

h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Computational Intelligence

Kapitel 1:

Künstliche Intelligenz, zelluläre
Automaten, Komplexität & Soft
Computing

Dr. Norbert Waleschkowski



Semantis Information Builders GmbH
www.semantis-ib.de

h_da Fachbereich Informatik
Sommersemester 2012
Master-Studiengang

Diese Unterlagen sind nur für den persönlichen Gebrauch der Hörer bestimmt!



Organisation der Lehrveranstaltung

- ▲ Es handelt sich um eine seminaristische Vorlesung, d.h. eine Vorlesung, die durch ein Seminar begleitet wird.

Vorlesung 41.4274

- ▲ Raum: D14/0.04
- ▲ Zeit: Mittwoch, 14:15 – 15:45 Uhr
- ▲ Beginn: 21.03.2012

Seminar

- ▲ Raum: D14/0.04
- ▲ Zeit: Mittwoch, 16:00 – 17:30 Uhr

- ▲ Die LV ist eine Präsenzveranstaltung. Regelmäßige Anwesenheit ist erforderlich.
- ▲ Klausur: Termin wird noch festgelegt
- ▲ Skriptum wird herausgegeben
- ▲ Seminar- bzw. Hausarbeiten: Themen werden noch bekanntgegeben.

Organisation der Lehrveranstaltung

Ich freue mich, ...

- ▲ wenn Sie pünktlich kommen,
- ▲ wenn Sie nicht vor der Zeit gehen,
- ▲ wenn Sie nicht zwischendurch den Saal verlassen,
- ▲ wenn Sie Fragen an mich richten,
- ▲ wenn Sie private Unterhaltungen auf später verschieben.

Basisliteratur

- ▲ Borgelt, Christian; Klawonn, Frank; Kruse, Rudolf; Nauck, Detlef: Neuro-Fuzzy-Systeme – Von den Grundlagen künstlicher Neuronaler Netze zur Kopplung mit Fuzzy-Systemen, Vieweg-Verlag, 2003
- ▲ Duda, Richard; Hart, Peter; Stork, David: Pattern Classification Pt. 1 (2nd Ed.), Wiley & Sons, 2001
- ▲ Görz, G.; Rollinger, C.-R.; Schneeberger, J.: Handbuch der Künstlichen Intelligenz, 4. Auflage, Oldenbourg-Verlag, München Wien 2003
- ▲ Konar, Amit: Computational Intelligence. Principles, Techniques and Applications, Springer-Verlag 2005
- ▲ Kruse, Rudolf; Borgelt, Christian; Klawonn, Frank; Moewes, Christian; Ruß, Georg; Steinbrecher, Matthias: Computational Intelligence; Vieweg-Teubner, 2011
- ▲ Mitchell, Melanie: An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press, 1998
- ▲ Rojas, Raul: Neural Networks – A Systematic Introduction, Springer-Verlag, 1996
- ▲ Schölkopf, Bernhard; Smola, Alexander: Learning with Kernels - Support Vector Machines, Regularization, Optimization and Beyond, MIT Press, 2002
- ▲ Zell, Andreas: Simulation Neuronaler Netze; Oldenbourg-Verlag; 1997

Das Zeitalter der Intelligenten Systeme

- ▲ Das Zeitalter der intelligenten Systeme hat begonnen.
- ▲ Die traditionellen KI-Methoden haben sich (allein) als nicht hinreichend tauglich für den Bau intelligenter Systeme erwiesen.
- ▲ Neue Disziplinen, die sich an Phänomenen der Natur orientieren, wie
 - ➔ Neuronale Netze,
 - ➔ Genetische Algorithmen,
 - ➔ Fuzzy Logik,
 - ➔ Schwarmalgorithmen etc.,ergänzt um neue, mathematisch motivierte Technologien wie die
 - ➔ Statistische Lerntheorie oder die
 - ➔ Lerntheorien (z.B. SVM)stehen bereit, um eine Intelligenz durch Berechnung (Computational Intelligence) zu schaffen.
- ▲ Diese Technologien führen zu einer Form der Informationsverarbeitung, die in der Lage ist, so etwas wie maschinelle Intelligenz zu erzeugen.
- ▲ Diese LV soll grundlegende Kenntnisse in wichtigen Kerndisziplinen der CI vermitteln sowie einen Gesamtzusammenhang herstellen.

Intelligente Software-Technologien – eine verwirrende Vielfalt





Der Begriff „Artificial Intelligence“
wurde in den 1950er Jahren geprägt.

Die 1950er Jahre



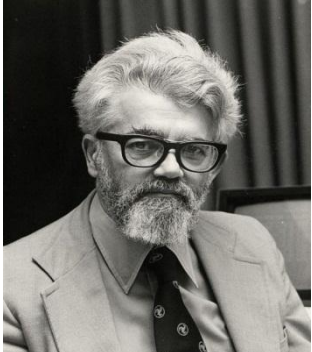
"Perfect Day!"

There's no time to waste when you have an IBM Electric Typewriter. It's the "Perfect Day" typewriter for the work, the school and the home. It's the typewriter that's the most reliable, the most accurate, the most efficient.

With the 100% engineering features of the IBM Electric Typewriter, you get the most accurate, the most efficient, the most reliable, the most efficient typewriter for your use.

IBM Electric Typewriters

Kurzer Exkurs in die symbolische KI (1)



John Mc Carthy
(* 1927) Amerikanischer Informatik- und KI-Pionier; war Professor in Princeton, am MIT, zuletzt in Stanford; baute mit M.Minsky am MIT das AI Lab auf; Erfinder von LISP; prägte den Begriff „Artificial Intelligence“; Turing-Award in 1971.



Marvin Minsky
(* 1927) Amerikanischer Informatik-Pionier; Prof. am MIT; gründete 1959 mit J. McCarthy das berühmte MIT AI Lab.; baute 1951 einen der ersten Neuro-Computer (SNARC); bahnbrechende Arbeiten als KI-Pionier; Turing Award 1969.

- ▲ Im Jahre 1957 verblüffte der spätere Nobelpreisträger Herbert A. Simon seine Zuhörer mit folgender Aussage: “It is not my aim to surprise or shock you. But the simplest way I can summarize is to say that there are now in the world machines that think, that learn and that create.”
- ▲ So prophezeite er, dass innerhalb der nächsten 10 Jahre
 - a) ein Rechner Schachweltmeister wird,
 - b) ein Rechner einen wichtigen mathematischen Satz entdecken wird,
 - c) ein Rechner ein beachtliches Musikstück geschrieben haben wird,
 - d) die meisten Theorien in der Psychologie die Form von Computerprogrammen haben werden.
- ▲ Obwohl diese Vorhersagen bis heute nicht eingetroffen sind, hat Simon seine Prognose im Jahre 1990 ausdrücklich aufrechterhalten, diesmal allerdings ohne Zeitangabe.
- ▲ Die größten Fortschritte wurden bisher beim Schachspiel erzielt; gute Programme besitzen heute absolutes Spitzenniveau.
- ▲ Interessante mathematische Gesetze wurden bisher allerdings nicht entdeckt. Die Aussagen c) und d) sind nicht ohne weiteres wissenschaftlich überprüfbar, sondern unterliegen eher der jeweiligen Weltanschauung.
- ▲ Warum sind Rechner gute Schachspieler geworden, aber keine guten Mathematiker? Oder ist dieses Ergebnis nur ein Zufall?

