

# Emergente Kausalität

„Marco Polo describes a bridge, stone by stone.

„But which is the stone that supports the bridge?’ Kublai Khan asks.

„The bridge is not supported by one stone or another,’ Marco answers,  
‘but by the line of the arch that they form.’

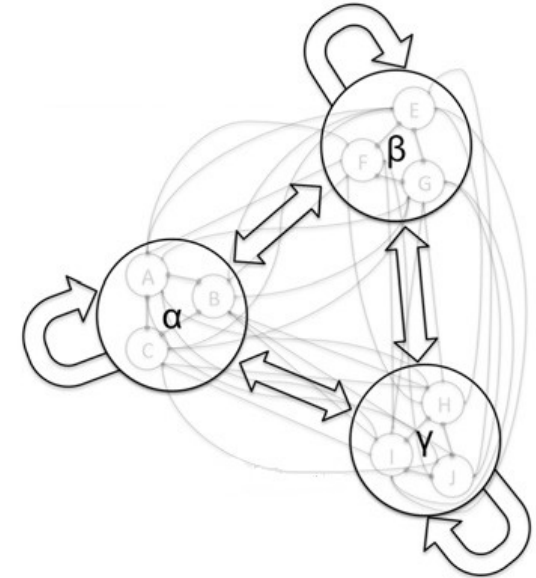
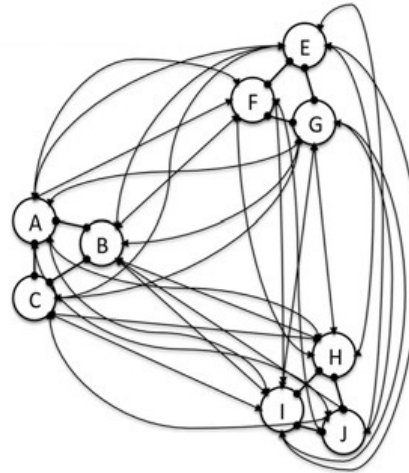
Kublai Khan remains silent, reflecting. Then he adds: „Why do you speak  
to me of the stones? It is only the arch that matters to me.’

Polo answers: „Without stones there is no arch.““

- Calvino, I. (1978). Invisible cities. Houghton Mifflin Harcourt.

# Emergente Kausalität

- Supervenienz
- Agenten
- Effektive Information
- Emergente Kausalität



Quelle : Hoel, Erik P. and Albantakis, Larissa and Tononi, Giulio (2013)  
Quantifying causal emergence shows that macro can beat micro.

# Supervenienz

- Das Mikrolevel bestimmt das Makrolevel vollständig
  - Aus Occam's Rasiermesser folgt Makrolevel ist nicht benötigt für vollständige Beschreibung.

