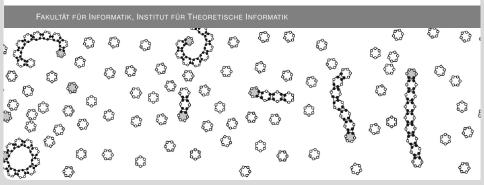


# **Computation and Pattern Formation by Swarm Networks with Brownian Motion**

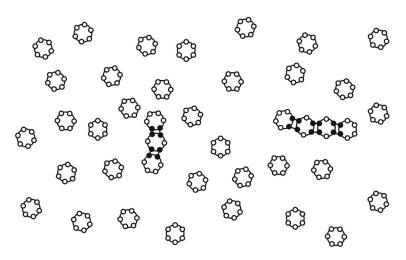
22.07.2019 Niklas Bühler



4 D > 4 A > 4 B > 4 B >

## Um was geht's?







#### **Das Modell**



- Drei Arbeiten von Teijiro Isokawa, Ferdinand Peper und anderen in zehn Jahren
  - Computing by Swarm Networks, 2008
  - Swarm Networks in Brownian Environments, 2015
  - Computation and Pattern Formation by Swarm Networks, 2018
- Wiederverwendung und Weiterentwicklung der Modelle



#### **Eine Zelle**





#### Def. Zelle A = (Q, T, P, f, X)

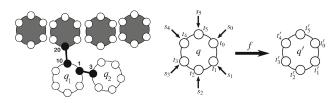
- Zustandsmenge Q
- Anschlusszustände  $T = S^n$

- Verbundene Anschlüsse  $P = (S \cup \{\emptyset\})^n$
- Zustandsübergangsfunktion  $f: Q \times T \times P \rightarrow Q \times T$
- Position  $X \in R$



#### Zellen





#### Anschlüsse und Verbindungen

- Ein Zustand pro Anschluss
- Verbindungen zwischen Anschlüssen

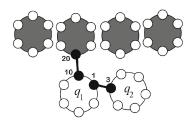
#### Zustandsübergangsfunktion $f: Q \times T \times P \rightarrow Q \times T$

- Rotationssymmetrisch
- Asynchron



#### Wandzellen





- Nicht aktiv: Zustand *q*<sub>1</sub>, Anschlusszustand 20
- Nicht durch Brownsche Bewegung beeinflusst
- Begrenzen Raum und geben Struktur für aktive Zellen



#### **Schwarmnetzwerk**



## Def. Schwarmnetzwerk $S = (S_A, S_C, S_D)$

- Zellen  $S_A$ : aktive und Wandzellen
- lacktriangle Verbindungsaufbaubedingungen  $\mathcal{S}_{\mathcal{C}}$
- lacktriangle Verbindungsabbaubedingungen  $\mathcal{S}_{\mathcal{D}}$
- Alle aktiven Zellen gleichartig

Niklas Bühler – Proseminar Zellularautomaten und diskrete komplexe Systeme

Brownsche Bewegung



## Verbindungsbedingungen



- Regulieren Verbindungen
- Stochastischer Prozess

## Def. Verbindungsaufbaubedingung $C = (S_1, S_2, R)$

- Erlaubte Zustände des ersten Anschlusses S<sub>1</sub>
- Erlaubte Zustände des zweiten Anschlusses S<sub>2</sub>
- lacktriangle Maximale Entfernung der Anschlüsse  $R\in\mathbb{R}_0^+$

## Def. Verbindungsabbaubedingung $D = (S_1, S_2)$

- $S_1$  und  $S_2$  wie oben
- Distanz bereits durch elastische Verbindungen limitiert



#### Stochastik im Modell



#### Brownsche Bewegung

- Fluktuation in Position
  - → Distanz → Nachbarschaft → Funktionalität
- Zelle hat Einfluss durch Setzen der Anschlusszustände
  - → Verbindungen aufrechterhalten/abbauen
  - $\rightarrow$  Verbindungen aufbauen

#### Asynchronität

- Zustandsübergänge
- Verbindungsauf- und -abbau



## Modellparameter



- lacktriangle Zellen befinden sich im  $\mathbb{R}^2$
- Jede Zelle hat n = 6 Anschlüsse
- Zustandsmenge  $Q = \{q_1, q_2\}$
- Anschlusszustände  $T = S^6$  bzw.  $P = (S \cup \{\emptyset\})^6$  mit  $S = \{1, ..., 20\}$

#### **Brownsche Schaltkreise**



- Leitungen und Gatter
- Token-basiert: Signale sind Token
- Token: diskret, unteilbar, innerhalb Leitungen konserviert