Kurzer Exkurs in die symbolische KI (2)

- ▲ Nach heutigem Wissen gibt es einen wissenschaftlichen Grund für dieses Ergebnis:
 - ➔ Das Schachspiel hat genau definierte Regeln.
 - ➔ Für eine gegebene Konfiguration (Stellung) lässt sich - vereinfacht formuliert - der beste Zug dadurch bestimmen, dass man alle möglichen Zugkombinationen durchspielt.
 - ➔ Die Anzahl der Stellungen ist zwar sehr groß, aber endlich.
- ▲ Mit dieser „brute force“-Methode kann man natürlich nicht alle Züge durchrechnen. Heute erreicht man bei normaler Zeitbegrenzung eine Rechentiefe von 8-10 Zügen. Bereits diese Rechenkraft übersteigt die Fähigkeiten fast aller Schachspieler bei weitem.
- ▲ Solche einfachen Verfahren führen bei der Suche nach interessanten mathematischen Sätzen nicht zum Ziel. Die Mathematik ist unendlich groß; und die Menge der interessanten Sätze ist verschwindend klein gegenüber der Menge der uninteressanten und tautologischen Sätze.
- ▲ Bei Problemen in der realen Welt kommt ein weiterer Faktor hinzu, nämlich die Ungewißheit. In der Welt kennt man oft weder die Regeln noch sind die Problemkonfigurationen eindeutig bekannt. Trotzdem müssen Entscheidungen getroffen werden.
- ▲ Dabei darf Ungewißheit nicht verstanden werden als Wahrscheinlichkeit im mathematischen Sinne. „Hypothesen haben keine Hypothesenwahrscheinlichkeit.“ Das unsichere Wissen über die Welt bleibt unsicher.

Ein drastisches Beispiel für „brute force“ (von Terrence Sejnowski): Wenn man Millionen Affen vor Schreibmaschinen setzte und diese viele Millionen Jahre lang schreiben ließe, würde vielleicht einer zufällig ein Sonnett von Shakespeare schreiben.

Auch die Unschärfe in der Fuzzy Logik ist keine Wahrscheinlichkeit.

Kurzer Exkurs in die symbolische KI (3)

- ▲ Man war damals überzeugt, durch das Sammeln hinreichend vieler Wissens Elemente (Regeln) und deren Verarbeitung durch entsprechende Inferenzmaschinen – z.B. Regelmaschinen – intelligentes Verhalten abbilden zu können.
- ▲ Es stellte sich aber schnell heraus, dass für allgemeine intelligente Systeme ein unglaublich umfangreiches Wissen erforderlich war. Man baute daher bevorzugt Expertensysteme, um intelligentes Schließen für eng abgegrenzte Wissensdomänen abzubilden.
- ▲ Um diese Lücke zu schließen, startete Doug Lenat (früher beim MIT, heute CEO von CyCorp Inc.) 1984 das Cyc-Projekt. Cyc (vom englischen *encyclopedia*) ist eine Wissensbasis des Alltagswissens. Sie wird seit 1984 unter der Leitung von Doug Lenat entwickelt, um KI-Anwendungen das logische Schließen über Sachverhalte des „gesunden Menschenverstandes“ zu ermöglichen. Dabei werden alle Inhalte als logische Aussagen in der Ontologiesprache Cycl formuliert, die auf der Prädikatenlogik aufbaut. Zusätzlich enthält Cyc eine Inferenzmaschine zum Schlussfolgern über die gespeicherten Zusammenhänge und Plausibilitätskontrollen.
- ▲ All diesen Ansätzen liegt die Überzeugung zugrunde, dass sich alles Wissen symbolisch repräsentieren lässt. Dies schlägt sich in der sog. „Physical Symbol Systems Hypothesis“ von Newell und Simon nieder.

Annahmen der symbolischen KI (4)

Ein PSS (Physical Symbol System) ist ein System, das aus Symbolen und Symbolstrukturen besteht und physikalisch realisiert ist.

Spätere Erkenntnis:
Sogar die simpelste kognitive Handlung erfordert ein ungeheures Maß an Wissen, das i.a. stillschweigend vorausgesetzt wird.

▲ 1. Annahme der symbolischen KI:

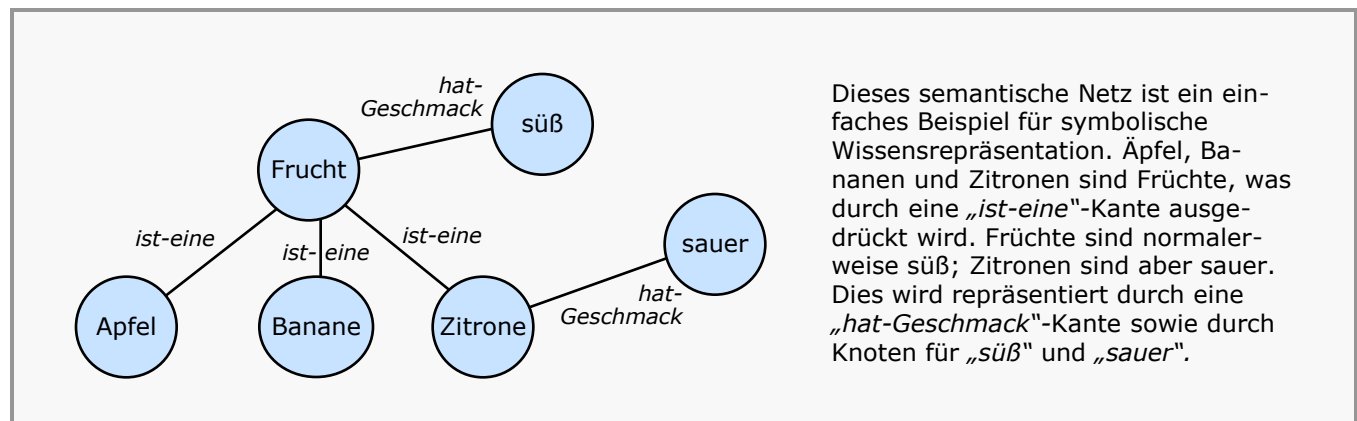
Newell & Simon (1976): Die "Physical Symbol Systems Hypothesis" ist eine notwendige und hinreichende Bedingung, um

- intelligentes menschliches Handeln "repräsentationistisch" zu erklären
- Kognition als funktionale Architektur aus syntaktisch verknüpften und binär repräsentierten Symbolen zu beschreiben.

▲ 2. Annahme der symbolischen KI:

Alle intelligenten Vorgänge erfordern umfangreiches Wissen, das im System gespeichert und jederzeit abrufbar ist.

- ▲ Konklusion: Symbolisches Wissen reicht aus, um intelligentes Verhalten zu verstehen. Jedes Element intelligenten Handelns und Verhaltens kann durch Symbole repräsentiert werden.



Kritik an der rein symbolischen KI

- ▲ Heute wächst die Überzeugung, dass die Regeln, die intelligentem Verhalten zugrunde liegen, oft zu komplex sind, um stets in einer top-down-Manier „Stück für Stück“ formuliert und manuell programmiert werden zu können. John Haugeland prägte für die klassische symbolische KI, die auf dem Ansatz basiert, dass Denken auf reine Symbolmanipulation zurückzuführen ist, den Begriff **GOFAI** ("Good Old-Fashioned Artificial Intelligence").
- ▲ Heute geht man vielmehr davon aus, dass komplexe Systeme auf einfachen und grundlegenden Regeln basieren. Aus diesen entsteht dann durch hohe Parallelisierung und eine komplexe Interaktion intelligentes Verhalten.
- ▲ Der Konnektionismus (Neuronale Netze) ist hierfür ein überzeugendes Beispiel. Die einzelnen Neuronen vollziehen lediglich elementare Schwellwertoperationen; die Komplexität entsteht aus der Vernetzung und der hochgradig parallelen Verarbeitung.
- ▲ Ein anderes Beispiel sind die evolutionären Systeme. Es gibt nur wenige grundlegende Konzepte wie „natürliche Auswahl“ und wenige Basisoperationen wie Kreuzung und Mutation. Das Nachempfinden der Evolution führt zu qualitativ hochwertigen Lösungen für schwierige Probleme. Die Systeme weisen darüber hinaus gewisse adaptive Fähigkeiten auf, d.h. sie passen sich selbständig – wie in der Natur – veränderten Umweltbedingungen an.
- ▲ Dass bereits sehr einfache Systeme mit nur wenigen Regeln zu hochkomplexen und unerwarteten Strukturen führen können, zeigt das folgende Beispiel:

John Haugeland ist Professor für Philosophie an der Universität von Chicago. Er prägte den Begriff GOFAI in seinem Werk „Artificial Intelligence: The Very Idea“.