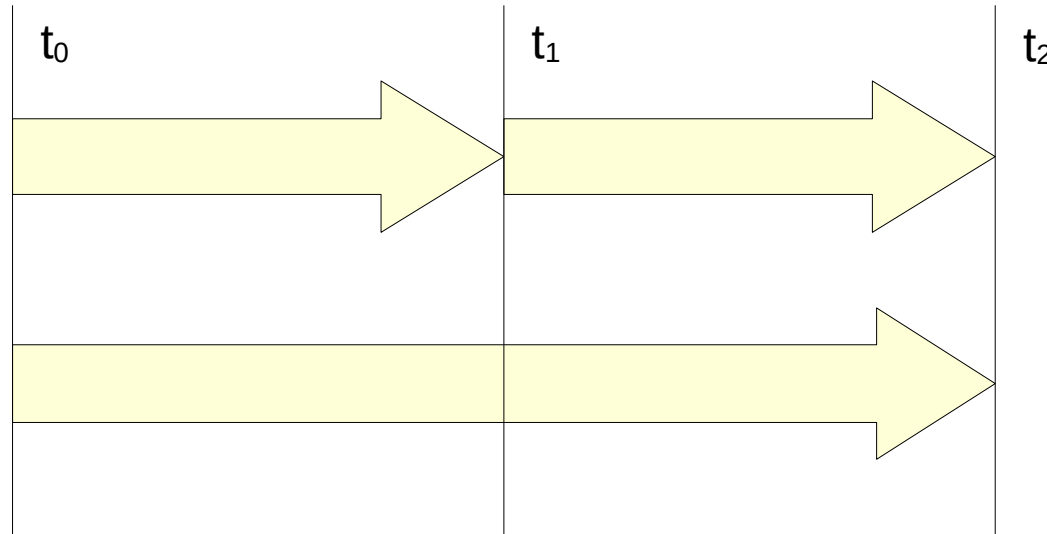
# Supervenienz

- Das Mikrolevel bestimmt das Makrolevel vollständig
- Makrolevel besitzt strikt weniger Informationen als Mikrolevel

# Supervenienz

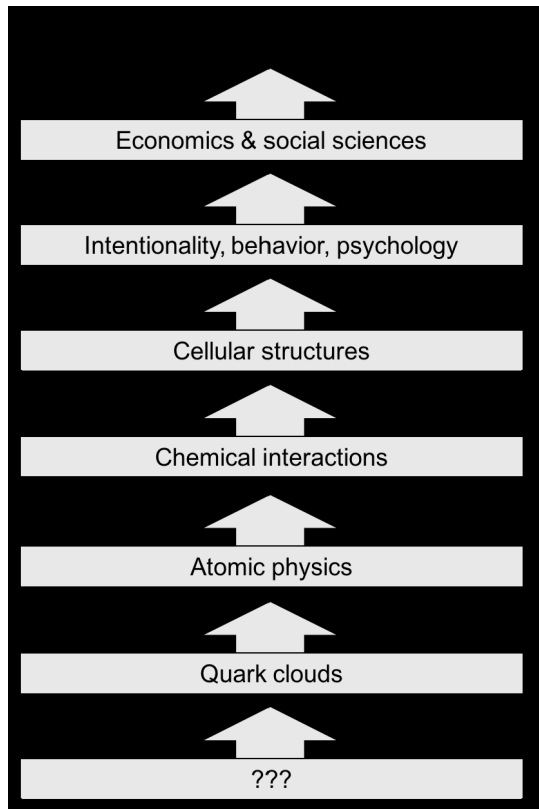
- Das Mikrolevel bestimmt das Makrolevel vollständig
- Makrolevel besitzt strikt weniger Informationen als Mikrolevel
- Mikrolevel ist deutlich schwerer zu simulieren  
=> längere Laufzeiten

# Zeitliche Supervenienz



# Wissenschaftliche Supervenienz

- 1) Quark/Elektronen Interaktionen
- 2) Atomare Wechselwirkungen
- 3) Chemische Verbindungen
- 4) Zellstrukturen
- 5) Menschliches Verhalten

