

# Softcomputing – Biologische Prinzipien in der Informatik

---

Dipl. Math. Maria Oelinger, Universität Duisburg-Essen  
Dipl. Inform. Gabriele Vierhuff, Universität Bremen

[www.collide.info/~oelinger](http://www.collide.info/~oelinger)



IF TIF 08 – 2003  
Zellulare Automaten

# Vorschau

---

- 👁👁 Einführung und Geschichte
- 👁👁 Das biologische Prinzip
- 👁👁 Grundlagen
- 👁👁 Game of Life
- 👁👁 Zellulare Automaten und Neuronale Netze

# Einführung

---



Mathematisches System



Künstliches Leben / künstliche Intelligenz



Spiel



Simpel: Mit Dame-Steinen auf einem Spielbrett zu erzeugen\*

\* Beginne mit einem Muster aus schwarzen Spielsteinen.

Zellen, die sterben, markiere mit noch einem schwarzen Stein, den Du auf den vorhandenen legst.

Auf ein leeres Feld, auf dem eine Geburt stattfindet, lege einen weißen Stein.

Entferne alle toten Zellen (zwei Steine übereinander) und ersetze die weißen Steine durch schwarze.

Quelle: [www.fim.uni-linz.ac.at/lva/rus/CellulareAutomaten/CA\\_Index.htm](http://www.fim.uni-linz.ac.at/lva/rus/CellulareAutomaten/CA_Index.htm)

# Geschichte – Anfänge

---



John von Neumann (50er Jahre)  
Automatentheorie: Zellularautomat



John Conway "Game of Life" (1970)

mit Martin Gardner (Scientific American)

50,- \$ für Gegenbeweis der Behauptung:

"Keine endliche Anfangskonfiguration kann unendliche  
Bevölkerungen erzeugen"

⇒ Gleiterkanone / Dampfisenbahn (William Gosper)



Beweis mittels Gospers Ergebnissen:  
Zellularautomat als universelle Turing-Maschine

# Geschichte – 80er Jahre

---



Zusammenhang mit Chaos, Komplexitätstheorie, Nichtlinearer Dynamik ... (Wolfram, Fredkin, Packard u. a.)



1982: Modell-Universum von Fredkin  
Abbildung der Naturgesetze möglich



1984: Klassifikation von Wolfram

# Das biologische Prinzip

---

Beispiel: Regeln für Schwarmverhalten

👁👁 1. Den Schwarm zusammenhalten

👁👁 2. Geschwindigkeit anpassen

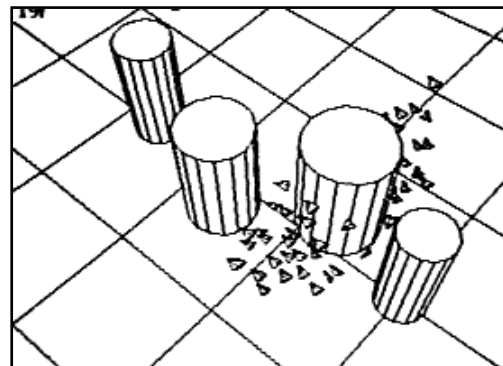
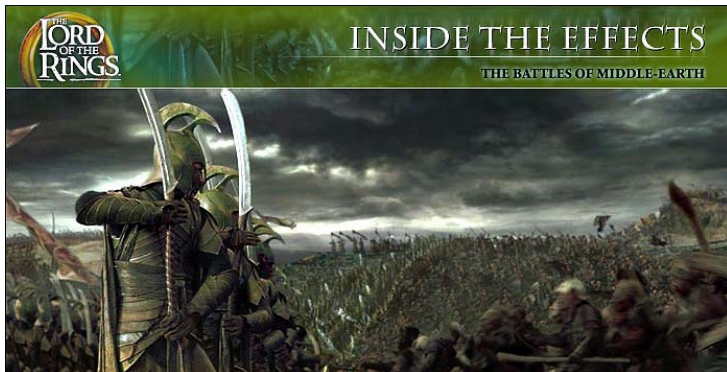
👁👁 3. Abstand halten

