Hierarchical Self-Organization in the Finitary Process Soup

von

Görnerup und Crutchfield

Clemens N. Buss

Proseminar Artificial Life
21. May 2012

Motivation

- Die Genomgröße vieler Spezies ähnelt sich sehr
  - Der Mensch hat 30% mehr Gene als *Caenorhabditis elegans*
  - Menschen und Mäuse unterscheiden sich kaum in der Größe des Genoms
- Viele Gene sind für elementare Prozesse zuständig und in vielen Organismen gleich

Hierarchie

- Hypothese: Funktionen und Morphologie werden nicht direkt in den Genen kodiert, sondern es gibt eine Art Hierarchie
- Hierarchische Struktur würde es erlauben eine exponentiell höhere Anzahl von Funktionen zu adressieren als bei direkter Gen-Funktion Kodierung

Prä-Biologie

- Bevor es Entitäten gab auf die die Evolution wirken konnte gab es wahrscheinlich viel einfacherer sich replizierende Objekte
- Die *Finitary Process Soup* ist ein Model um den Übergang in die biologische Organisation zu untersuchen
- Die elementaren Objekte sind ε-Maschinen
- Die Umgebung ist ein gut gemischter Reaktor

ε-Maschinen

- Die strukturelle Komplexität vom ε-Maschinen ist definiert und berechnbar
- Es gibt keine Unterscheidung zwischen Daten und Programm bzw. Gen und Protein
- ε-Maschinen sind nichts anderes als Kommunikationskanäle aus der Informationstheorie
- Stochastische Informationsquelle, diskret in Zeit und diskret in den Werten

ε-Maschinen 2

- Definiert durch eine bi-infinite Sequenz von Symbolen:

$$\overleftrightarrow{S} = \ldots S_{t-1} S_t S_{t+1} \ldots$$

- Menge S der kausalen Zustände:

$$\epsilon(\overleftarrow{s}) = \{\overleftarrow{s}' | \mathrm{P}(\overrightarrow{S} | \overleftarrow{S} = \overleftarrow{s}) = \mathrm{P}(\overrightarrow{S} | \overleftarrow{S} = \overleftarrow{s}')\}$$

Der kausale Zustand einer Vergangenheit $\overleftarrow{s}$ ist die Menge aller Vergangenheiten, die die gleiche Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Zukunft besitzen

ε-Maschinen 3

- Der Übergang eines kausalen Zustands in den nächsten wird durch eine Übergangsmatrix beschrieben:

$$T_{ij}^{(s)} \equiv \mathrm{P}\left(\mathcal{S}' = \mathcal{S}_j, \quad \overrightarrow{S}^1 = s \middle| \mathcal{S} = \mathcal{S}_i\right)$$

S ist der aktuelle Zustand, S' der Nachfolger, $\overrightarrow{S}^1$ das nächste Symbol

- Eine ε-Maschine ist das geordnete Paar {S,T}
- Sie verarbeiten Informationen gemäß dem Alphabet

$$\mathcal{A} = \{0|0, 0|1, 1|0, 1|1\}$$

Strukturelle Komplexität

- ε-Maschinen sind Transformationen.
- Frage: Wieviel Struktur geben sie der Ausgabe bei Verarbeitung der Eingabe?
- Strukturelle Komplexität der ε-Maschine M:
  (die Menge an Speicher die M hat und der Eingabe zuführen kann):