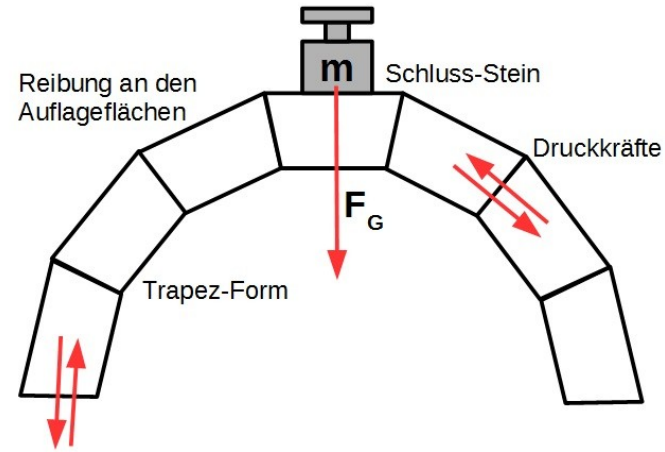




# Probleme mit Supervenienz

## Bogenbrücke

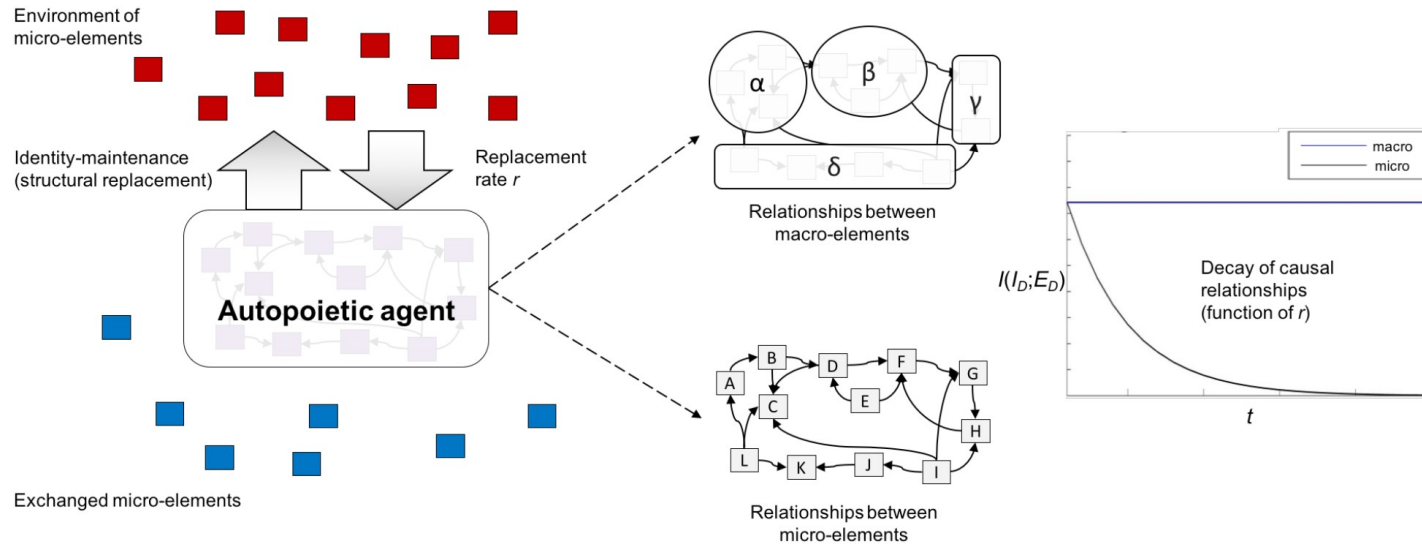
- Stabilität durch Parabel



Quelle : <https://www.technik-unterrachten.de/Brückenbau/Bogenbrücke/Bogenbrücke.php>

# Probleme mit Supervenienz

## Biologische Systeme mit hoher Reproduktionsrate



Quelle : Hoel E.P. (2018) Agent Above, Atom Below: How Agents Causally Emerge from Their Underlying Microphysics.

# Ein weiteres Problem: Agenten

- Zielorientierte Aktionen eines Systems auf Makrolevel



# Agenten

- Zielorientierte Aktionen eines Systems auf Makrolevel
- Verschwinden auf Mikrolevel
  - Existieren sie wirklich?

# Agenten

- Zielorientierte Aktionen eines Systems auf Makrolevel
- Verschwinden auf Mikrolevel
  - Existieren sie wirklich?
- Agenten kompensieren für Rauschen

# Agenten

Beispiele sind zu finden in:

- Spiel Theorie
- Biologie
- Wirtschaft
- Verhaltenswissenschaften

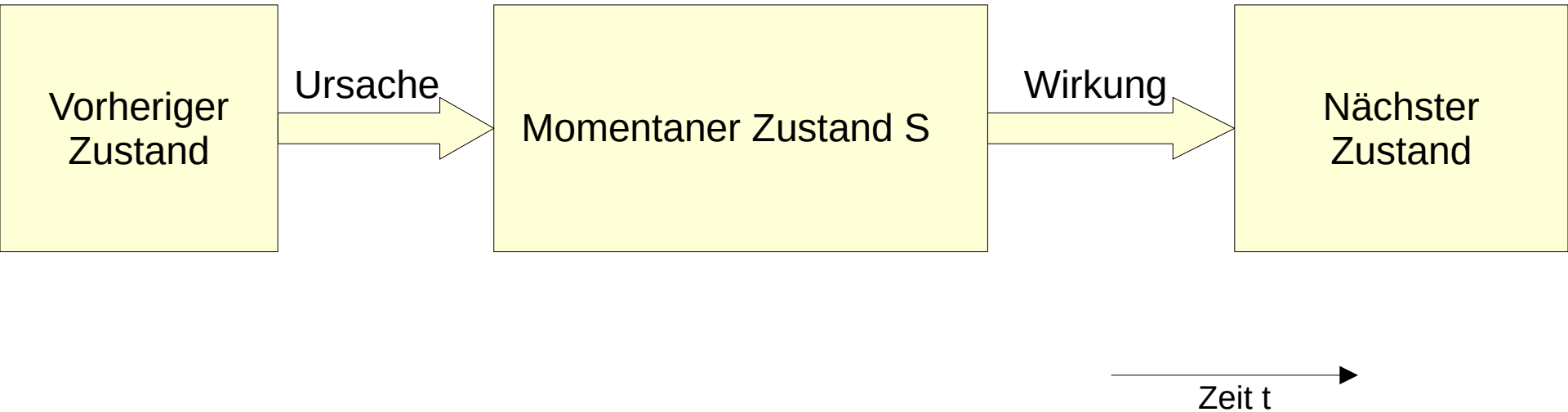


Quelle: <https://www.marketingimpott.de/blog/Generation-goldfisch-der-verlust-der-aufmerksamkeitsspanne/>



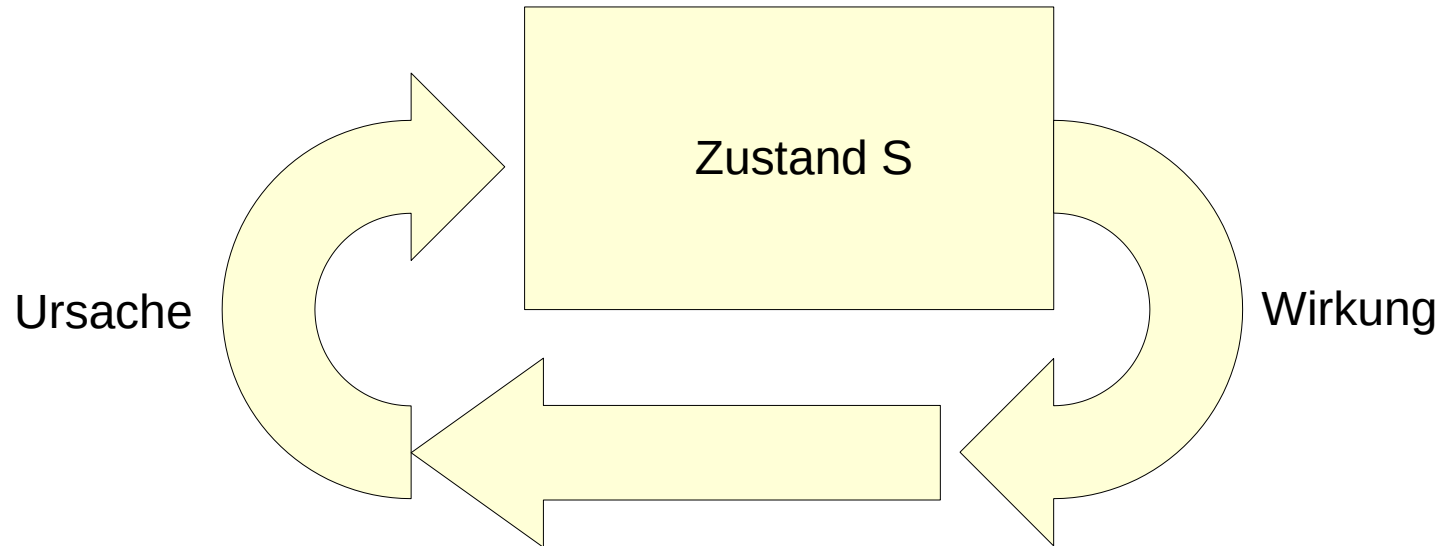
Quelle: <https://www.rentokil.com/at/ameisen/hausmittel-tipps-gegen-ameisen/>