Beispiel: Die „Ameisenstraße“

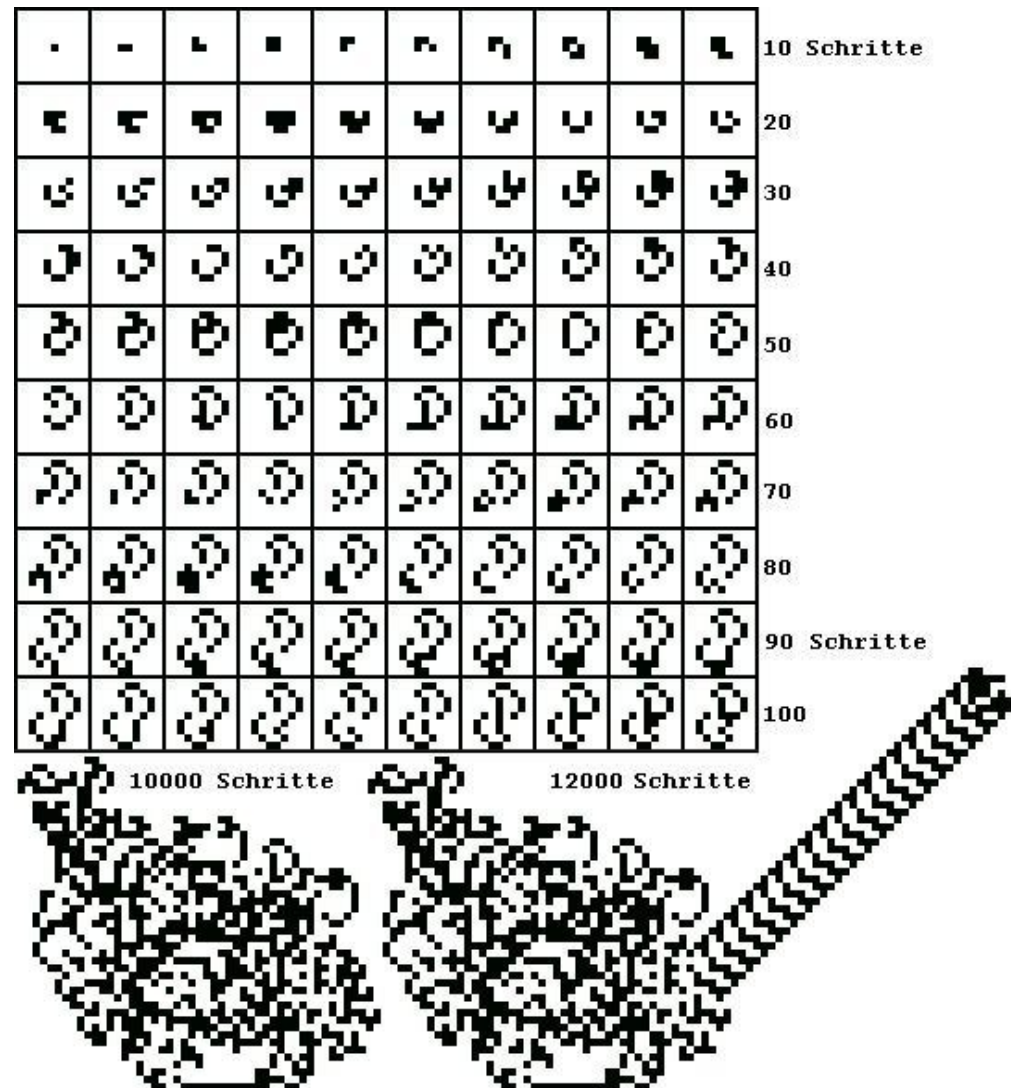
Chris Langtons „Ameisenstraße“ ist ein Beispiel für ein einfaches System mit einfachen Regeln, das sowohl komplexe chaotische als auch komplexe geordnete Strukturen aufbauen kann; und zwar ohne Verwendung des Zufalls.

Eine Ameise sitzt auf einem großen weißen, quadratisch-karierten Blatt Papier und blickt in Richtung eines Nachbarfeldes. In der Bilderserie rechts blickt sie im ersten Feld nach unten. Wenn das Feld, auf dem sie sitzt, weiß ist, dann färbt sie es schwarz, dreht sich um 90 Grad nach rechts und geht auf das nächste Feld. Wenn das Feld, auf dem sie sitzt, schwarz ist, dann färbt sie es weiß, dreht sich um 90 Grad nach links und geht auf das nächste Feld. Ebenso verfährt sie auf jedem neuen Feld.

In den ersten 10.000 Schritten entsteht ein komplexes chaotisches Muster. Danach entsteht eine regelmäßige Struktur, die "Ameisenstraße". Die Ameise hat zwar symmetrische Verhaltensregeln, aber die Muster, die sie damit erzeugt, sind asymmetrisch. Dieses streng deterministische Muster ist nur dann vorhersagbar, wenn man nachmacht, was die Ameise tut.

Verallgemeinerungen solcher "Ameisen" (mit beliebiger Überföhrungsfunktion) sind auch als Turing Turtle bw. Turmiten bekannt.

(aus Wikipedia)



Die Effizienz der Mathematik

- ▲ In 1960 schrieb der Physiker Eugene Wigner einen Aufsatz über die „unvernünftige Effektivität der Mathematik in den Naturwissenschaften.“ „Unvernünftig“ deshalb, weil es keinen von den Dingen selbst ausgehenden oder nahegelegten Grund gibt, dass sie sich gemäß mathematischen Gleichungen verhalten.
- ▲ Woher weiß die Kugel, dass sie nach dem Fallgesetz zu fallen hat und zwar immer wieder gleich? Führt der Mensch algebraische Operationen –etwa Matrizenrechnungen– durch, wenn er den Kopf dreht und die Landschaft betrachtet? Löst das Gehirn komplizierte Differentialgleichungen, wenn man einen Gegenstand – z.B. einen auf dem Kopf stehenden Besen – balanciert?
- ▲ Ist die Mathematik also möglicherweise eine völlig andere Umschreibung eines Sachverhaltes bzw. eines Ablaufs, der eigentlich auf ganz anderen Prinzipien basiert?
- ▲ Denkt ein Mensch etwa an den Satz des Pythagoras, so sind daran Millionen Neuronen beteiligt. Kein beteiligtes Neuron weiß irgend-etwas über den Satz des Pythagoras; die einzelnen Neuronen führen nur ganz elementare Schwellwertoperationen durch. Die zugrunde liegenden Regeln sind einfach und elementar. Die Komplexität entsteht offensichtlich aus dem Einfachen.

Die Bedeutung der Zahlen hatten schon die alten Griechen erkannt!

Ὁ ἀριθμὸς ἀρχή·

(Ho arithmós archē)

[Die Zahl ist Prinzip.]

Οἱ ἀριθμοὶ φύσει πρῶτοι·

(Hoi arithmoí phýsei prótoi)

[Die Zahlen sind das der Natur nach erste.]

Ὁ ὅλος οὐρανὸς ἀρμονία καὶ ἀριθμὸς·

(Ho hólos uranós harmonía kai arithmós)

[Die ganze Welt (der ganze Himmel) ist Harmonie und Zahl.]

Τὰ ὄντα μιμήσει τῶν ἀριθμῶν·

(Tá onta mimēsei ton arithmón)

[Die seienden (Dinge) (sind) durch Nachahmung der Zahl.]

Die Menschen und seine Schüler sagten:

Αὐτὸς ἔφη· (Autòs éphē)

[Er selbst (also Pythagoras) hat es gesagt.]

