

# Einfach zu komplex?

Die Eigendynamik von Systemen verstehen

Frank Schweitzer

`fschweitzer@ethz.ch`

# Gliederung

- I. Einfach versus komplex
- II. Komplexität durch Interaktion
- III. Soziale Systeme

- └ Einfach versus komplex

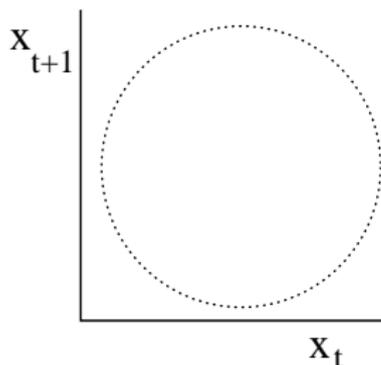
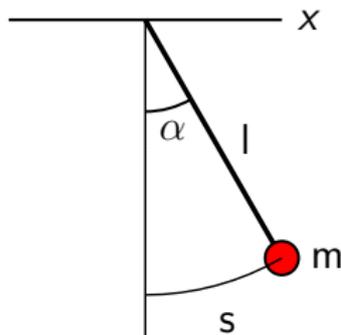
- └ Was ist einfach?

# Was ist einfach?



# Das mathematische Pendel

- Dynamik:  $\ddot{\alpha} = -\omega_0^2 \sin \alpha$ ,  $\omega_0^2 = g/l$
- Linearisierung:  $\alpha \approx x/l$



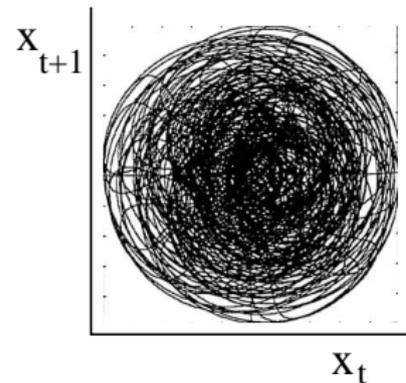
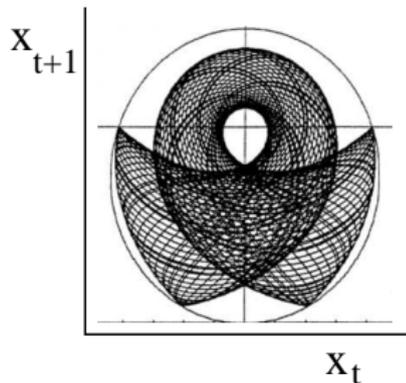
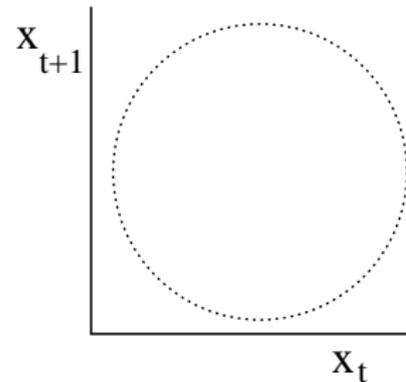
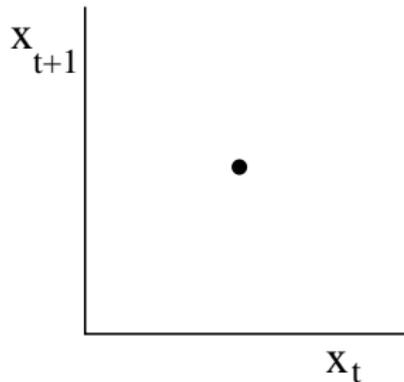
- Vorteil: wir haben alles verstanden
- Nachteil beim Wissenstransfer in die reale Welt
  - ▶ das Pendel bleibt leider stehen
  - ▶ Ursache: “wenn man in der realen Welt etwas bewegen will, muß man *Widerstände* überwinden”  $\Rightarrow$  kostet Energie
- Lösung: **das getriebene Pendel**

$$\ddot{\alpha} = -\omega_0^2 \sin \alpha - \gamma \dot{\alpha} + A \sin(\omega_A t)$$

└ Einfach versus komplex

└ Das getriebene Pendel

# Verschiedene dynamische Regimes



## Fazit:

Komplexe Dynamik  $\Leftrightarrow$  komplexe Ursachen?