# Effektive Information



# Effektive Information

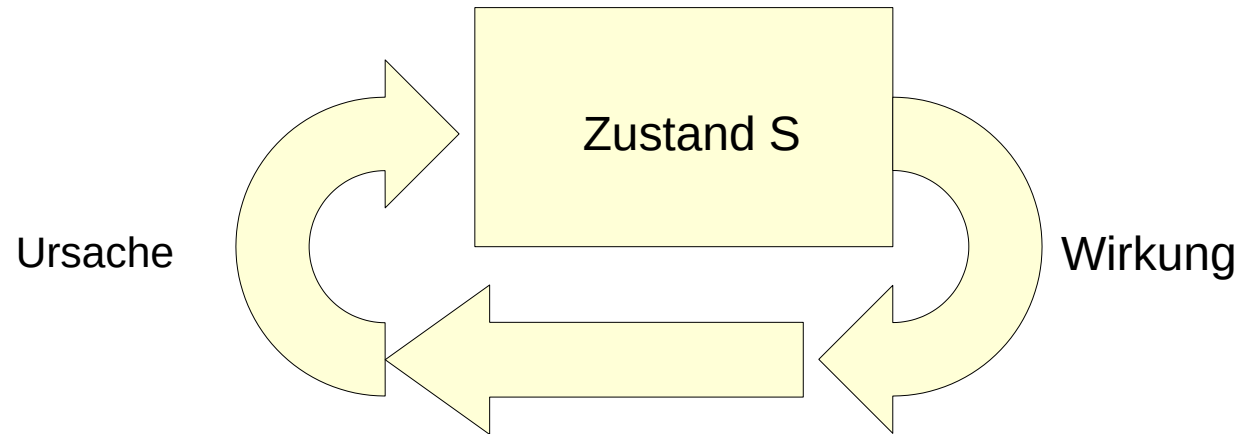
- Annahme: Zeitinvariantes System





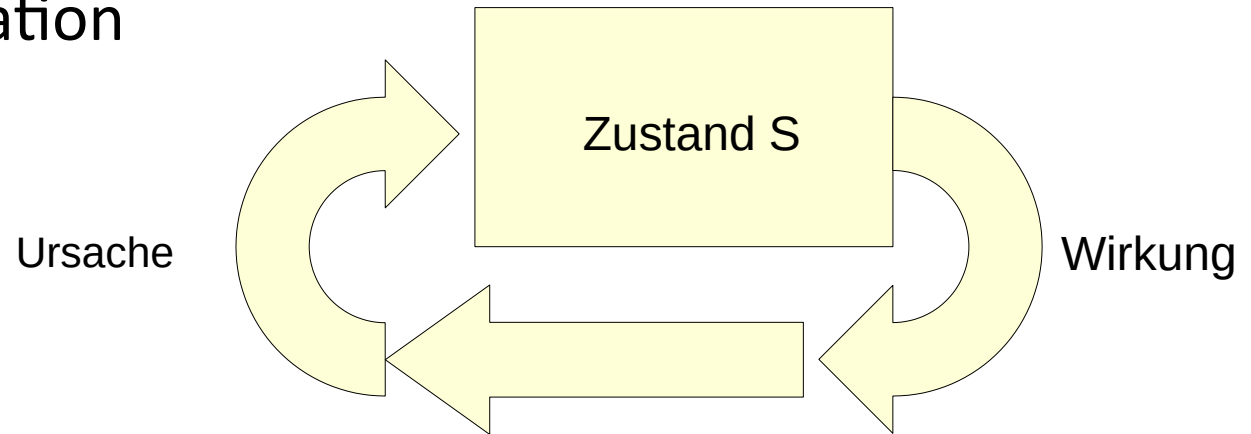
# Effektive Information

- Annahme: Zeitinvariantes System
  - Ursache  $\leftrightarrow$  Wirkung



# Effektive Information

- Annahme: Zeitinvariantes System
  - Ursache  $\leftrightarrow$  Wirkung
- Effektive Information



