> <p>Systeme sind plan- und steuerbar, wenn ihre Wechselwirkungsbeziehungen (mathematisch) vollständig verstanden sind.</p> <p>Z.B. Konzeption von Wirtschaftsprozessen durch Regelkreise.</p>
Komplexitätsorientiert	<p>Kybernetik 2. Ordnung</p> <p>Alles was über die Welt gesagt wird, wird von Beobachtern gesagt (Maturana).</p> <p>Z.B. Systemische Management- und Beratungspraxis.</p>	<p>Theorien Nichtlinear Dynamischer Systeme</p> <p>Erklärung von Ordnungsbildung und -Veränderung.</p> <p>Chaos als Prototyp mathematischer Komplexität.</p>

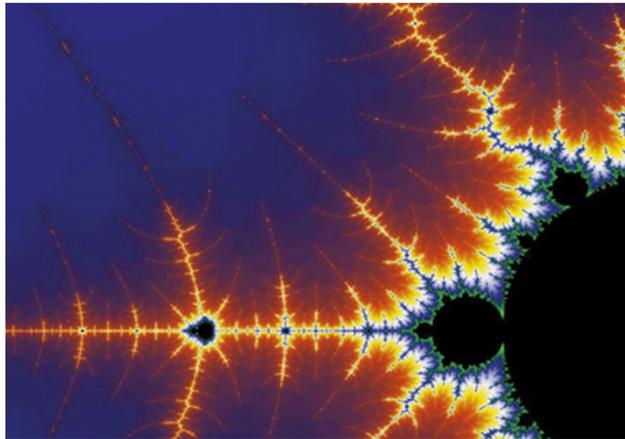
Theorien Nichtlinear Dynamischer  
Systeme

Erklärung von Ordnungsbildung und  
-Veränderung.

Chaos als Prototyp mathematischer  
Komplexität.

Anwendung: Begleiten von  
Phasenübergängen





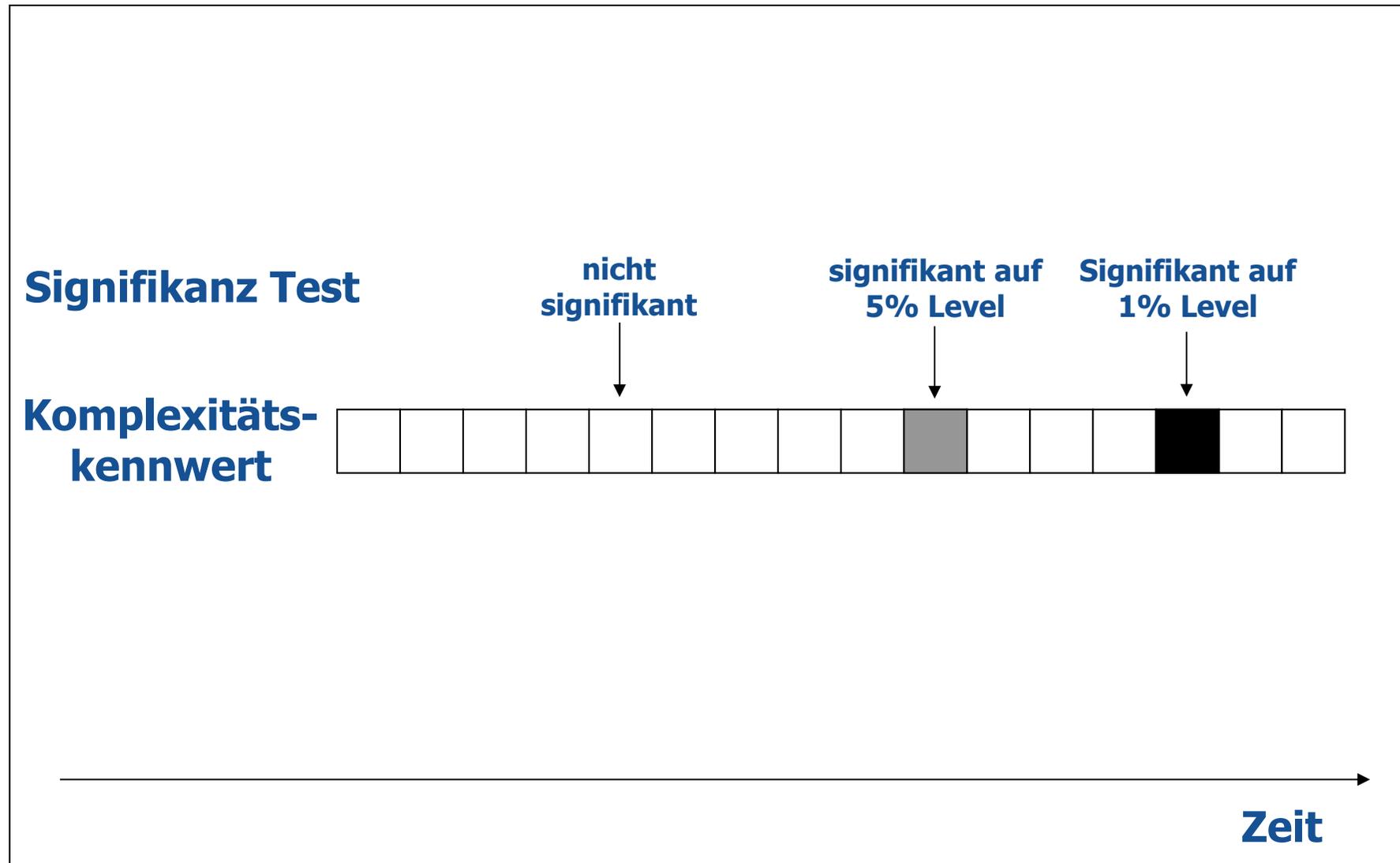
## Begleitung von Phasenübergängen

Ein Beratungskonzept ...