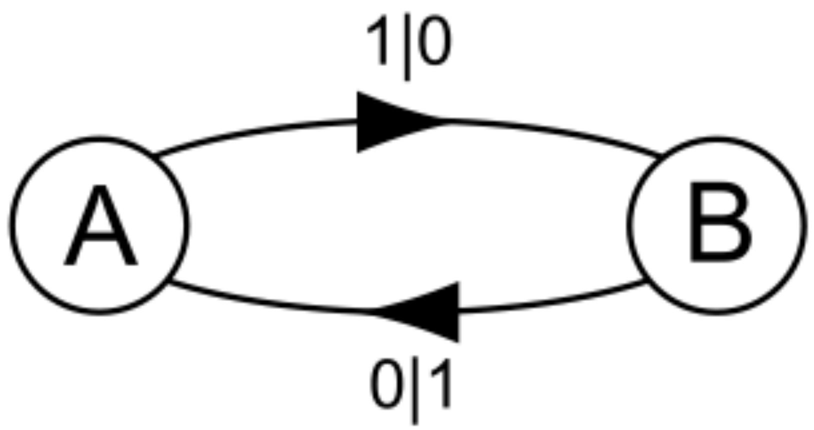
$$C_\mu(M) \equiv -\sum_{v \in \mathcal{S}} ps(v) \log_2 ps(v)$$