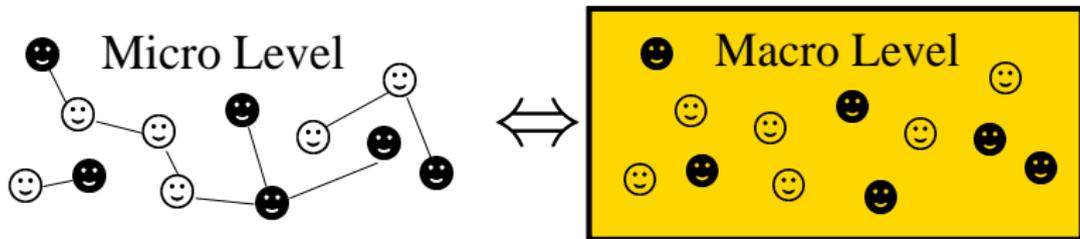
- 1 auch einfache Systeme können komplexes Verhalten zeigen
- 2 unterschiedliches Systemverhalten  $\Leftrightarrow$  gleiche Dynamik
  - ▶ Einfluß von *Kontrollparametern* ( $A$ )
  - ▶ Verzweigung des Lösungsverhaltens (*Bifurkationen*)  
 $\Rightarrow$  verschiedene dynamische Regimes

Was passiert, wenn wir viele einfache Systeme verkoppeln?

## Komplexe Systeme

- *große* Zahl von (*heterogenen*) Subsystemen (Elementen, Prozessen, Agenten, ...), die miteinander wechselwirken

# Komplexität durch Interaktion



- **Der Mikro-Makro-Link:**

In welcher Beziehung stehen die Eigenschaften der Elemente und ihre Interaktion auf der "mikroskopischen" Ebene zur Dynamik und den Eigenschaften des Gesamtsystems auf der "makroskopischen" Ebene?

- "einfache" Elemente  $\Leftrightarrow$  komplexe Dynamik?

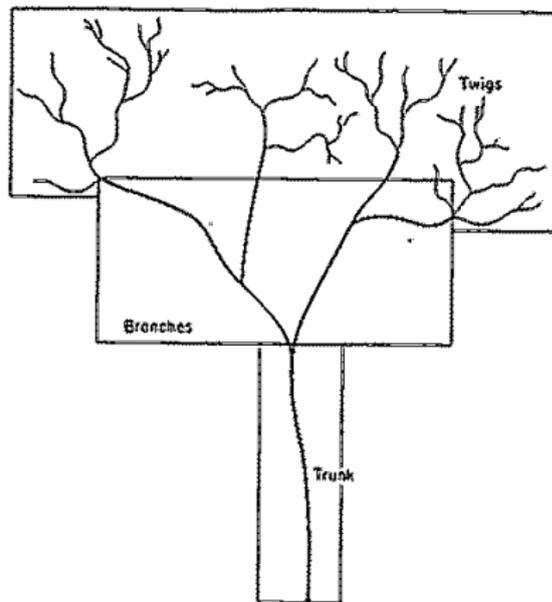
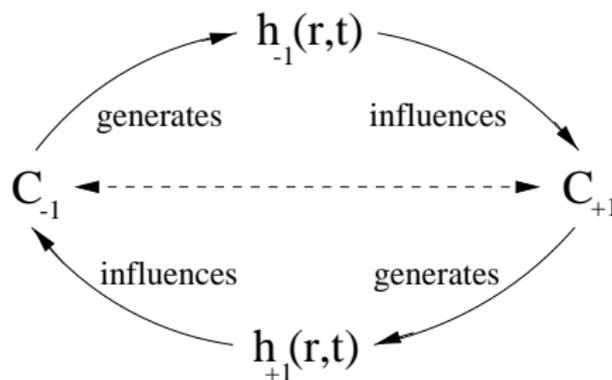
## ... ein illustratives Beispiel