# Das Prinzip im ZA

---

## Schwarmverhalten von boids\*

- 👁👁 1. Zentrum des Schwarms ermitteln und dorthin bewegen
- 👁👁 2. Geschwindigkeit der Nachbarn ermitteln  $\Rightarrow$  beschleunigen oder bremsen
- 👁👁 3. Ausweichen bei Kollisionsgefahr



\* birdoids: Vögel, Fische etc.  
(Craig Reynolds 1987)

Quellen: [LOTR / Levy]

# Grundlagen

---



Definitionen



Merkmale



Typen



Klassifikation nach Wolfram



# Zellulärer Raum ZR

---

👁️👁️ n-dimensionaler Raum, eingeteilt in diskrete Zellen

👁️👁️ Auch "Gitter"

👁️👁️ Zellen sind z. B.

👁️👁️ Einheitsintervalle auf der Geraden

👁️👁️ Einheitsquadrate oder Wabenzellen in der Ebene

👁️👁️ Einheitshyperwürfel im n-Dimensionalen

# Zustandsmenge $Z$

---



Menge der Zustände, die jede Zelle im Zellularen Raum einnehmen kann



Zustandsmenge  $Z = \{0, 1\}$  für binäre Zellulare Automaten

von Neumann: 29 Zustände für Selbstreproduktion (später 8)

# Nachbarschaft von Zellen N

---

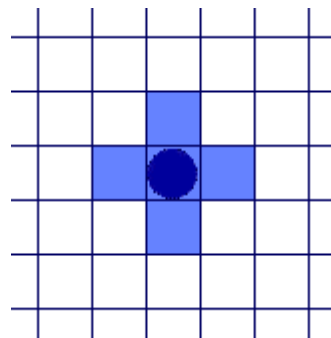
Endliche Menge von Zellen, alle Zellen besitzen dieselbe relative Nachbarschaft, z. B.



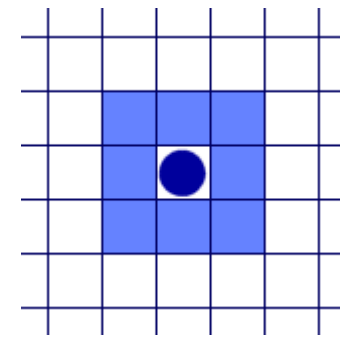
$$N = \{a-3, a-2, a-1, a, a+1\}$$



$$N = \{a-2, a+1, a+2\}$$



von-Neumann-Nachbarschaft



Moore-Nachbarschaft  
Game of Life

# Zustandsüberführung ZF

---



Überföhrungsfunktion

👁️👁️ Eingabe: Zustände der Zellen

👁️👁️ Zustandsänderung zum nächsten Zeittakt, je nach Nachbarschaft

👁️👁️ Auch "Regeln"



Zeittakt

👁️👁️ Diskrete Zeit  $t$ , also  $ZF: ZA_t \rightarrow ZA_{t+1}$

# Zellularer Automat ZA

---



... ist mathematisches System, das aufgrund einfacher Regeln hochkomplexes Verhalten zeigt



Jede Zelle prüft zu jedem Zeittakt die Aktivität ihrer Nachbarn und interagiert dann gemäß vorgegebener Regeln



$ZA = (ZR, Z, N, ZF)$

# Merkmale

---



(Mehrdimensionales) Netz aus Zellen, die mit ihren Nachbarn interagieren



Jede Zelle hat einen von  $m$  möglichen diskreten Zuständen



Raumzeitsystem



Die Zellen berücksichtigen bei Zustandsübergängen die Zustände ihrer Nachbarzellen

# Typen

---

Entwicklung durch Selbstreproduktion



Reversibler Typ: Dieselben Strukturen kehren ständig wieder



Irreversibler Typ: Immer neue Strukturen entstehen

# Klassifikation

---

## Klasse 1

ZAs ergeben von den Anfangszuständen aus fixen Endzustand



## Klasse 2

ZAs erzeugen Muster als konstanten oder periodischen Endzustand



Quelle: [Kurth]