ps: Wahrscheinlichkeitsverteilung der kausalen Zustände

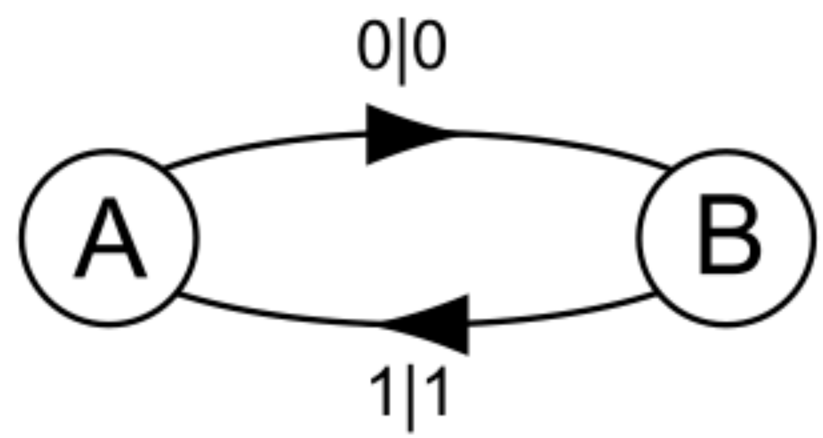
Beispiele

T_A

T_B

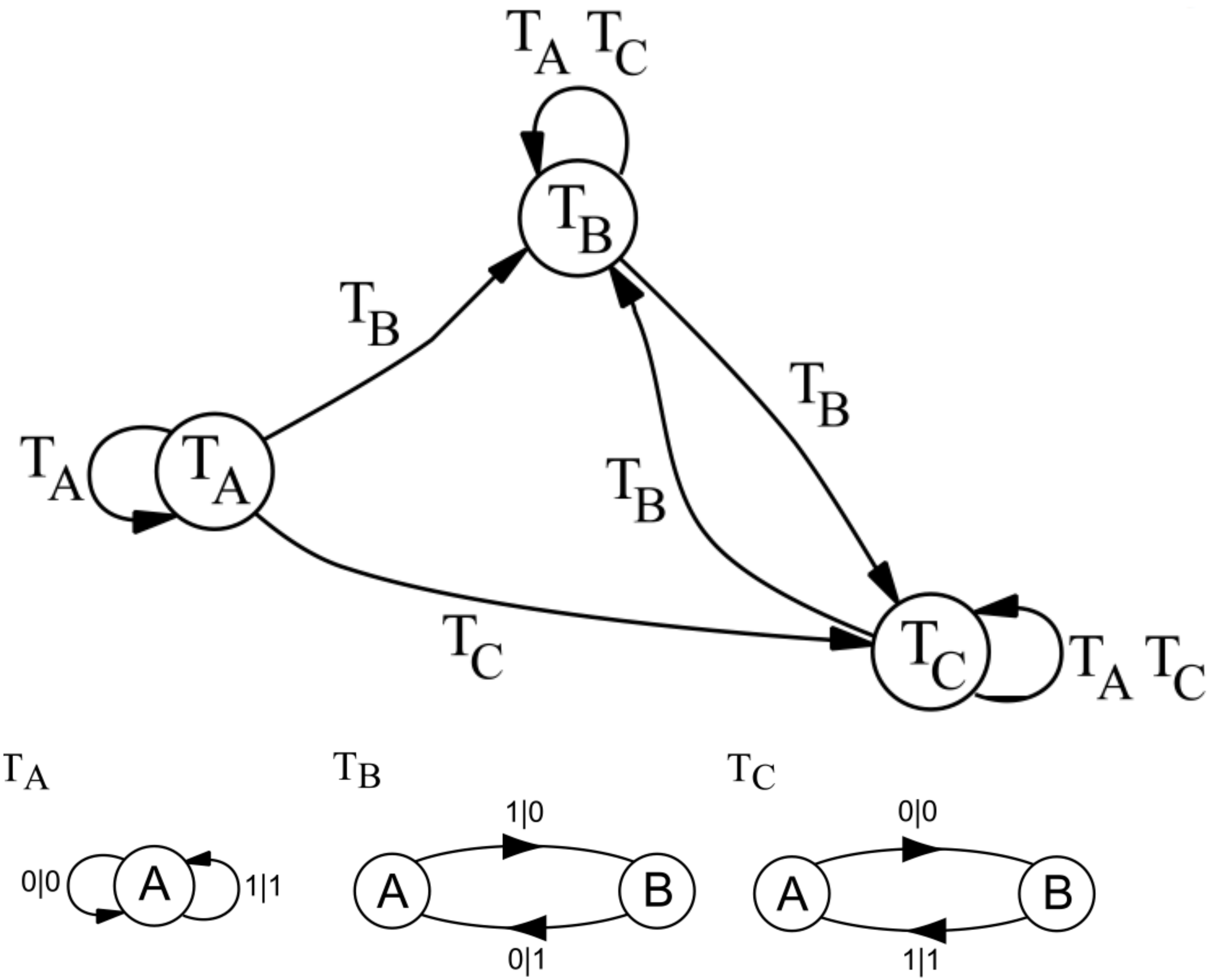


T_C



Interaktionsnetzwerke

- Verkettung von elementaren ε-Maschinen: $T_k = T_j \circ T_i$



Metamaschinen

- Gegeben sei eine Menge von ε-Maschinen
- Wir sprechen von einer Metamaschine, falls alle ε-Maschinen der Metamaschine durch eine Verkettungen von ε-Maschinen herstellbar sind
- Wir können die <u>Komplexität</u> einer solchen Metamaschine berechnen

Populationsdynamik

1. ε-Maschinen Herstellung:

   a) Mit Wahrscheinlichkeit Φ_{in} erstelle eine zufällige ε-Maschine T_{R} (Influx).

   b) Mit Wahrscheinlichkeit 1- Φ_{in} (Reaktion):

      i. Wähle T_A und T_B zufällig.