- Agenten-basierte Simulation (MAS)
- Problem (*keine Information vorgegeben*):
  - ▶ finde neue Ressourcen (Rohstoffe, Märkte)  
⇒ Exploration des Zustandsraumes
  - ▶ verbinde diese Ressourcen mit der Basis  
⇒ kostengünstiges Netzwerk aufbauen
  - ▶ adaptiere Netzwerk, wenn Ressourcen verbraucht sind
- Resultat (*relevante Information selbst generiert*):
  - ▶ Lösung wird "kreiert" (nicht vorgegeben)

Simulation

# Chemische Kommunikation

- Brownsche Agenten  
"schreiben" und "lesen"  
chemische Information



Hölldobler, B. and Möglich, M.: The foraging system of *Pheidole militica* (Hymenoptera: Formicidae), *Insectes Sociaux* 27/3 (1980) 237-264



# Selbstorganisation

- spontane Entstehung, Höherentwicklung und Ausdifferenzierung von Ordnungsstrukturen
- kollektive Phänomene, *Emergenz von neuen Systemqualitäten*

*Self-Organization is the process by which individual subunits achieve, through their cooperative interactions, states characterized by new, emergent properties transcending the properties of their constitutive parts.*

Biebricher, C. K.; Nicolis, G.; Schuster, P.  
Self-Organization in the Physico-Chemical and Life Sciences  
EU Report 16546 (1995)

└ Komplexität durch Interaktion

└ Selbstorganisation

## Zwei Wege für das Anwachsen von Komplexität

*Verlust von Strukturen → Unordnung wächst*



*Entstehung von Strukturen → Ordnung wächst*

# Fazit

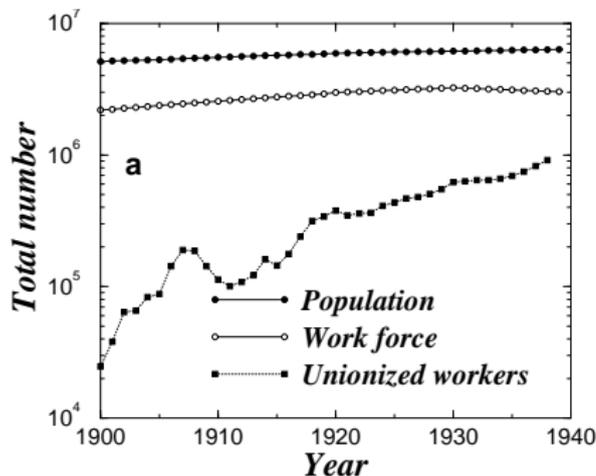
- einfache Systeme
  - ▶ generieren komplexe Eigendynamik (abhängig vom Kontrollparameter)
- komplexe Systeme
  - ▶ Eigendynamik aus der Wechselwirkung von Agenten
  - ▶ Emergenz neuer Eigenschaften
    - “sinnvolles Verhalten”: Problemlösen, Optimieren

## Frage:

- Emergenz von quantitativen Gesetzmäßigkeiten durch kollektive Interaktionen?
  - ▶ Einsicht durch Datenanalyse

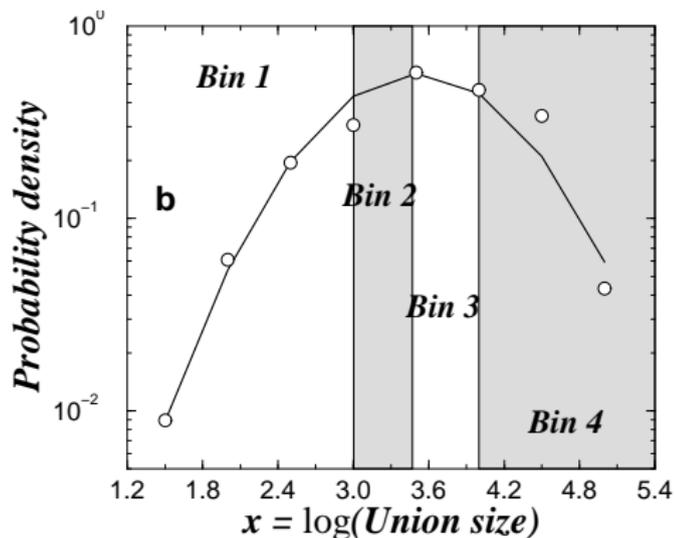
# Soziale Systeme

- SG: Dynamik von Unternehmen und sozialen Organisationen
  - ▶ komplexe Systeme aus vielen interagierenden Subsystemen
- Beispiel: Gewerkschaften (Schweden 1900-1940)
  - ▶ 60 Gewerkschaften mit ca 10.000 lokalen Gruppen



