



Selbstorganisierte Kritikalität

Proseminar für Chaos, Musterbildung und Selbstorganisation

Sven-Hendrik Haase

Universität Hamburg, Fakultät für Informatik

2014-07-10



Übersicht

Leitfragen

Einfuehrung

Teil 1

Teil 2

Forschung

Beispiele

Anwendungen

Sandpile Model

Bak-Sneppen Modell für Evolution

Drossel-Schwabl Modell für Waldbrände

Olami-Feder-Christensen Modell für Erdbeben

Quellen

Leitfragen

“Ausgedehnte Systeme neigen dazu, von selbst einen kritischen Zustand zu entwickeln, welcher fern vom Gleichgewicht liegt.” (übersetzt aus *Physical Review Letters* Vol 59, Number 4, *Self-Organized Criticality*, Per Bak, Chao, Tang, Kurt Wiesenfeld)



Leitfragen

“Ausgedehnte Systeme neigen dazu, von selbst einen kritischen Zustand zu entwickeln, welcher fern vom Gleichgewicht liegt.” (übersetzt aus *Physical Review Letters* Vol 59, Number 4, *Self-Organized Criticality*, Per Bak, Chao, Tang, Kurt Wiesenfeld)

- Was bedeutet “kritisch” bzw. “Kritikalität”?



Leitfragen

“Ausgedehnte Systeme neigen dazu, von selbst einen kritischen Zustand zu entwickeln, welcher fern vom Gleichgewicht liegt.” (übersetzt aus *Physical Review Letters* Vol 59, Number 4, *Self-Organized Criticality*, Per Bak, Chao, Tang, Kurt Wiesenfeld)

- Was bedeutet “kritisch” bzw. “Kritikalität”?
- Was bedeutet “von selbst” bzw. “selbstorganisiert”?



Leitfragen

“Ausgedehnte Systeme neigen dazu, von selbst einen kritischen Zustand zu entwickeln, welcher fern vom Gleichgewicht liegt.” (übersetzt aus *Physical Review Letters* Vol 59, Number 4, *Self-Organized Criticality*, Per Bak, Chao, Tang, Kurt Wiesenfeld)

- Was bedeutet “kritisch” bzw. “Kritikalität”?
- Was bedeutet “von selbst” bzw. “selbstorganisiert”?
- Wie werden diese Erkenntnisse in der Physik angewandt?



Leitfragen

“Ausgedehnte Systeme neigen dazu, von selbst einen kritischen Zustand zu entwickeln, welcher fern vom Gleichgewicht liegt.” (übersetzt aus *Physical Review Letters* Vol 59, Number 4, *Self-Organized Criticality*, Per Bak, Chao, Tang, Kurt Wiesenfeld)

- Was bedeutet “kritisch” bzw. “Kritikalität”?
- Was bedeutet “von selbst” bzw. “selbstorganisiert”?
- Wie werden diese Erkenntnisse in der Physik angewandt?
- Können diese Konzepte außerhalb der puren Wissenschaft angewandt werden?



Einfuehrung

Teil 1

- Self-organized criticality (SOC) ist ein Phänomen bei dynamischen Systemen mit räumlicher Unbeschränktheit



Einfuehrung

Teil 1

- Self-organized criticality (SOC) ist ein Phänomen bei dynamischen Systemen mit räumlicher Unbeschränktheit
- Mit der Zeit nähern sich die Parameter des dynamischen Systems von selbst einem **kritischen Punkt** an



Einfuehrung

Teil 1

- Self-organized criticality (SOC) ist ein Phänomen bei dynamischen Systemen mit räumlicher Unbeschränktheit
- Mit der Zeit nähern sich die Parameter des dynamischen Systems von selbst einem **kritischen Punkt** an
- An einem **kritischen Punkt** findet ein **Phasenübergang** statt



Einfuehrung

Teil 1

- Self-organized criticality (SOC) ist ein Phänomen bei dynamischen Systemen mit räumlicher Unbeschränktheit
- Mit der Zeit nähern sich die Parameter des dynamischen Systems von selbst einem **kritischen Punkt** an
- An einem **kritischen Punkt** findet ein **Phasenübergang** statt
- Bei einem **Phasenübergang** reicht eine geringfügige quantitative Änderung des Systems aus, um eine signifikante qualitative Änderung des Systems herbeizuführen



Einfuehrung

Teil 1

- Self-organized criticality (SOC) ist ein Phänomen bei dynamischen Systemen mit räumlicher Unbeschränktheit
- Mit der Zeit nähern sich die Parameter des dynamischen Systems von selbst einem **kritischen Punkt** an
- An einem **kritischen Punkt** findet ein **Phasenübergang** statt
- Bei einem **Phasenübergang** reicht eine geringfügige quantitative Änderung des Systems aus, um eine signifikante qualitative Änderung des Systems herbeizuführen
- Der **kritische Punkt** ist ein Attraktor



Einfuehrung

Teil 2

- Komplexe Strukturen entstehen durch einfache lokale Interaktionen



Einfuehrung

Teil 2

- Komplexe Strukturen entstehen durch einfache lokale Interaktionen
- Es ist momentan unmöglich vorherzusagen, ob ein Algorithmus oder System SOC-artiges Verhalten aufweist (Simulation erforderlich)