(Pythagoras)

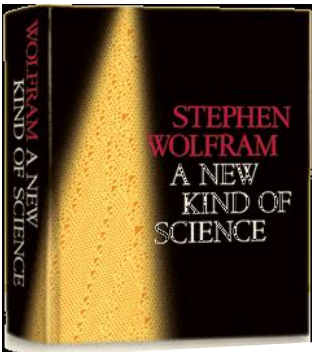
A New Kind of Science - (Stephen Wolfram)

- ▲ Stephen Wolfram hat sich intensiv mit dem Thema „Komplexität“ beschäftigt, insbesondere mit der Frage: Wie entsteht das Komplexe aus dem Einfachen?
- ▲ Z.B.: Wie entstehen aus einfachen Prinzipien komplexe Muster wie Schneeflocken, Organismen, Gedanken, Theorien, Börsenkurse, ...?
- ▲ Er stellt den folgenden intuitiven Schluss in Frage: Aus einfachen Dingen kann in der Folge nur Einfaches entstehen. Ansonsten würde ja aus Nichts etwas entstehen.
- ▲ Wolfram: "Whenever a phenomenon is encountered that seems complex it is taken almost for granted that the phenomenon must be the result of some underlying mechanism that is itself complex. But my discovery that simple programs can produce great complexity makes it clear that this is not in fact correct." (p. 4)
- ▲ Dazu hat sich Wolfram intensiv mit sehr einfachen Maschinen beschäftigt, den sog. zellulären Automaten.
- ▲ Ein eindimensionaler zellulärer Automat ist eine eindimensionale Anordnung von N binären Zellen. Eine Zelle kann nur zwei Zustände annehmen: schwarz und weiß bzw. 1 und 0. Eine Zelle ändert ihren Zustand nur in Abhängigkeit vom Zustand ihrer unmittelbaren Nachbarzellen, eine Fernwirkung gibt es nicht.
- ▲ Das bekannte Spiel des Lebens (Game of Life) wie auch Langton's Ameise sind Beispiele für 2-dimensionale zelluläre Automaten.



Wolfram, Stephen: A New Kind of Science, Wolfram Media, 2002

- Entwickler von Mathematica
- Gründer von Wolfram Research
www.wolfram.com

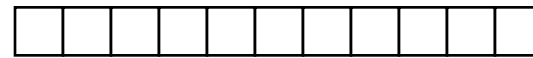


Berlekamp, E.; Conway, J. H.; Guy, R.: Winning Ways for Your Mathematical Plays, Vol. 2, Academic Press, 1982

Ein einfacher zellulärer Automat

Hier ein einfaches Beispiel für einen zellulären Automaten:

Eine Zellenanordnung
wird zufällig belegt:

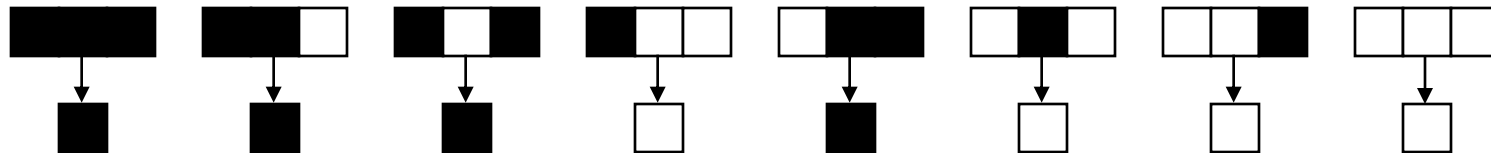


Anfangszustand: $t=0$



$N = 11,$
 $r = 1$

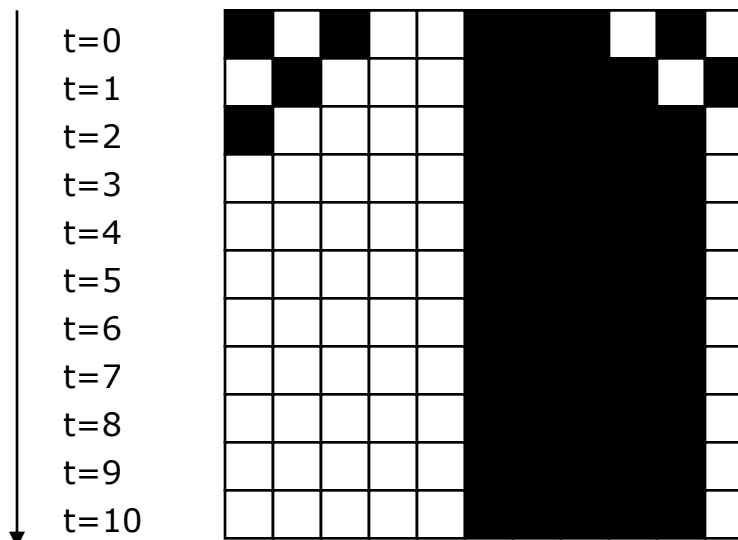
Die Regeltabelle:



In der Folgezeile wird der Zustand einer Zelle aus den Zuständen der 3 darüberliegenden Zellen abgeleitet.

Die Regeltabelle kodiert offensichtlich das Mehrheitsprinzip. Die Zustände, die sich in der Überzahl befinden, setzen sich durch.

Nach kurzer Zeit ergibt sich ein regelmäßiges Muster, das sich nicht mehr verändert.

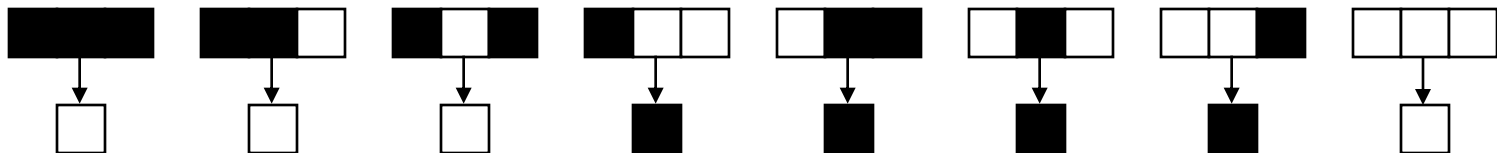


A New Kind of Science - NKS (1)

- ▲ Wolfram untersuchte zunächst zelluläre Automaten dieser Art. Er startete mit einer Zeile aus lauter weißen und einer schwarzen Zelle.



- ▲ Dann probierte er alle möglichen Regelsätze durch, die sich für 3 Zellen ergeben können. Dabei können sich $2^8 = 256$ mögliche Regeln ergeben.
- ▲ Wolfram hat diese nach ihren Dezimalwerten von 0 bis 255 durchnummeriert. Z.B. hat die folgende Regel die Nummer 30:



$$\text{Regelnr} = 0 \cdot 128 + 0 \cdot 64 + 0 \cdot 32 + 1 \cdot 16 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 30$$

- ▲ Diese Regeln hat er dann systematisch erprobt. In vielen Fällen ergaben sich einfache und gleichartige Strukturen. Aber einige Regeln führten zu Strukturen hoher und höchster Komplexität.
- ▲ Die folgenden 4 Beispiele zeigen die 4 Grundformen, die sich mit diesen Automaten erzeugen lassen. Man kann also 4 Regelklassen unterscheiden.