# Individualisierter täglicher Fragebogen



# Synergetisches Navigationssystem (SNS) Schiepek



# Methoden zur Komplexitätsmessung z.B. ...

Biol Cybern

DOI 10.1007/s00422-009-0362-1

ORIGINAL PAPER

Biological  
Cybernetics

## The identification of critical fluctuations and phase transitions in short term and coarse-grained time series—a method for the real-time monitoring of human change processes

Günter Schiepek · Guido Strunk

Received: 24 March 2009 / Accepted: 29 December 2009

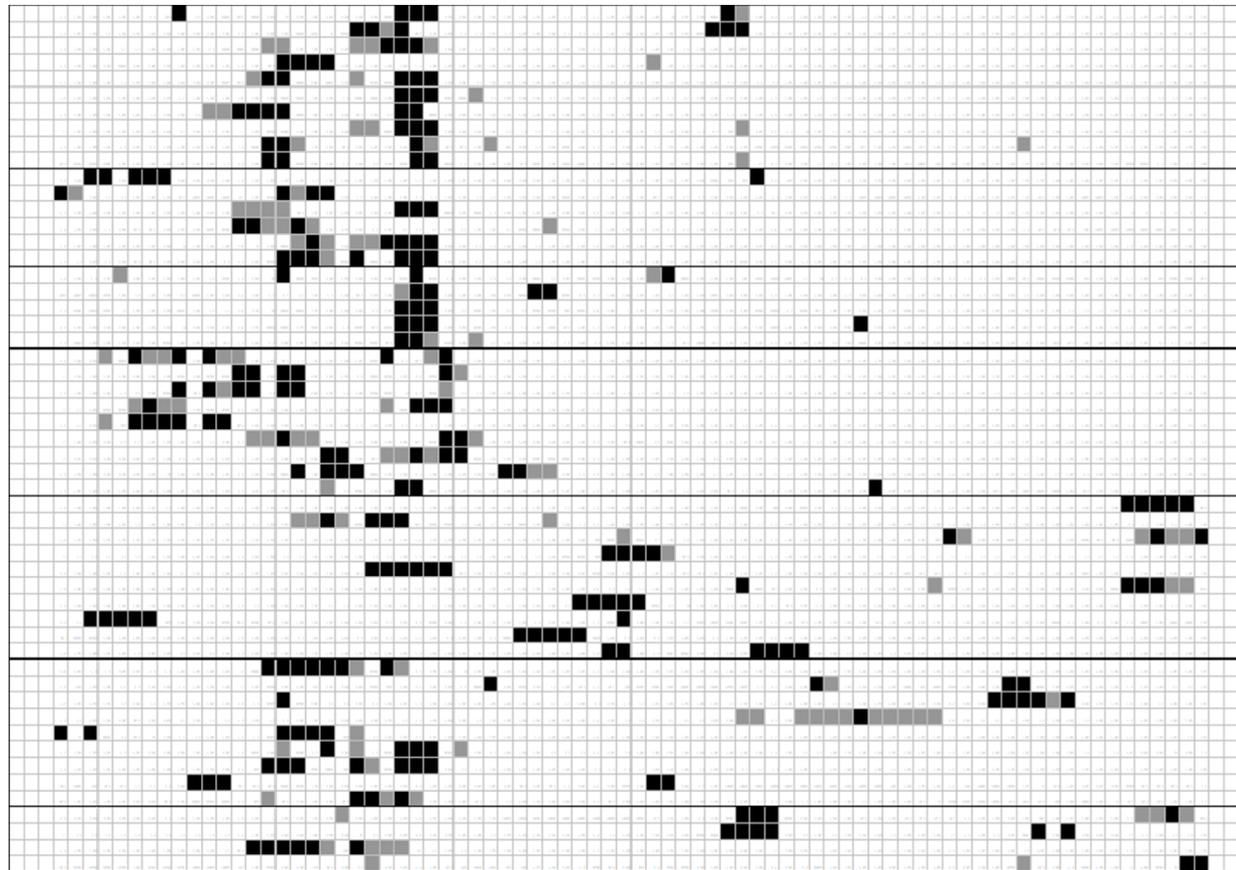
© Springer-Verlag 2010

**Abstract** We introduce two complementary measures for the identification of critical instabilities and fluctuations in natural time series: the degree of fluctuations  $F$  and the distribution parameter  $D$ . Both are valid measures even of short

### 1 Introduction

Human change processes are characterized by the nonlinearity as well as the nonstationarity of their dynamics. Nonlin-

# Komplexitäts-Resonanz-Diagramm



# Chronologie der Krise(n) – Analyse des DAX

Worldcom      Schwarzer Montag      Rücktritt J. Stark  
 Lehman-Pleite