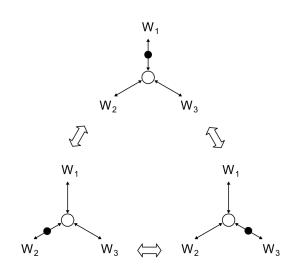
#### Leitung

- Verbindung zwischen zwei Gattern
- Maximal ein Token zu jedem Zeitpunkt
- Flussrichtung frei
- Keine Deadlocks



### Hub

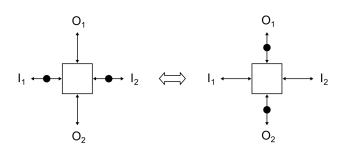






#### **CJoin**

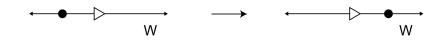






#### **Ratchet**







## Leitungen





#### Leitung aus Zellen

- Nur maximal ein Token, bzw. Signal
- Token ist nicht Zelle, sondern Zustand q<sub>2</sub>
- Viele Zellen in Leitung, aber nur eine im Zustand q<sub>2</sub>
- Mehrere Wandzellen formen durch zwei parallele Linien räumliche Begrenzung
- Vergleichbar mit Rohr, in dem sich bewegliche Zellen befinden



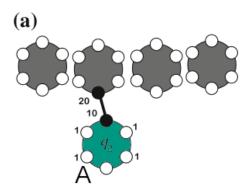
## Signalübertragung



- Zustand q<sub>2</sub> wechselt Zellen
- Darf sich nur kontrolliert verbreiten, um sich nicht zu vermehren oder verloren zu gehen
- Kommunikation und Synchronisation essenziell, da Zellen unabhängig voneinander
- Handshake-Protokoll
- Im Folgenden: Irrelevant, auf welcher Seite sich andere Zelle befindet
  - → Bidirektionalität und Fluktuation des Signals

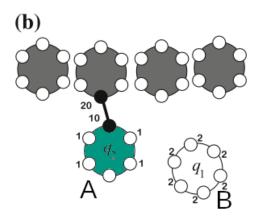






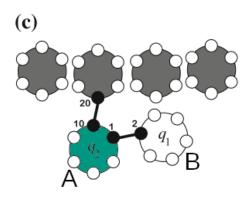






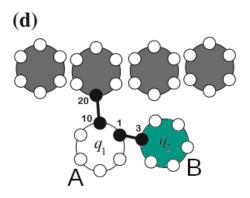






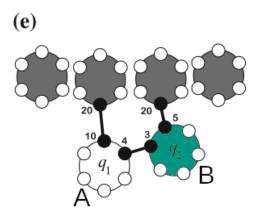






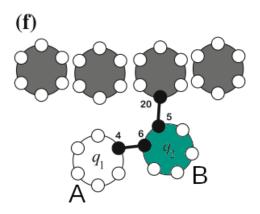






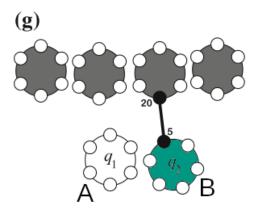










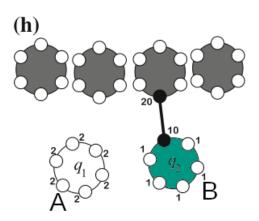




Implementierung

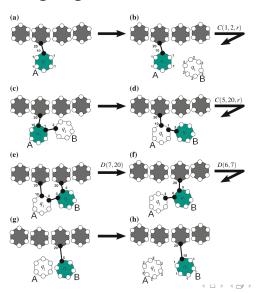
0000000000















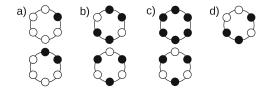


990

## Zelltypen



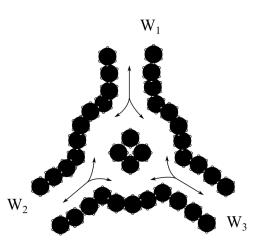
- Realisierung besteht ausschließlich aus aktiven Zellen und Wandzellen
- Alle Zellen teilen sich Zustandsmenge, Anschlusszustandsmenge und Zustandsübergangsfunktion
- Unterscheidung von Zelltypen durch Verbindungsmuster möglich