NKS (2)

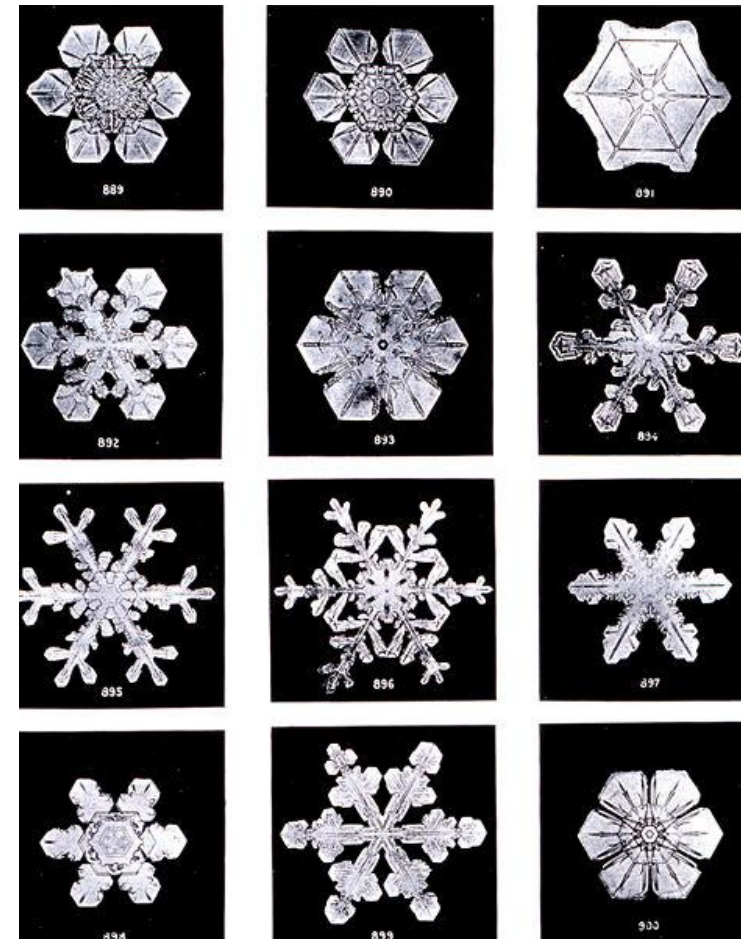
Aber zunächst zum Begriff Komplexität?

Ein System ist komplex, wenn seine Struktur (z.B. seine Ausgabe) folgende Eigenschaften aufweist:

- ▲ Es ist unregelmäßig.
- ▲ Es ist unvorhersehbar.
- ▲ Es liegen keine erkennbaren Gesetzmäßigkeiten vor.
- ▲ Es erscheint wie zufällig.
- ▲ Es ist (gängigen) deduktiven Analysemethoden nicht zugänglich

Beispiele

- ▲ In der Natur finden sich komplexe Systeme wie Pflanzen und Tiere.
- ▲ Planetensysteme sind dagegen nicht komplex.
- ▲ Einfache geometrische Figuren (Kreis, Rechteck etc.) sind nicht komplex.



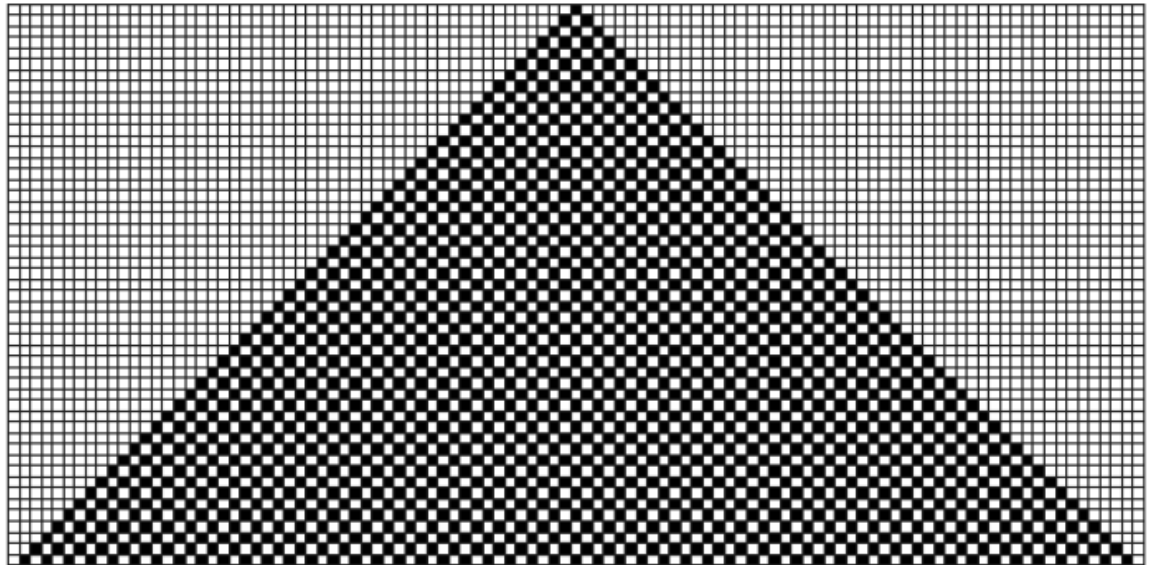
Eiskristalle weisen eine verblüffend hohe Formenvielfalt auf. Es scheint, als gäbe es keine zwei identischen Schneekristalle.

NKS (3)

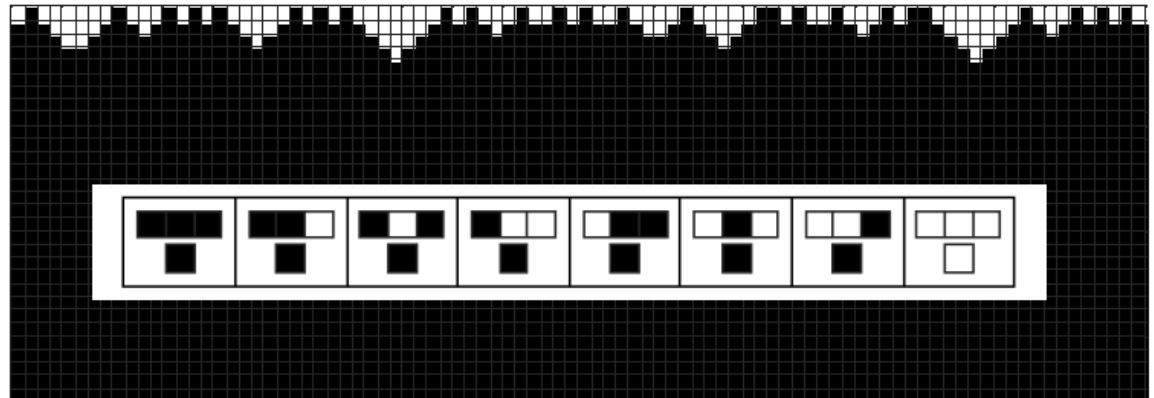
▲ Für alle Automaten der Klasse 1 gilt:

- ➔ Alle Startbedingungen führen zu einem stabilen, uniformen Endzustand
- ➔ Dieser Zustand wird häufig schon nach wenigen Schritten erreicht.

Regel 250
(11111010)
führt zu
Grundform 1



Regel 254
bei zufälliger
Ausgangs-
situation

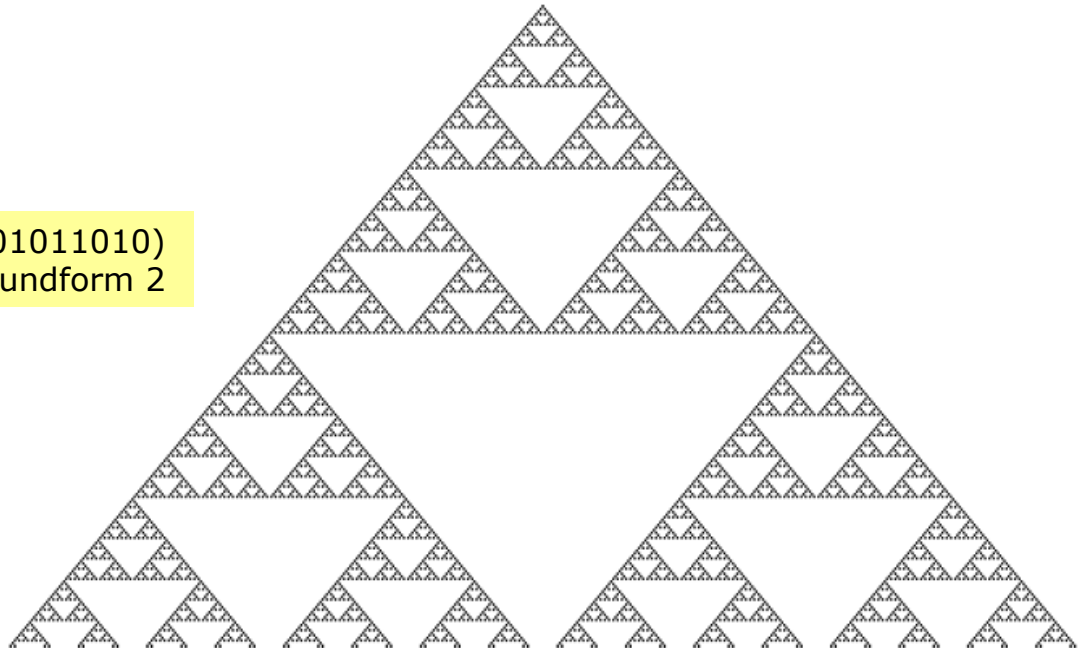


NKS (4)