Einfuehrung

Teil 2

- Komplexe Strukturen entstehen durch einfache lokale Interaktionen
- Es ist momentan unmöglich vorherzusagen, ob ein Algorithmus oder System SOC-artiges Verhalten aufweist (Simulation erforderlich)
- Entstehende Systeme sind gerade noch stabil



Einfuehrung

Teil 2

- Komplexe Strukturen entstehen durch einfache lokale Interaktionen
- Es ist momentan unmöglich vorherzusagen, ob ein Algorithmus oder System SOC-artiges Verhalten aufweist (Simulation erforderlich)
- Entstehende Systeme sind gerade noch stabil
- Es kommt nicht so sehr auf die Anfangsparameter an (**selbst**organisiert)
- Anfangsparameter können stark variiert werden, ohne dass sich Endzustand stark ändert



Forschung

- Forschung an dem Thema setzt sich aus drei Forschungszweigen zusammen:
 - Fraktale
 - zelluläre Automaten und emergente Strukturen
 - Phasenübergänge



Forschung

- Forschung an dem Thema setzt sich aus drei Forschungszweigen zusammen:
 - Fraktale
 - zelluläre Automaten und emergente Strukturen
 - Phasenübergänge
- Paper von Bak, Tang und Wiesenfeld 1987 vereinte diese Forschungen



Forschung

- Forschung an dem Thema setzt sich aus drei Forschungszweigen zusammen:
 - Fraktale
 - zelluläre Automaten und emergente Strukturen
 - Phasenübergänge
- Paper von Bak, Tang und Wiesenfeld 1987 vereinte diese Forschungen
- SOC-Konzepte heute in vielen Feldern der Wissenschaft vorhanden: Geophysik, Kosmologie, Evolutionsbiologie, Ökologie, Bioinformatik, Optimierung, Ökonomie, Quantengravitation, Soziologie, Solarphysik, Plasmaphysik, Neurobiologie



Beispiele

Anwendungen

- Bak–Tang–Wiesenfeld–Modell für Lawinen (auch “Sandpile Model”)
- Bak-Sneppen Modell für Evolution
- Drossel-Schwabl Modell für Waldbrände
- Olami–Feder–Christensen Modell für Erdbeben



Beispiele

Anwendungen

- Bak–Tang–Wiesenfeld–Modell für Lawinen (auch “Sandpile Model”)
- Bak-Sneppen Modell für Evolution
- Drossel-Schwabl Modell für Waldbrände
- Olami–Feder–Christensen Modell für Erdbeben
- Landformationen
- Boersendynamik
- Gehirnsignale
- Neutronensterneben
- Solarflares

Beispiele

Sandpile Model

- Modell für Lawinen
- Zellulärer Automat auf einem beschränkten Raster



Beispiele

Sandpile Model

- Modell für Lawinen
- Zellulärer Automat auf einem beschränkten Raster
- Funktionweise:



Beispiele

Sandpile Model

- Modell für Lawinen
- Zellulärer Automat auf einem beschränkten Raster
- Funktionweise:
 - Zufällige oder zentrale Platzierung von Chips auf dem Raster



Beispiele

Sandpile Model

- Modell für Lawinen
- Zellulärer Automat auf einem beschränkten Raster
- Funktionweise:
 - Zufällige oder zentrale Platzierung von Chips auf dem Raster
 - Anzahl der Chips pro Zelle geben die Steigung an



Beispiele

Sandpile Model

- Modell für Lawinen
- Zellulärer Automat auf einem beschränkten Raster
- Funktionweise:
 - Zufällige oder zentrale Platzierung von Chips auf dem Raster
 - Anzahl der Chips pro Zelle geben die Steigung an
 - Übersteigt die Zahl der Chips eine Schwelle, teilt die Zelle ihre Chips auf ihre Nachbarn auf
- **Video Simulation**
- **Video Experiment**

Beispiele

Sandpile Model

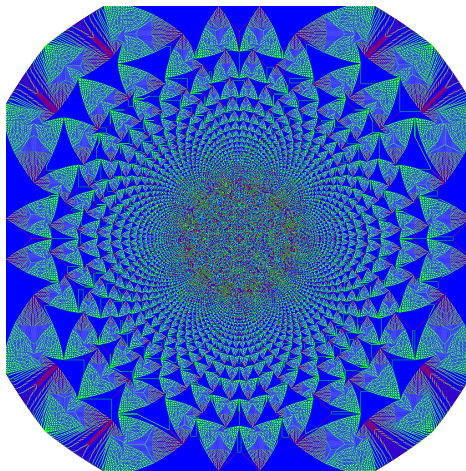


Figure: Simulation von 28M Sandkörnern



Beispiele

Bak-Sneppen Modell für Evolution

- lol



Beispiele

Drossel-Schwabl Modell für Waldbrände

- lol



Beispiele

Olami-Feder-Christensen Modell für Erdbeben

- lol

Quellen

- Bak, P., Tang, C. and Wiesenfeld, K. (1987). "Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise". *Physical Review Letters* 59(4):381-384.
- https://www.youtube.com/watch?v=-d7_0Gn22d4
- <https://www.youtube.com/watch?v=LfJCngN44ug>
- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Backtang2.png>