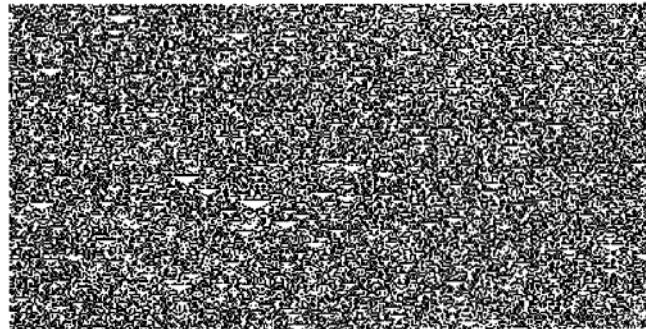
# Klassifikation

---

## Klasse 3

Chaotisches Verhalten, keine Periodizität der Muster

⇒ Chaotischer Endzustand fraktaler Dimension



Quelle: [Kurth]

Solche zellularen Automaten liefern Erklärungsmodelle für die Evolution des Universums, da deren Verhalten zeitlich nicht symmetrisch ist.

# Klassifikation

---

Klasse 4

Entwickeln komplizierte, lokal getrennte Strukturen

⇒ Zwischen Chaos und Ordnung



Quelle: [Kurth]

Solche Strukturen können sich auf eine unendliche Reise durch Raum und Zeit begeben. Das Ergebnis ist nicht vorhersagbar.

# Game of Life

---

👁️👁️ Beschreibung

👁️👁️ Regeln

👁️👁️ Verhaltensweisen

👁️👁️ Figuren

# Beschreibung

---

## Zellularer Automat

👁👁 Unendliches Gitter aus Zellen

👁👁 2 Zellzustände (tot oder lebendig)

👁👁 8 Nachbarn (seitlich und an den Ecken)

# Regeln

---

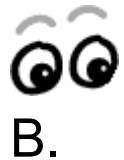


Lebende Zelle überlebt bei  
genau 2 oder 3 lebenden Nachbarn;  
andernfalls stirbt die lebende Zelle  
an Überbevölkerung oder Vereinsamung



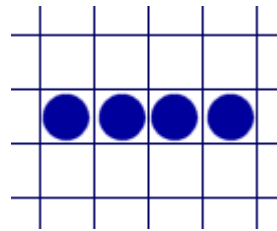
Geburt auf leerer Zelle bei  
genau 3 lebenden Nachbarn

# Verhaltensweisen

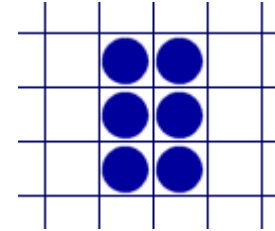


Stabiles Muster, z.

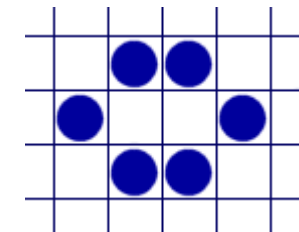
B.



Generation 0



Generation 1



Generation 2 –  $\infty$



Zyklisches Verhalten eines Musters – Oszillatoren



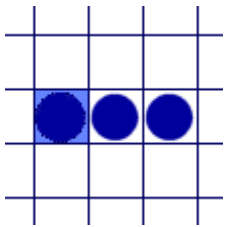
Verschwinden von Figuren



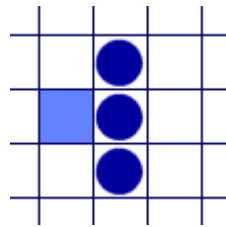
Figuren, die durch das Gitter wandern (Selbstreproduktion), z. B. Gleiter  
Möglichkeit der Nachrichtenvermittlung

# Blinker

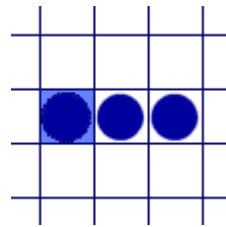
---



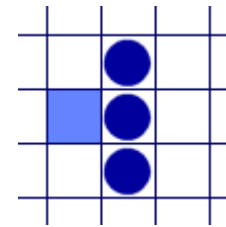
Generation 0



Generation 1



Generation 2

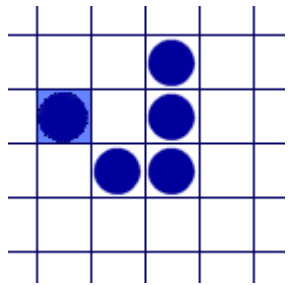


Generation 3

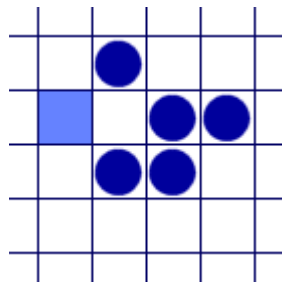
usw. usf.