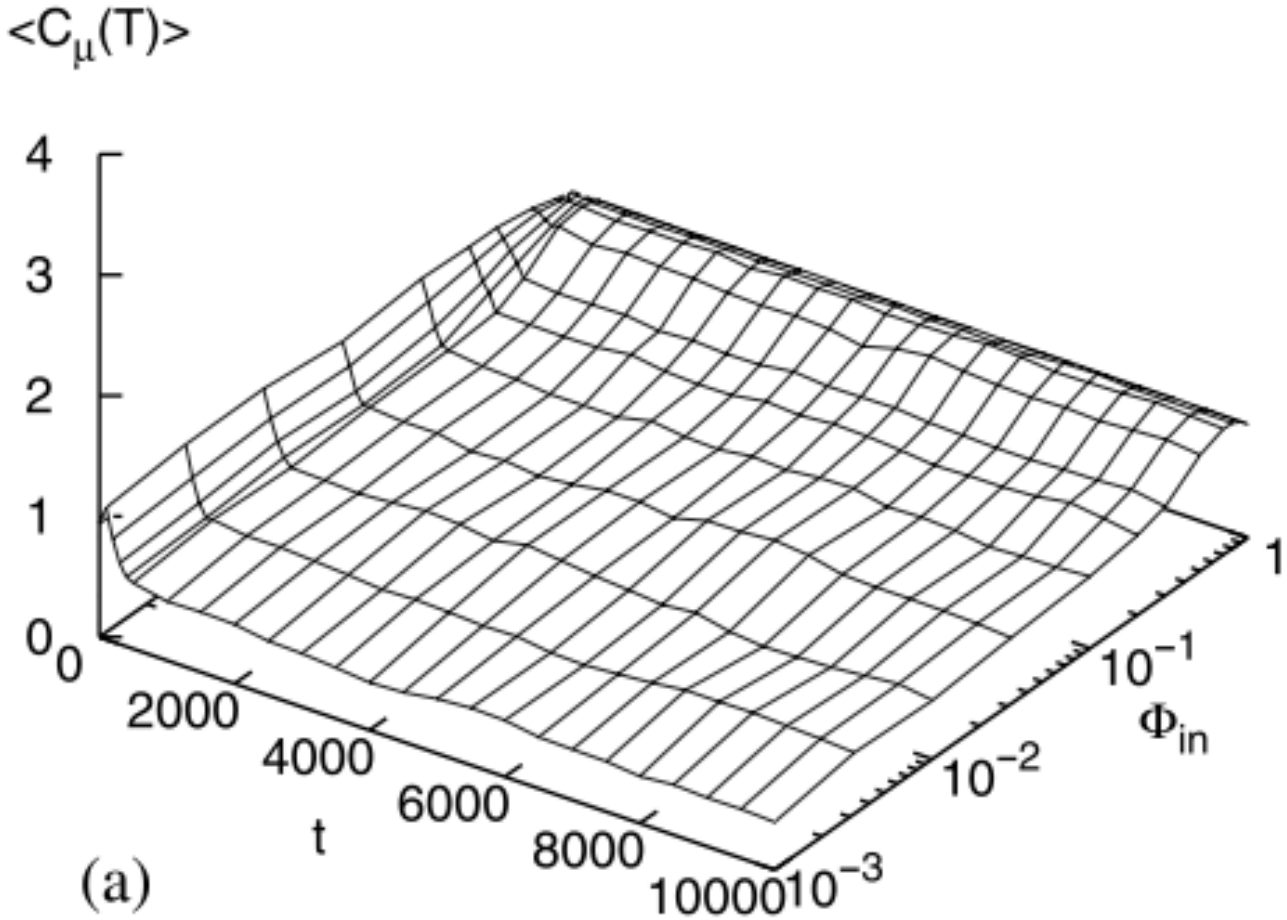
      ii. Erstelle die Komposition $T_C = T_B \circ T_A$.