F. Liljeros et al. (2003)

- Gibt es statistische Gesetzmäßigkeiten für die Größenverteilung?  
 ⇒ *log-normal Verteilung*



F. Liljeros et al. (2003)

## Was heißt das für die zugrundeliegende Wachstumsdynamik?

- $x_i(t)$  Größe der Gewerkschaft  $i$  zur Zeit  $t$
- "law of proportionate growth" (Gibrat 1931)

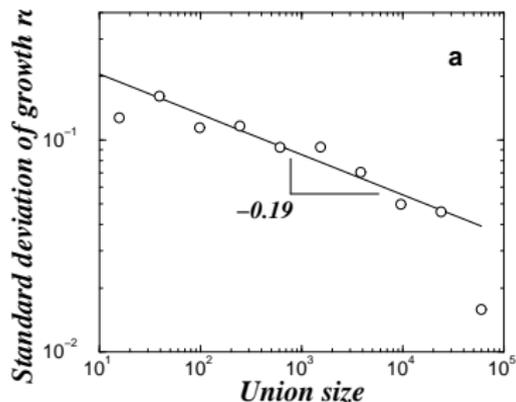
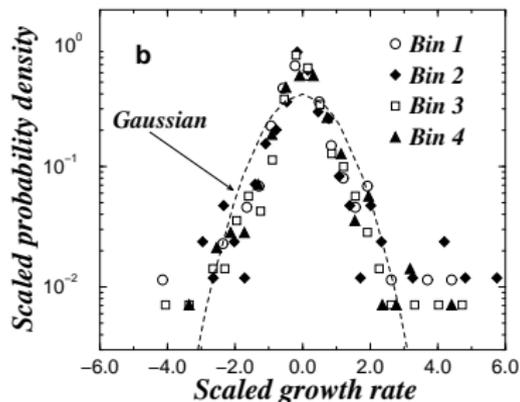
$$x_i(t+1) - x_i(t) = b_i(t)x_i(t)$$

- $b_i(t)$ : Zufallszahlen  $\Rightarrow$  multiplikativer Zufallsprozeß
- jährliche Wachstumsrate

$$g(t) = \ln \left\{ \frac{x(t+1)}{x(t)} \right\}$$

- Wahrscheinlichkeit  $p(g|x)$ , skaliert mit  $\sigma(x)$

$$p(g|x) \sim \frac{1}{\sigma(x)} \mathcal{F} \left( \frac{g}{\sigma(x)} \right) ; \quad \sigma(x) \sim x^\beta$$



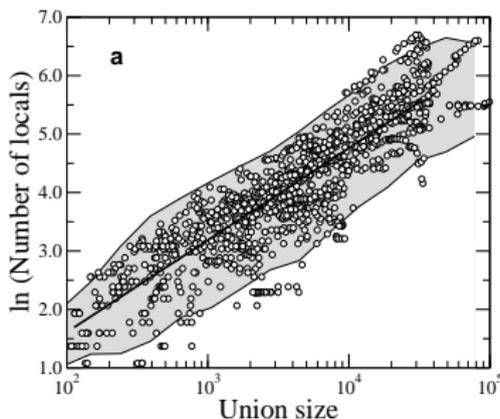
F. Liljeros et al. (2003)

- Größenverteilung, Wachstumsraten und mittlere Größenschwankungen der Gewerkschaftsgruppen folgen einem klaren empirische Gesetz