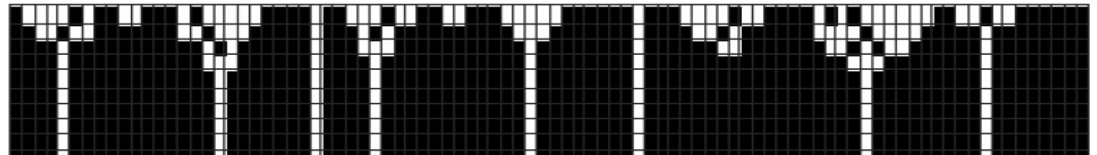
▲ Für alle Automaten der Klasse 2 gilt:

- ➔ Es gibt Startbedingungen, für die das Verhalten von Automaten der Klasse 1 vorliegt.
- ➔ Es gibt Startbedingungen mit verschiedenen einfachen Strukturen als Endzustand in Form gleichbleibender Muster oder in Form von sich wiederholenden Strukturen nach n Schritten.

Regel 90 (01011010)
führt zu Grundform 2



Regel 218 (11011010)
bei zufälliger
Ausgangssituation

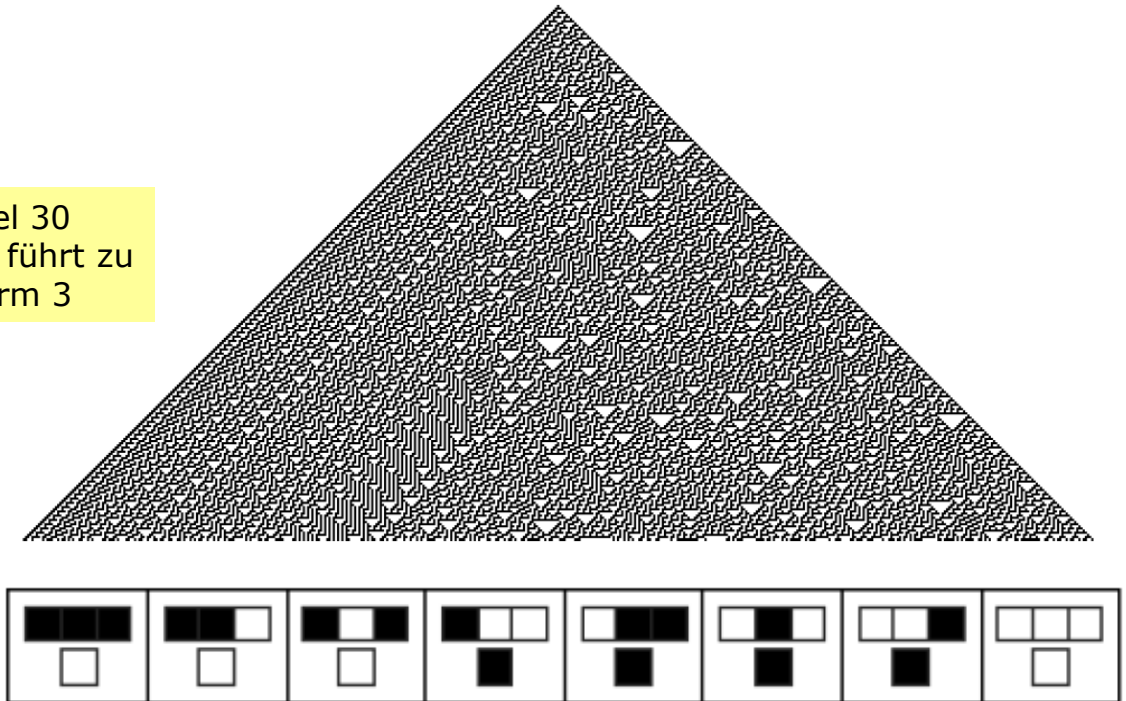


NKS (5)

▲ Für alle Automaten der Klasse 3 gilt:

- ➔ Es gibt Startbedingungen, für die das Verhalten von Automaten der Klasse 1 und 2 vorliegt.
- ➔ Es gibt Startbedingungen mit verschiedenen einfachen Strukturen und Untermustern, die sich unvorhersehbar wiederholen:
 - Viele Aspekte der Muster erscheinen zufällig.
 - Andere wiederum zeigen Ordnung und erkennbare Strukturen.
 - Sie sind weder vorhersehbar noch erkennbar regelmäßig.
 - Nach n Schritten treten sich wiederholende Strukturen und Abfolgen auf.

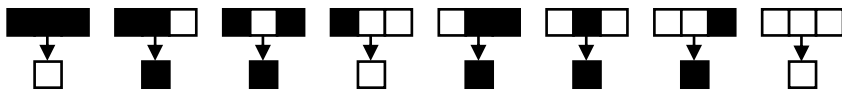
Die Regel 30
(00011110) führt zu
Grundform 3



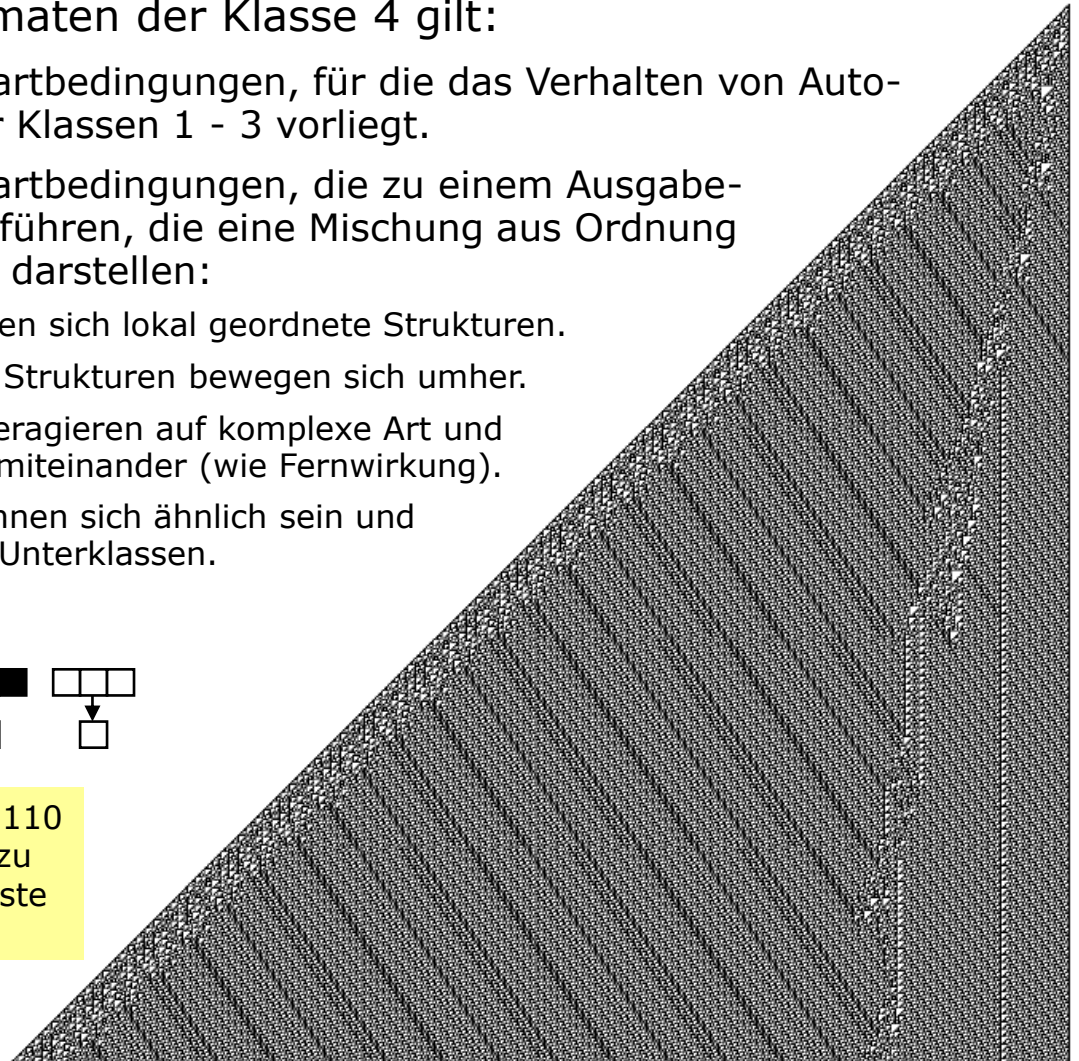
NKS (6)