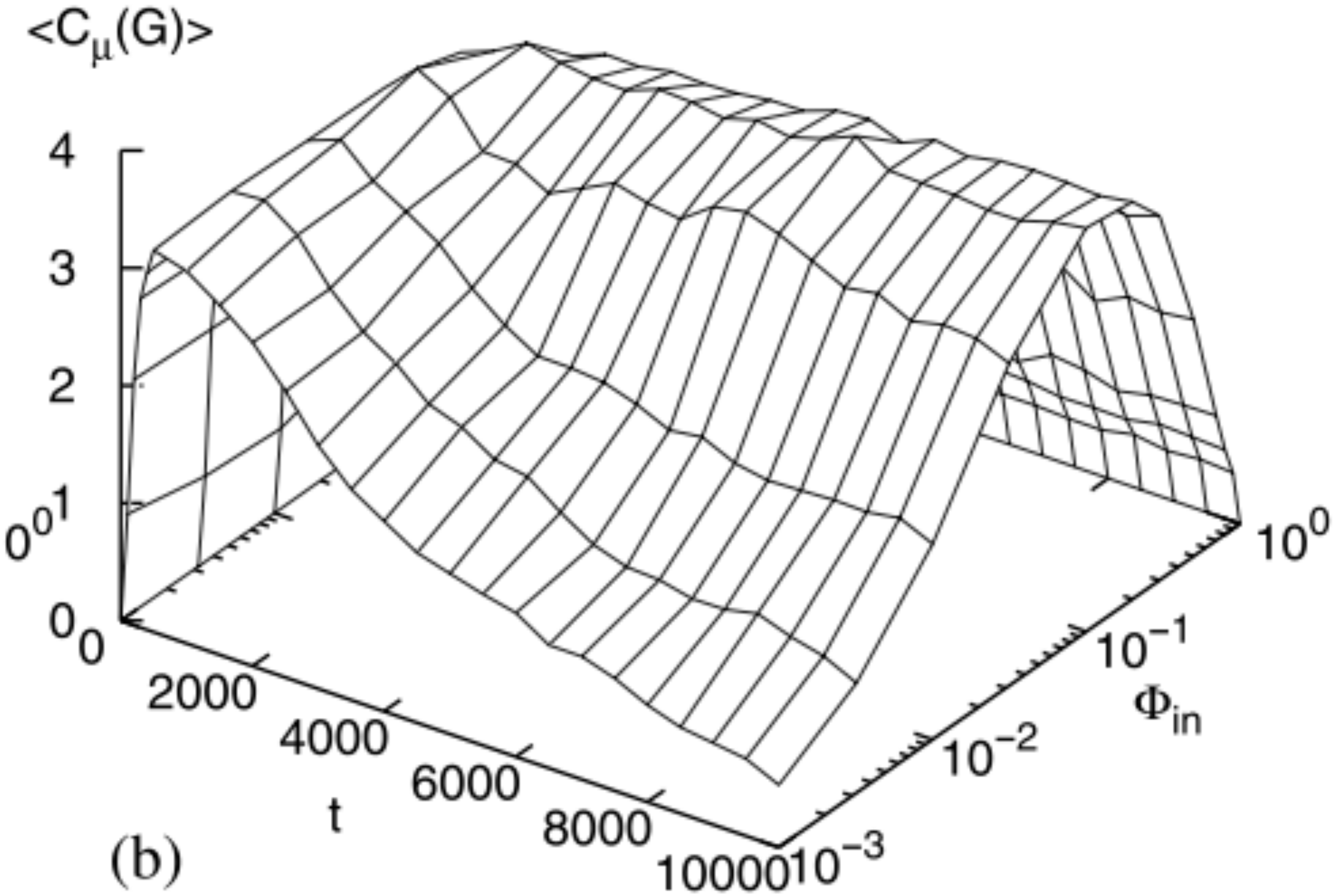
2. ε-Maschinen Outflux:

   a) Wähle eine ε-Maschine T_D zufällig aus der Pop.

   b) Ersetze T_D durch T_C oder T_{R}.