### **Hub: Struktur**

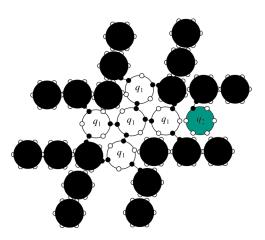






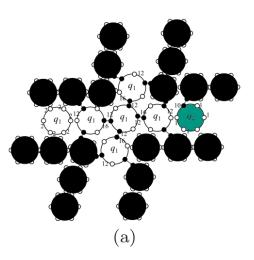
## Kreuzung: Struktur





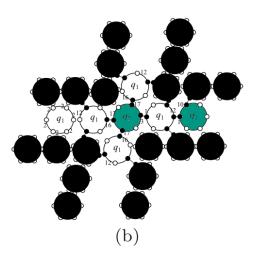






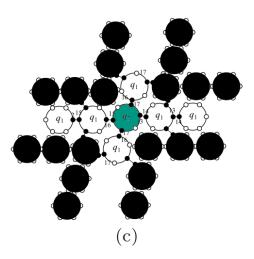






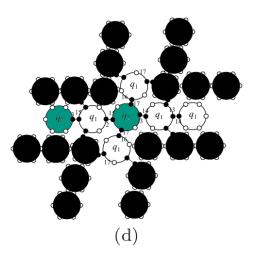






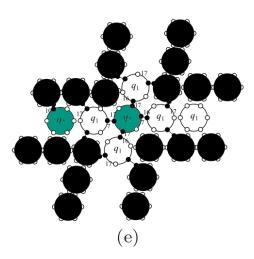






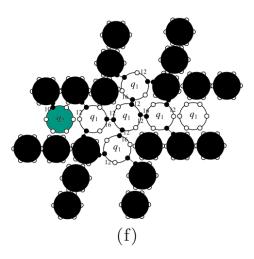






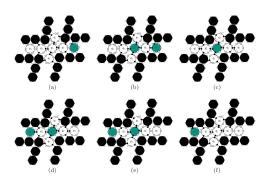








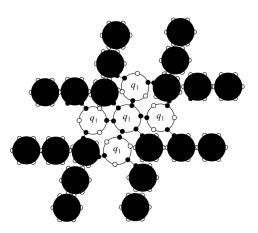






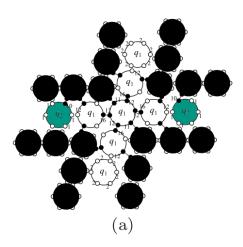
## **CJoin: Struktur**





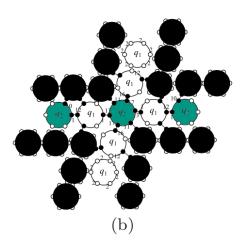






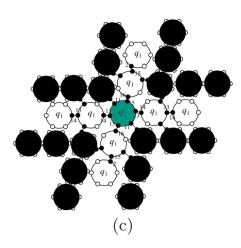






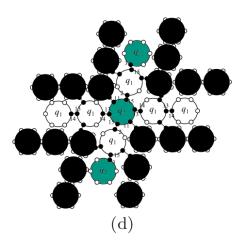






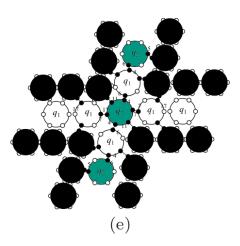






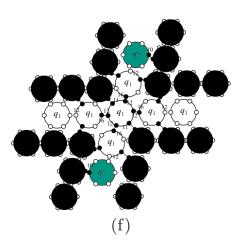






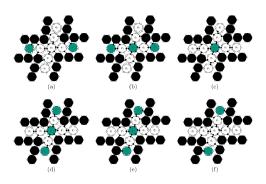








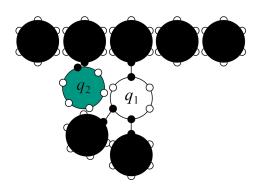






#### **Ratchet: Struktur**



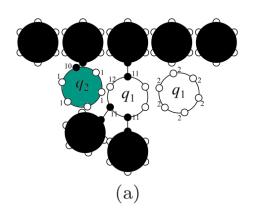




Niklas Bühler - Proseminar Zellularautomaten und diskrete komplexe Systeme

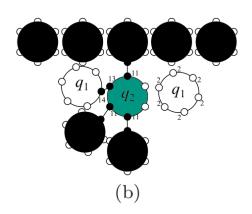
Fazit





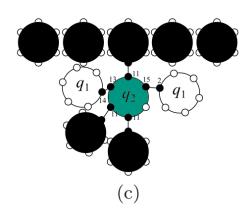






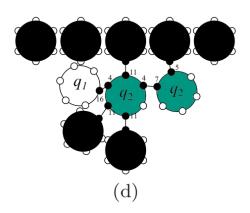






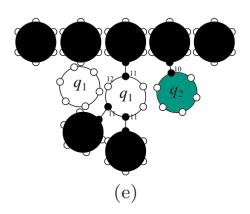






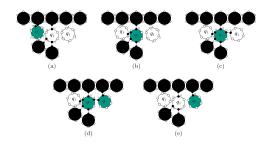














#### **Fazit**



- Universelle Berechnung durch Mealy-Automaten und flexible Nachbarschaft
- Wandzellen essenziell für Struktur
- Berechnung in der Praxis recht langsam
- Obere Schranke für Zustandsmengen
- Implementierung in Biologie/Chemie?
  - → Proteine

