

## Evolution mittels Spielen, Rekursion und Technik

*Dies ist ein erster Teilversuch für eine allgemeine Evolution, die später entstehen wird*

Die Evolution<sup>1</sup> des Lebens wurde 1859 durch das Buch „Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ von Charles Robert Darwin (1809 - 1882) eingeführt [Dar86]. Weil er viele Einwände, insbesondere von der Kirche erwartete, hat er damit sehr lange gezögert. Heute wird sie sogar weit über das Leben hinaus als gültig angenommen (Ausnahme einige USA-Staaten) und dabei auf fast alle Entwicklungen vom Urknall bis zur Entwicklung unserer heutigen Welt und dann von den kulturellen Entwicklungen bis zu den technischen Fortschritten übertragen. Nur einige Beispiele hierzu enthält die Literaturliste, insbesondere [Nod94]. Dennoch wurde sie lange Zeit als Theorie ohne überprüfbare Voraussagen angezweifelt. Doch seit etwa 2000 wurden Experimente möglich. Dazu dienten Bakterien mit einem Generationswechsel von nur etwa 20 Minuten. Dabei wirkten mehrere Stämme in Konkurrenz aufeinander. Evolution erfolgt immer von der Vergangenheit in die Zukunft, die Vergangenheit kennen wir nur dann, wenn damals etwas gespeichert oder bewusst aufgehoben wurde. Für die Zukunft kennt die Evolution kein Ziel. Aus vielen Möglichkeiten werden immer nur eine oder mehrere Varianten (die Fittesten) zur vorherrschenden Wirklichkeit. Das allgemeine Prinzip aller „Evolutionen“ ergibt sich mehreren Voraussetzungen

1. In der Gegenwart sind mehrere verschiedene **Objekte**, z. B. Lebewesen, Gebilde usw. vorhanden.
2. Sie besitzen **Eigenschaften**, die weitgehend bezüglich ihrer verschiedenen Kenngrößen bzw. *Wirkungsmöglichkeiten* in eine *Rangfolge* eingeordnet werden können
3. Für die möglichen *Wechselwirkungen* gelten **Gesetze**, Regeln usw. für eine positive oder negative Entwicklung bzgl. der sich ausbildenden Häufigkeiten bestimmen
4. Die Gesetze und Regeln sind teilweise *deterministisch* und *statistisch*.

### 1. Varianten zur Simulation

Da zunächst keine Möglichkeiten für Experimente bestanden, wurden erst Spiele, dann mathematische Zusammenhänge und schließlich rechentechnische Programme zur Simulation entwickelt. Infolge der hohen Komplexität beraffen und betreffen sie aber nur einige Besonderheiten (Erscheinungen) der Evolution

#### 1.1. Das Spiel Life

Das wohl erste bedeutsame Spiel mit seinen Gesetzen erfand um 1970 John Horton Conway (\*1937) als „life“. Anfangs wurde es während vieler hundert Stunden in den Kaffe- und Teepausen am Mathematikdepartment des Massachusetts Institute of Technology (MIT) der Universität Cambridge auf einem Go-Brett gespielt. Mit der elektronischen Rechentechnik wurde das Programm auch hierauf übertragen. Die meisten Ergebnisse entstanden aber erst mit der Einführung der Großrechentechnik in den späten 1970er Jahren. Bald stellte Conway jede neu gefundene „Struktur“ 5 bzw. 50 \$ bereit. So wurde in fast allen Rechenzentren nachts illegal in erheblichem Umfang danach gesucht. Später wurde life auch ein wesentliches Vorbild für die zellularen Automaten, die heute zur Chaostheorie gehören. Dabei gibt es kein allgemeingültiges algorithmisches Kriterium dafür, ob ein solches System chaotisch und zufällig ist oder nicht. Trotz seiner einfachen Regeln ist life nämlich reich genug, um mit der Arithmetik vergleichbar zu sein und so genügt es Gödels Unvollständigkeitssatz [Ada10], [Lev93].

Life benutzt ein quadratisches Raster mit einer frei wählbaren Zellenanzahl (Höhe × Breite). Zu Beginn werden einige Zellen zufällig belegt (belebt!). Dann wird getaktet gespielt. Dabei entspricht jeder Takt einer Generation des Lebens. Bei ihm wird für jede Zelle über die acht Nachbarzellen die künftige Belegung der Zentralzelle bestimmt. Für den nächsten Takt gelten dann die drei Regeln:

- **Eine Geburt** auf der Zentralzelle erfolgt, wenn sie „leer“ (tot) ist, aber genau drei belebte Nachbarzellen besitzt. Sie wird so „befruchtet“ und gewinnt Leben
- **Überleben** in der Zentralzelle tritt ein, wenn sie zwei oder drei belebte Nachbarzellen hat. Sie fühlt sich „kollektiv“ umgeben wohl und lebt daher weiter
- **Der Tod** der Zentralzelle geschieht, wenn die belebte Zentralzelle keine oder nur eine belebte Nachbarzelle hat. Sie fühlt sich einsam und stirbt daher. Der Tod tritt aber auch dann ein, wenn sie von vier oder mehr belebten Nachbarzellen umgeben ist. Dann verhungert sie