## Interne Strukturen von Organisationen

- Zahl der lokalen Gewerkschaftsgruppen ( $n$ ), die eine Gewerkschaft der Größe  $x$  bilden

$$n \sim x^{1-\alpha} ; \quad \alpha = 0.31 \pm 0.05$$

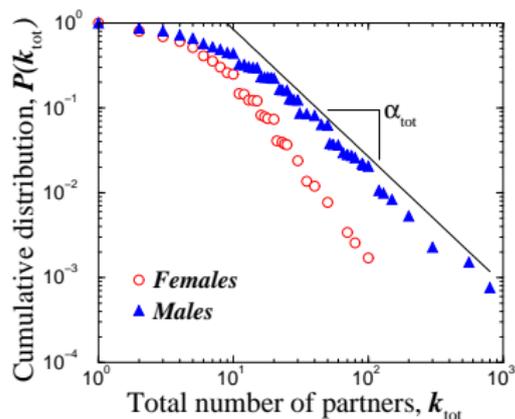
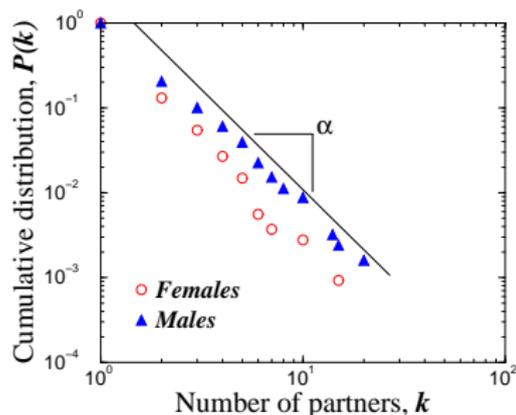


F. Liljeros *et al.* (2003)

- Möglichkeit universaler Mechanismen für die Struktur von Organisationen

# Soziale Kontakte

- subjektiv, schwierig zu quantifizieren ...
- relativ eindeutig: sexuelle Kontakte
  - ▶ Daten: 2810 Personen (Alter: 18-74) (Schweden, 1996)

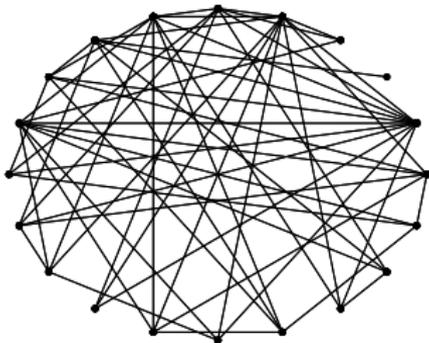


F. Liljeros et al. (2001)

- Resultat:  $P(k) \sim k^{-\alpha}$

- ▶ (w)  $\alpha = 2.54 \pm 0.2$  ( $k > 4$ ),  $\alpha_{tot} = 2.1 \pm 0.3$  ( $k_{tot} > 20$ )
- ▶ (m)  $\alpha = 2.31 \pm 0.2$  ( $k > 5$ ),  $\alpha_{tot} = 1.6 \pm 0.3$  ( $20 < k_{tot} < 400$ )

Was heißt das für die zugrundeliegende Interaktionsdynamik?



- skalenfreies Netzwerk  $\Rightarrow$  bevorzugte Verbindung zu Knoten mit hoher Vernetzung ("the rich get richer")
- keine ausgezeichnete Skala  $\Rightarrow$  keine Separation einer "core group"

# Zusammenfassung

## *Einfach zu komplex?*

- einfache Systeme offenbaren komplexes Verhalten
  - ▶ Beispiel: Pendel
- komplexe Systeme offenbaren einfache Gesetzmäßigkeiten
  - ▶ Beispiel: Gewerkschaftsgröße, Verteilung sexueller Kontakte
- Eigendynamik komplexer Systeme: Resultat von Wechselwirkungen vieler (*einfacher*) Elemente
  - ▶ Emergenz von "sinnvollem" Verhalten, Adaptation
  - ▶ Entstehung "höherer" Ordnung (Strukturen, statistische Gesetze)

# Dank

- an meine Lehrer/innen
- an meine Mitarbeiter/innen
- an meine Kolleg/innen

# Herzliche Einladung

zum Apero im Dozentenfoyer.

Bitte benutzen Sie die Fahrstühle ins  
Stockwerk J.