# Effektive Information

- Annahme: Zeitinvariantes System
  - Ursache  $\leftrightarrow$  Wirkung
- Effektive Information
  - $EI(S) = \langle \text{Information über die Ursache} \rangle$   
=  $\langle \text{Information über die Wirkung} \rangle$

# Effektive Information

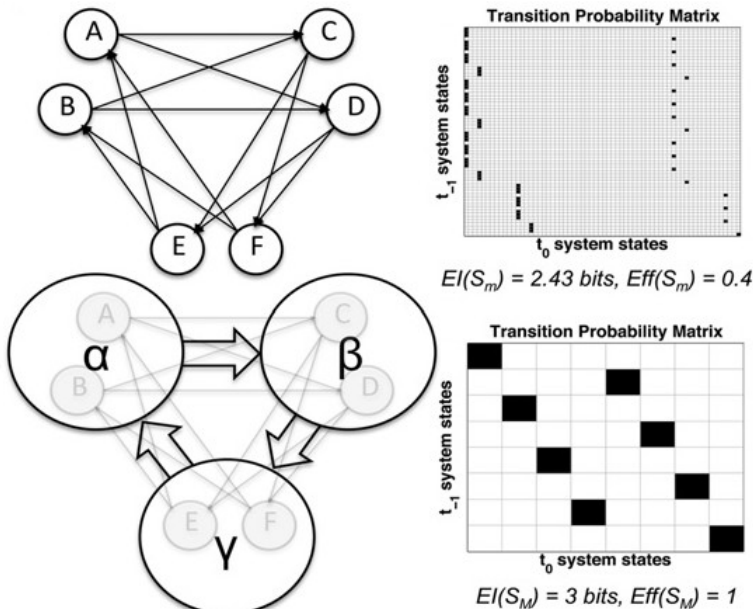
- Wirksamkeit
    - Wirksamkeit := Normierte Effektive Information
- $\text{Eff}(S) = \text{EI}(S)/\log_2(n)$  in einem Binären System

# Effektive Information

- Wirksamkeit
    - Wirksamkeit := Normierte Effektive Information
- $\text{Eff}(S) = \text{EI}(S) / \log_2(n)$  in einem Binären System
- $\text{Eff}(S) = 1 \iff \text{EI}(S) \text{ Maximal}$
  - $\text{Eff}(S) = 0 \iff \text{EI}(S) \text{ Minimal}$

# Emergente Kausalität

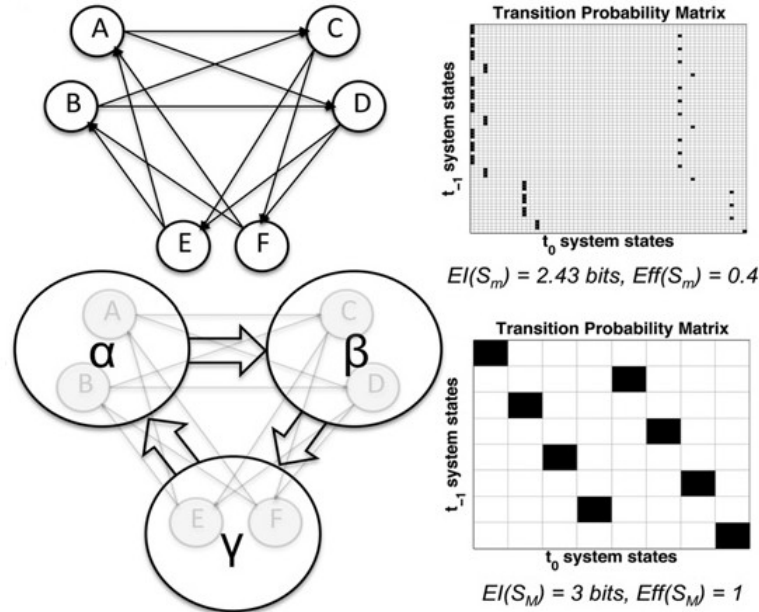
- Räumliche Emergenz
  - Kleineres System
- ↔ Weniger Information
- Effektive Information maximiert durch Normierung



Quelle : Hoel, Erik P. and Albantakis, Larissa and Tononi, Giulio (2013)  
Quantifying causal emergence shows that macro can beat micro.