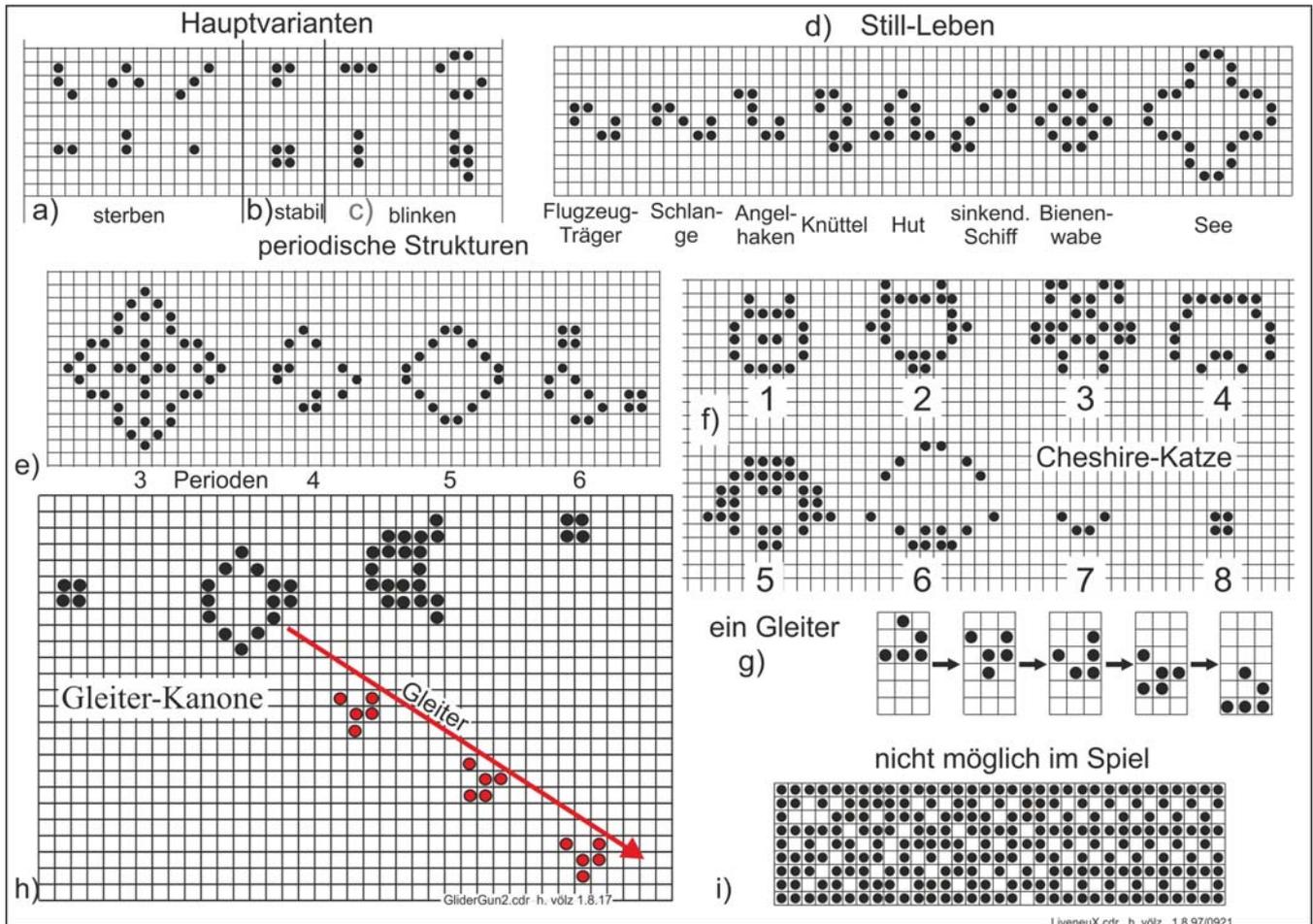
Für das Geschehen im Life sind die aus mehreren Zellen zusammenhängenden, also belebten Strukturen wichtig. Sie entsprechen Lebensgemeinschaften. Im Spielverlauf (der Evolution) können für sie die folgende Hauptvarianten auftreten (**Bild 1**) [Völ17]:

1. **aussterbende** Strukturen (a), dabei entstehen auch **vereinzelt Zellen**, die schnell überleben und verschwinden
2. **unveränderliche**, stabile Strukturen (b, d)
3. **oszillierende**, periodische Strukturen (c, e, f)
4. **Gleiter** (g), die sich bei periodischer Änderung in der Ebene (Raum, Raster) **bewegen** und dabei mit anderen folgenreich kollidieren können
5. **Gleiter-Kanonen** (h) Gebären (erzeugen) mit vorübergehenden Änderungen **ständig neue** festgelegte **Strukturen**, die in einer Richtung wandern und dabei auch andere Strukturen verändern oder gar vernichten können
6. Strukturen, die im Spiel **niemals entstehen können** (i). Für sie ist daher auch keine Rückrechnung möglich. Nicht einmal dann, wenn die Belegung des ganzen Feldes bekannt ist.