▲ Für alle Automaten der Klasse 4 gilt:

- Es gibt Startbedingungen, für die das Verhalten von Automaten der Klassen 1 - 3 vorliegt.
- Es gibt Startbedingungen, die zu einem Ausgabeverhalten führen, die eine Mischung aus Ordnung und Zufall darstellen:
 - Es finden sich lokal geordnete Strukturen.
 - Lokale Strukturen bewegen sich umher.
 - Sie interagieren auf komplexe Art und Weise miteinander (wie Fernwirkung).
 - Sie können sich ähnlich sein und bilden Unterklassen.



Die berühmte Regel 110
(01101110) führt zu
Grundform 4: Höchste
Komplexität



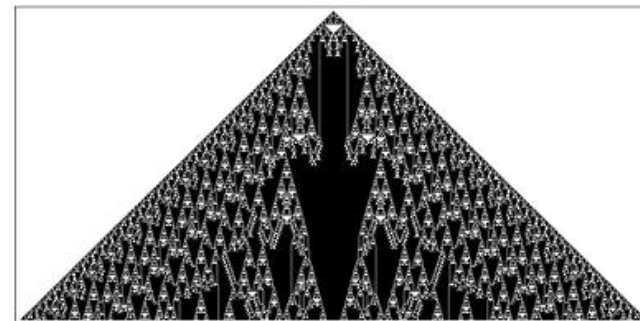
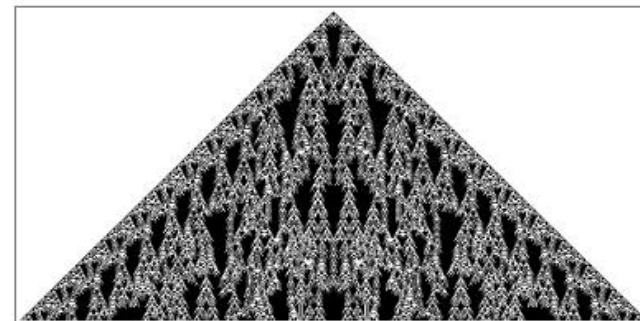
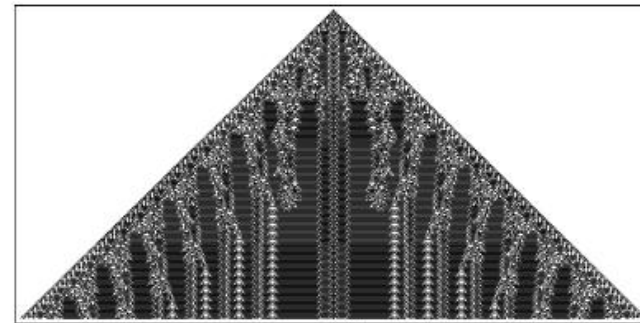
NKS (7)

Zusammenfassung

- ▲ Bei Automaten der Klasse 1 führen fast alle Anfangsbedingungen zum gleichen einheitlichen Endstadium.
- ▲ Strukturen der Automaten der Klasse 2 weisen viele mögliche Endstadien auf, aber sie enthalten alle eine gewisse Menge gleicher Strukturen, die sich laufend wiederholen.
- ▲ Automaten der Klasse 3 sind charakterisiert durch Zufälligkeiten bei der Anordnung von Teilstrukturen wie geometrischen Figuren, die sich aber im wesentlichen gleichen und wiederholen.
- ▲ Automaten der Klasse 4 führen zu einer Mischung aus Ordnung und Zufälligkeit: Lokale Strukturen sind relativ einfach, doch gehen sie mit anderen Verbindungen ein und interagieren miteinander auf unvorhersehbare und komplizierte Art.
- ▲ Hier kann man sich die Wirkungsweise der „Wolfram-Automaten“ ansehen:
<http://lufgj9.informatik.rwth-aachen.de/lehre/ss05/fdi/fohlen/V9HTML/wolframInfo.html>

- Wolfram suchte durch Hinzunahme einer dritten Farbe nach komplexeren Strukturen und leitete die Ersetzungen aus dem Mischungsverhältnis dreier Nachbarzellen ab.
- Kodiert man beispielsweise schwarz durch 2, grau durch 1 und weiß durch 0, ergeben sich aus der Summe der Farbwerte dreier Zellen als mögliche Ergebnisse die Zahlen 0 bis 6. Zu jedem dieser sieben Werte legt der Automat eine der drei Ausgangsfarben fest. Dadurch entstehen $3^7 = 2187$ mögliche Automaten.

Rechts einige dieser Muster aus dem NKS-Buch (p. 66)