Ergebnisse





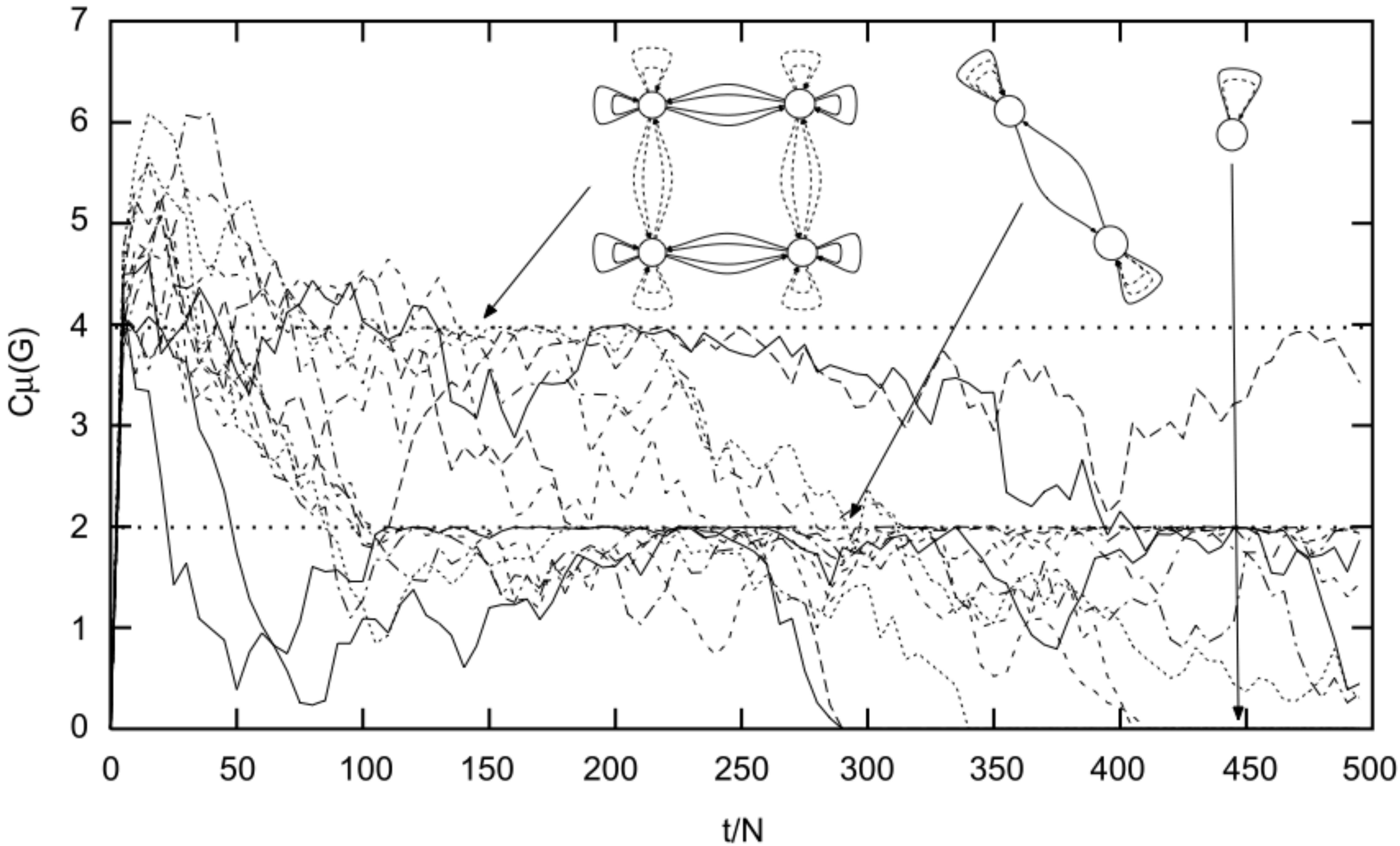
ε-Maschinen Komplexität, gemittelt über die Population

Netzwerk-Komplexität, gemittelt über Simulationsläufe

Ergebnisse Influx=0

- Die individuelle Komplexität steigt zunächst
- Fällt dann aber ab, da es die einfachste Lösung ist ein sich selbst reproduzierendes Individuum zu sein
- Die Interaktionskomplexität steigt ebenfalls zunächst bis eine einzelne sich reproduzierende ε-Maschine die Population dominiert
- Dies kann man verstehen, da eine Metamaschine sich auflöst sobald ein Konstituent durch den Outflux die Population verlässt