# Glider

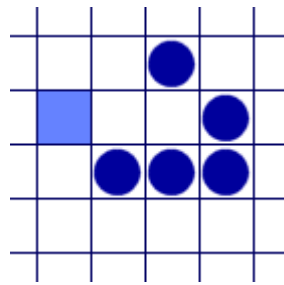
---



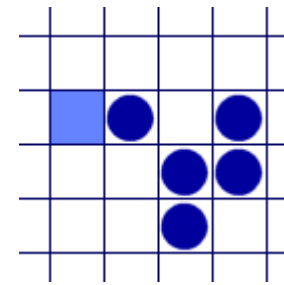
Generation 0



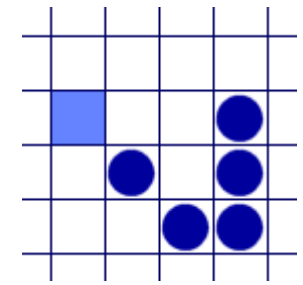
Generation 1



Generation 2



Generation 3

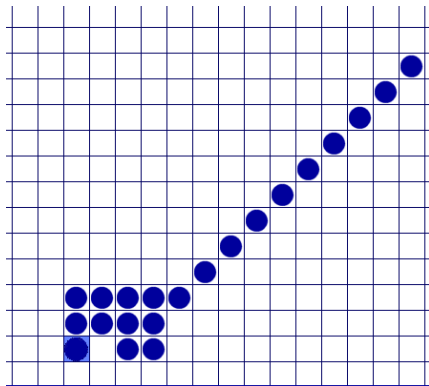


Generation 4

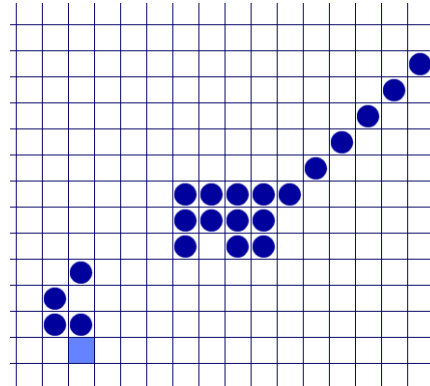


# Harvester

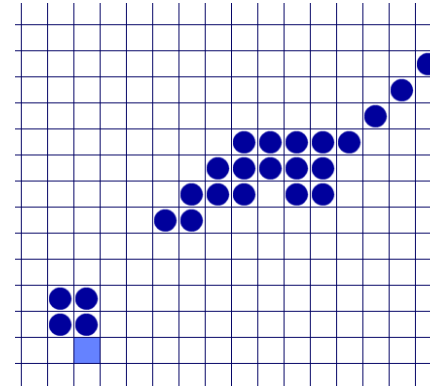
---



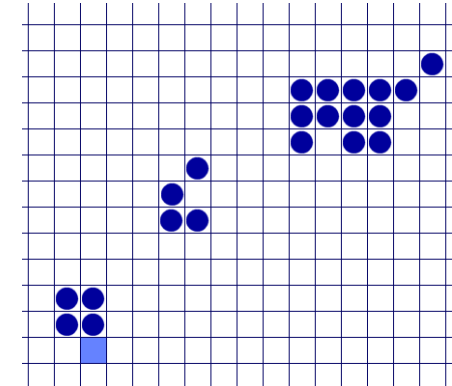
Generation 0



Generation 4



Generation 6



Generation 8

# Zellulare Automaten und Neuronale Netze

---

## ZA als Vorstufe Neuronaler Netze

Selbstorganisation bei Vernetzung von Neuronen

Zellen

im Gehirn erzeugt

Gitter / Nachbarschaften

neue Muster

Klassifikation

durch Phasenübergänge.