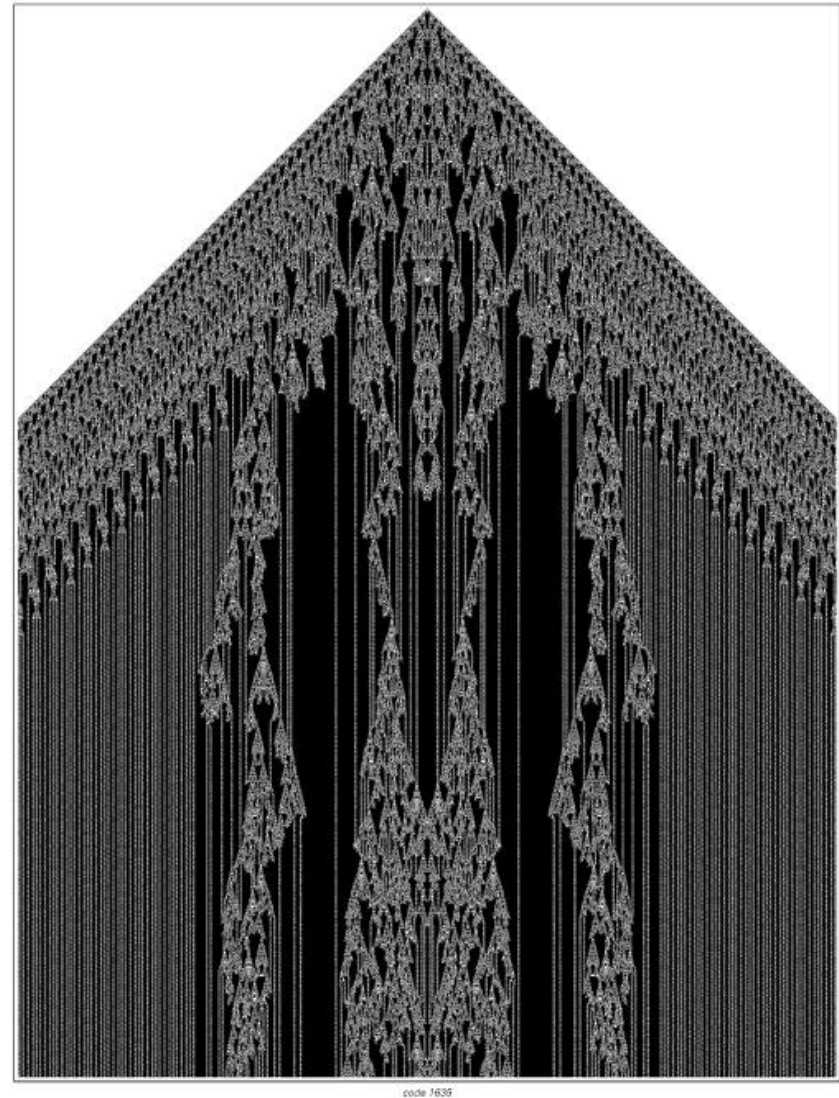


Examples of three-color totalistic rules with highly complex behavior showing a mixture of regularity and irregularity. The partitioning into identifiable structures is similar to what we saw in rule 110 on page 32.

- Das rechte Bild zeigt das produzierte Muster eines solchen ausgleichenden zellulären Automaten mit der von Wolfram vergebenen Nummer 1635.
- Wolfram hat darüber hinaus noch weit umfangreichere Untersuchungen angestellt.

Grundlegende Erkenntnis:

- Schon einfache Automaten führen zu sehr komplexen Strukturen. Mit einfachsten Anfangsbedingungen können zwar auch nur einfache Ergebnisse erzielt werden. Ein Mindestumfang an Bedingungen und Regeln muss schon vorhanden sein, um Komplexität zu erzeugen.
- Diese Schwelle ist aber sehr schnell erreicht. Eine weitere Steigerung der Regelkomplexität führt dagegen nicht zu komplexeren Ausgaben.



Muster gemäß Regel 1635
S. 67 aus dem NKS-Buch

NKS - Wozu das Ganze?

Die ganze Welt folgt nach Wolfram einem konsizien Programm. Das Universum wird nicht durch dieses hypothetische Programm beschrieben, sondern es ist dessen Berechnung äquivalent. Die heutige Physik hat nicht diesen Anspruch. Sie versucht, das Universum zu beschreiben, ohne die Äquivalenz von seiner Beschreibung und dem Funktionieren zu postulieren. Z.B. ist die Welt diskret, die mathematischen Modelle oft kontinuierlich.

Alles muss nach Wolfram als Computation aufgefasst werden. Das Fallgesetz etwa ist zwar etwas anderes als der reale Fall eines Objekts, aber die Berechnung dieses Falls ist dasselbe wie der Fall selbst.

Die NKS-Erkenntnisse unterstützen die These, dass komplexe Systeme auf einfachen Regeln beruhen (siehe Seite 9).

- ▲ Nach Wolfram funktioniert die Welt gemäß sehr einfachen Regelsystemen.
- ▲ Wolfram kritisiert die klassischen Wissenschaften, die auf dem Prinzip der Deduktion beruhen, um komplexe Phänomene auf abstrakte, lösbare Modelle zurückzuführen.
- ▲ Problemstellungen, die sich dieser Herangehensweise entziehen, gelten oft als wissenschaftlich uninteressant oder irrelevant.
- ▲ Als Folge ergibt sich daraus nach seiner Ansicht eine Beschränktheit der klassischen Wissenschaften.
- ▲ Er stellt dem deduktiven Ansatz einen induktiven, empirischen Ansatz gegenüber. Der Induktionsanfang besteht darin: „Welche einfachen Systeme erzeugen komplexes Verhalten?“
- ▲ Vorteile:
 - ➔ Der klassische Analyseaufwand entfällt.
 - ➔ Der Fokus wird erweitert.
- ▲ Nachteile:
 - ➔ Man benötigt einen großen Pool an Beispielen.
 - ➔ Hoher Aufwand (sehr viele Evaluationen)
 - ➔ Lösungen können nicht gezielt angesteuert werden, sondern werden zufällig oder intuitiv entdeckt.

Soft Computing (1)



Lotfi Zadeh, * 1921, ist Professor an der „Electrical Engineering and Computer Sciences“ Fakultät der Berkeley-University, Kalifornien. Er ist der Begründer der Fuzzy Logik. 1965 führte er den Begriff „Fuzzy Set“ ein.

- ▲ Der Begriff „Soft Computing“ wurde von Lotfi Zadeh, dem Begründer der Fuzzy Logik, geprägt. An der Berkeley-Universität wurde von ihm 1991 die sog. „Berkeley Initiative in Soft Computing“ (BISC) ins Leben gerufen (<http://www-bisc.cs.berkeley.edu/>)
- ▲ Der Begriff „Soft Computing“ soll dem Begriff der „harten“ Informationsverarbeitung gegenübergestellt werden.
- ▲ Das „Hard Computing“ zeichnet sich aus durch
 - ➔ harte Programmierregeln,
 - ➔ binäre Logik,
 - ➔ deterministische Algorithmen,
 - ➔ kurz durch Simulation des klassischen logischen Denkens, Planens und Entscheidens.
- ▲ Hard Computing ist sehr erfolgreich zur Lösung klar und eindeutig formulierter bzw. beschreibbarer Aufgabenstellungen.
- ▲ Die natürliche Intelligenz belebter - und damit sehr komplexer - Systeme sowie ihr kollektives Verhalten lassen sich mit den Verfahren des „Hard Computing“ aber nur unzureichend beschreiben und modellieren.
- ▲ Die „Zellulären Automaten“ wie auch die „Evolutionären Algorithmen“, die „Neuronalen Netze“ und die „Fuzzy Logik“ kann man dem Gebiet „Soft Computing“ zurechnen.

Soft Computing (2)

- ▲ Das „Soft Computing“ zielt darauf ab, die präintelligenten Fähigkeiten des flexiblen und fehlertoleranten Wahrnehmens und Reagierens nachzuempfinden, die Menschen und andere Lebewesen mit ihren Sinnes- und Bewegungsapparaten realisieren.
- ▲ Es bietet Verfahren an, um
 - ➔ unscharfe Begriffe und komplexe Datenmengen besser behandeln und
 - ➔ Dinge nach Vorlagen aus der Biologie und der belebten Natur modellieren und konstruieren zu können.
- ▲ Um biologische Systeme analysieren und Systeme beherrschen zu können, die eine wesentliche höhere Komplexität besitzen als bisher von Menschen gemachte, fordert Zadeh ...
 - ➔ „a radically different kind of mathematics, the mathematics of fuzzy or cloudy quantities which are not describable in terms of probability distributions.“ [Zah 62, p. 857]
- ▲ Zum Soft Computing gehören Disziplinen wie etwa
 - ➔ Fuzzy Systeme,
 - ➔ Neuronale Netze,
 - ➔ Evolutionäre und Genetische Algorithmen,
 - ➔ Schwarmalgorithmen etc.

[Zah 62] Zadeh, L.A.:
From Circuit Theory to
System Theory, in:
Proceedings of the
IRE, Vol. 50, Nr. 5,
May 1962

Computational Intelligence

- ▲ Im engeren Sinne versteht man unter Soft Computing die Gebiete Fuzzy Logik, Neuronale Netze und Genetische Algorithmen.
- ▲ Wir wollen diesen Begriff hier umfassender auffassen und um weitere, z.T. mathematisch motivierte Technologien wie die
 - ➔ Statistische Lerntheorie,
 - ➔ Support Vektor-Maschinen
 - ➔ u.a.zum umfassenderen Begriff „Computational Intelligence“ erweitern.
- ▲ Computational Intelligence hat das Ziel, eine Intelligenz durch Berechnung zu schaffen.

Intelligente Systeme – Versuch eines Überblicks

Intelligente Systeme