# Emergente Kausalität

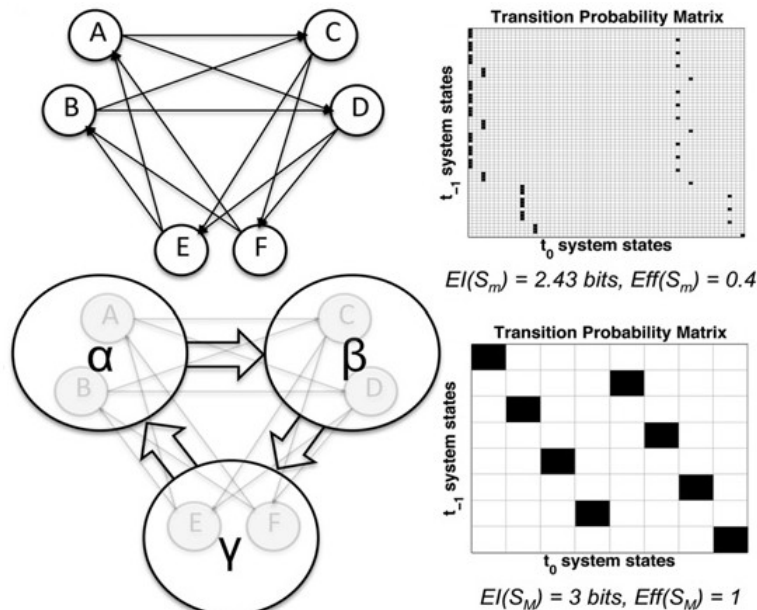
- Räumliche Emergenz
- Zeitliche Emergenz
  - Langfristige Effekte durch größere Zeitschritte



Quelle : Hoel, Erik P. and Albantakis, Larissa and Tononi, Giulio (2013)  
Quantifying causal emergence shows that macro can beat micro.

# Emergente Kausalität

- Räumliche Emergenz
- Zeitliche Emergenz
- Raumzeitliche Emergenz
  - Kombination der Räumlichen und Zeitlichen Emergenz



Quelle : Hoel, Erik P. and Albantakis, Larissa and Tononi, Giulio (2013)  
Quantifying causal emergence shows that macro can beat micro.



# Starke und Schwache Emergenz

- Wichtige Unterscheidung zwischen Starker und Schwacher Emergenz
  - Starke Emergenz nicht durch Supervenienz erklärbar

# Starke und Schwache Emergenz

- Wichtige Unterscheidung zwischen Starker und Schwacher Emergenz
  - Starke Emergenz nicht durch Supervenienz erklärbar
  - Schwache Emergenz ist unerwartetes Ergebnis der Supervenienz

# Fazit

- Präziser ist nicht gleichbedeutend mit informativer.

# Fazit

- Präziser ist nicht gleichbedeutend mit informativer.
- Nicht jeder Effekt lässt sich beliebig verkleinern.

# Fazit

- Präziser ist nicht gleichbedeutend mit informativer.
- Nicht jeder Effekt lässt sich beliebig verkleinern.
- Forschungen auf jeder Skala können zu relevanten Ergebnissen führen.

# Fazit

- Präziser ist nicht gleichbedeutend mit informativer.
- Nicht jeder Effekt lässt sich beliebig verkleinern.
- Forschungen auf jeder Skala können zu relevanten Ergebnissen führen.
- Agenten entstehen durch kausale Emergenz.

# Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!