Zustandsüberführung

# Weiterlesen im Web

---

👁👁 Herbert W. Franke: "Das Lebensspiel und andere Gitterautomaten". Telepolis-Artikel 1998  
[www.telepolis.de/deutsch/special/robo/6220/1.html](http://www.telepolis.de/deutsch/special/robo/6220/1.html)

👁👁 Artur P. Schmidt: "Zelluläre Automaten". Telepolis-Artikel 1998  
[www.telepolis.de/deutsch/special/robo/6219/1.html](http://www.telepolis.de/deutsch/special/robo/6219/1.html)

👁👁 Uni Linz: "Theorie der zellularen Automaten"  
[www.fim.uni-linz.ac.at/lva/rus/CellulareAutomaten/CA\\_Index.htm](http://www.fim.uni-linz.ac.at/lva/rus/CellulareAutomaten/CA_Index.htm)

👁👁 [Kurth] W. Kurth: "Zelluläre Automaten". Auszug aus der Vorlesung "Artificial Life". TU Cottbus WS 02/03  
[www-gs.informatik.tu-cottbus.de/~wwwgs/al\\_v02a.pdf](http://www-gs.informatik.tu-cottbus.de/~wwwgs/al_v02a.pdf)

# Weiterlesen im Web

---



Volker Berding: "Einführung in die Systemwissenschaft". Universität Osnabrück

[www.usf.uos.de/~vberding/syswi/skript\\_10.pdf](http://www.usf.uos.de/~vberding/syswi/skript_10.pdf)



Johan Bontes: "Life32". Simulator für Conway's Life. Windows'9x/NT/XP. Version 2.15 © 2002. Freeware

<http://life32.lifepatterns.net>



Bruce Wilson: "Demo Java Applets". Webpage mit Java Applets für das Game of Life (Blinker & Gliders). Mit Sourcecode. August 2003

<http://world.std.com/~bgw/applets/1.02/Life/>



[LOTR] Bild: "The battles of middle-earth". Inside the Prologue. August 2003

[www.lordoftherings.net/effects/](http://www.lordoftherings.net/effects/)

# Weiterlesen auf Papier

---

Zwei populärwissenschaftliche Bücher, sehr nett zu lesen:

👁️👁️ [Levy] Steven Levy: "Künstliches Leben aus dem Computer".  
Knaur 1996, ISBN 3-426-77145-4, z. Zt. nur als Gebrauchtbuch

👁️👁️ Roger Lewin: "Die Komplexitätstheorie. Wissenschaft nach der  
Chaosforschung". Knaur 1996, ISBN 3-426-77190-X  
ca. € 19,95

Zu Boids in Spielen und beim Herrn der Ringe:

👁️👁️ Clemens Gleich: "Scheinintelligenz". In: c't 8/2003, Seite 168.  
heise-Verlag. € 3,-

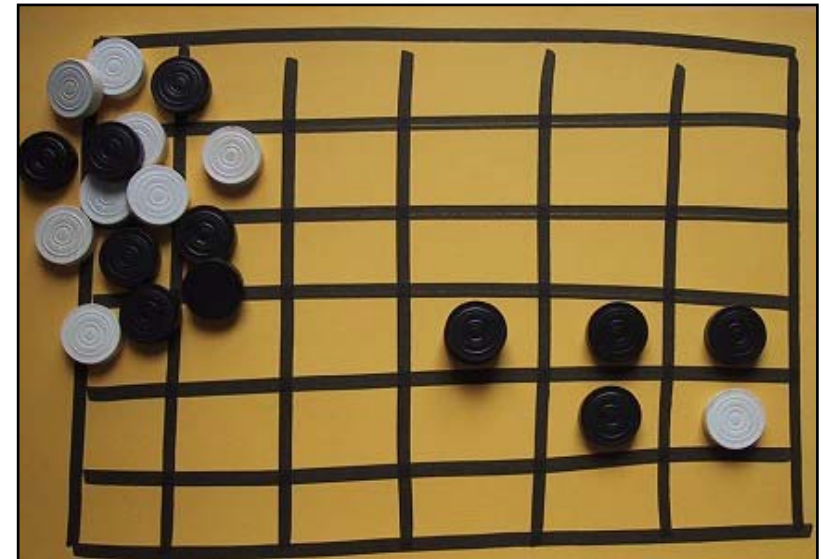
# Cut

---

👁️👁️ Kaffee oder Tee ...

👁️👁️ und Schokoladen ...

👁️👁️ ... Pause



Game of Life mit Damesteinen: Folien 3 + 21