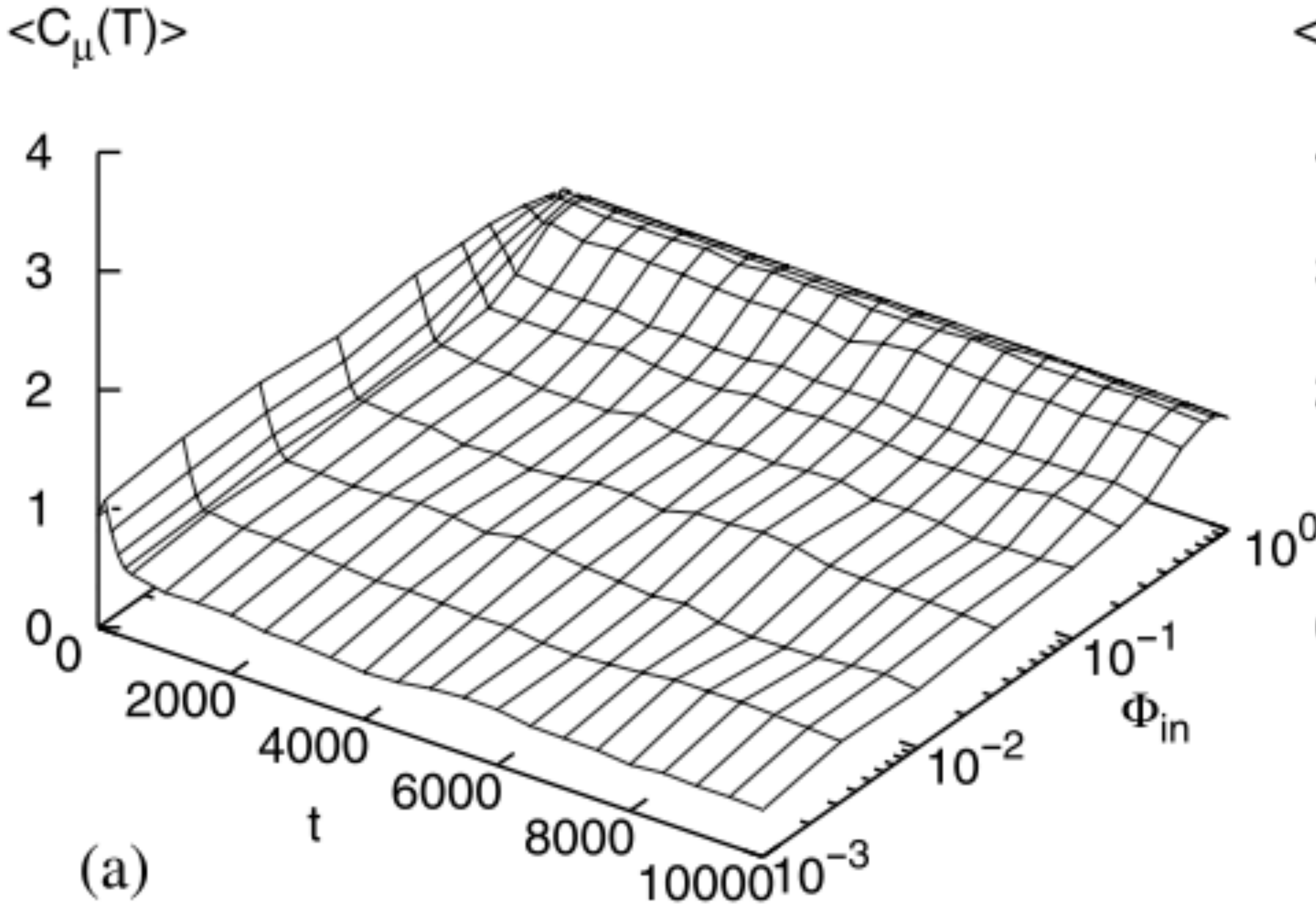
Ergebnisse

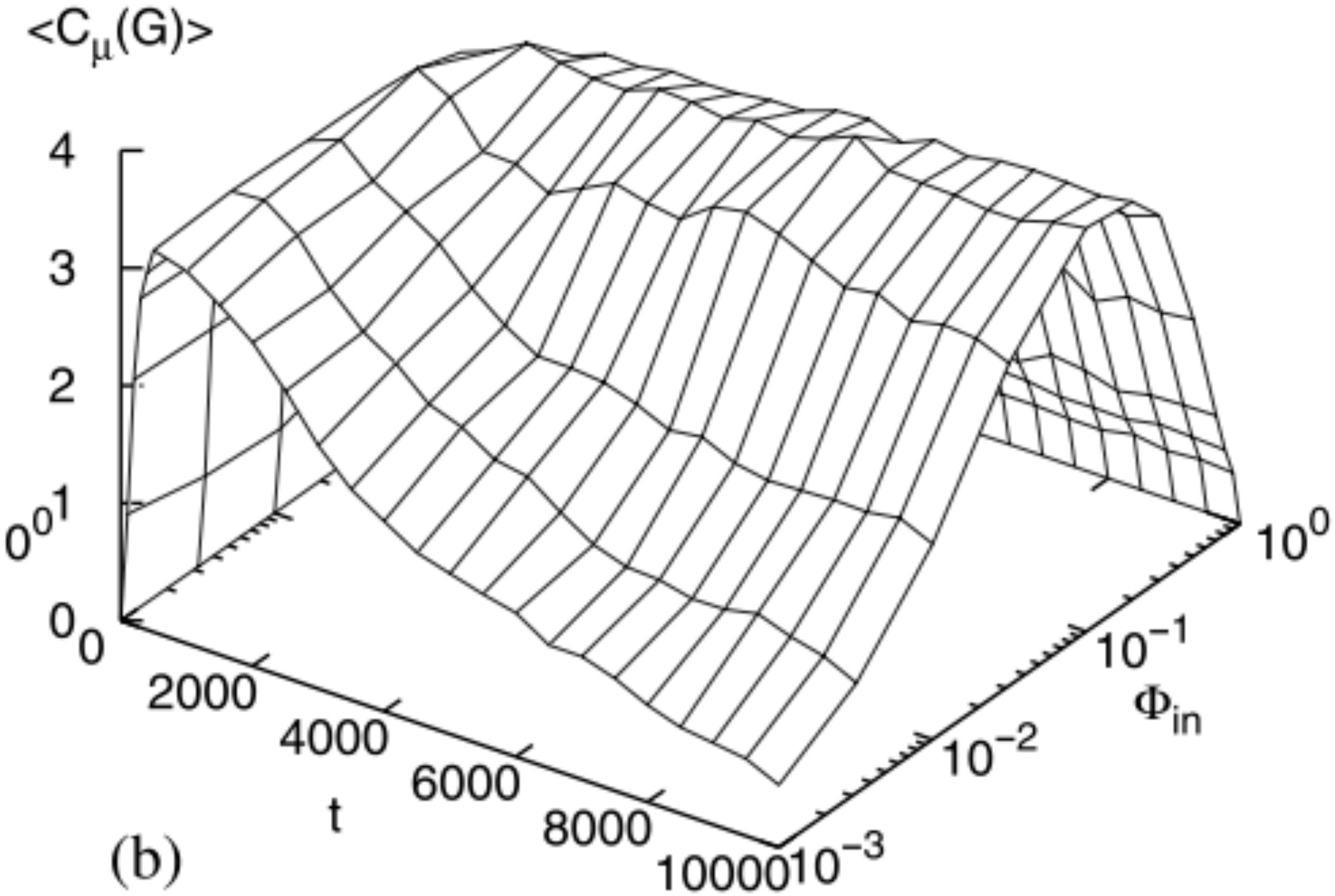


Ergebnisse mit Influx

- Die individuelle Komplexität verhält sich ähnlich wie im Falle von keinem Influx
- Dagegen steigt die Interaktionskomplexität für ein gewisse Influx-Raten (.75) trotz niedriger struktureller Komplexität.

Ergebnisse





ε-Maschinen Komplexität, gemittelt über die Population

Netzwerk-Komplexität, gemittelt über Simulationsläufe

Kernaussagen

- Bei einem offenen System wird strukturelle Komplexität über transformative Beziehungen aufgebaut.
- Die Individuen repräsentieren dann eher elementare Funktionen
- Metamaschinen zerfallen in geschlossenen Systemen. Für eine ansteigende strukturelle Komplexität bedarf es ständigen Zufluss von zufälligen ε-Maschinen
- Bei einer bestimmten Influx-rate wächst die Komplexität linear mit der Zeit