Zuweilen werden die Strukturen auch „soziologisch“ interpretiert. Einzelzellen entsprechen etwa den Singles und Aussteigern. Die sich verändernden Strukturen werden als Kulturwandel interpretiert. Die Gleiter-Kanonen werden mit Ausweisungen oder Emigration verknüpft. Strukturen, die andere vernichten, entsprechen Mord bis Krieg.

Seit geraumer Zeit sind (fast) alle Lösungen bekannt. Wegen der vielen interessanten Ergebnisse, den beginnenden Möglichkeiten auf PCs und Heim-Computern wurden auch bald Varianten mit anderen Festlegungen und in anderen Dimensionen erprobt. Doch sie alle erlangten nicht annähernd die Bedeutung von life.

<sup>1</sup> Lateinisch *evolvere* „herausrollen“, „auswickeln“, „entwickeln“



**Bild 1.** Beispiel für die Strukturen und Veränderungen bei Life [Völ17],

## 1.2. Von Atomen zu Molekülen

Life simuliert, wie sich „Lebewesen“ verhalten und beeinflussen können. Für den Beginn der Welt ist es aber wichtig zu simulieren, wie sich Atome zu Molekülen formieren und sich dabei gegenseitig beeinflussen. Dieser Ansatz bewährte sich auch in den Betrachtungen von [Völ21], Hierzu wird nun ein geeignetes Spiel vorgestellt, Es ist so gestaltet, dass zumindest die wesentlichen Teile auf verschiedenen Niveaus mit unterschiedlicher Komplexität gespielt werden können:

- Brettspiel** mit einfachen Steinen in der Ebene
- Auf ähnliche Weise mit einer App. auf einem **Smartphone**
- Mit einem komplexen Programm dreidimensional auf einem **Laptop** oder **Tischrechner**.

Die Varianten b) und c) haben dabei den Vorteil, dass jedes durchgeführte Spiel zur späteren Analyse automatisch gespeichert werden kann. In allen Varianten kann das Spiel wie eine Passion von nur einer Person nur für sich selbst gespielt werden. Aber auch mehrere Personen können sich dabei unterstützen oder es mit Bewertung oder als Gewinnspiel gegeneinander ausführen. Benötigt werden (**Bild 2**):

- Ein **Spielfeld** das einem Schach- oder Damebrett ähnelt und quadratische Felder besitzt (a), Die Anzahl der Spalten a, b, c, usw. und der Zeilen 1, 2, 3, usw. ist dabei frei wählbar
- Die quadratischen oder kreisförmigen **Elemente** (Atome) passen nur einzeln auf ein Feld. In Sonderfällen (b und c) können Elemente auch sichtbar übereinander gestapelt werden
- Auf dem Spielfeld können ausgewählte Felder **unterschiedlich belegt** werden (b)
- Bei einem belegten Feld sind die senkrecht und waagrecht dazu angeordneten Felder verboten (c). Nur an den Ecken können Steine (Atome) diagonal angefügt werden (g)
- Mit einem üblichen **Würfel** können die Zahlen 1 bis 6 gewürfelt werden (d). Je nach der ausgewählten Spielregel kann dann ein vorher, nachher oder zufällig ausgewähltes Atom gemäß (d) bewegt werden, sofern dabei nicht ein verbotenes Feld belegt wird. Bei „1“ wird das ausgewählte Atom entfernt, bei „6“ wird in größerer Entfernung (ohne Kontakt zu anderen) ein Atom eingefügt.

Das Spiel wird getaktet im Sinne von Generationen gespielt. Begonnen wird es mit einer beliebigen Anfangsbelegung, die aber die Verbotensregeln beachten muss und daher maximal die Dichte von (e) annehmen kann. Auf Grund der Verbote kann im Laufe des Spiel an einigen Stellen eine maximale Dichte von rechts in (e) erreichen.

Es gibt drei Spielmoden, welche die zu bewegende Zelle betreffen. Einmal wird sie vor dem Würfeln ausgewählt und zwar individuell oder per Zufallsgenerator. Sie kann auch erst nach dem Würfeln festgelegt. So können u. a. Zufall und Gesetz kombiniert werden. Die dann folgende Bewegung muss aber gültig möglich sein. Ansonsten beginnt ein neuer Zug.

In Zwei Fällen treten Verknüpfungen auf. Im Fall (g) befindet sich sie ausgewählte Zelle (blau parallel zu einer belegten Zelle (grün) in Abstand 2, Dann kann sie (hier beim Würfeln einer „2“) den verbotenen Bereich überspringen und landet oben auf grünen Zelle. Im Fall (h) kann sich die ausgewählte in zwei Positionen einer grünen Zelle befinden. Mit Würfeln einer „2“ bzw. „5“ wird sie dann diagonal befestigt. Es sei noch ergänzt, dass diese Züge auch analog von links, oben oder unten erfolgen können. In allen Fällen wird Molekül größer und zwar höher oder länger. Die hiermit maximal erreichbare Feldbelegung zeigt (f). Das Spiel ist bisher wenig erprobt. Jedoch **Bild 3** zeigt einige interessante Ergebnisse.

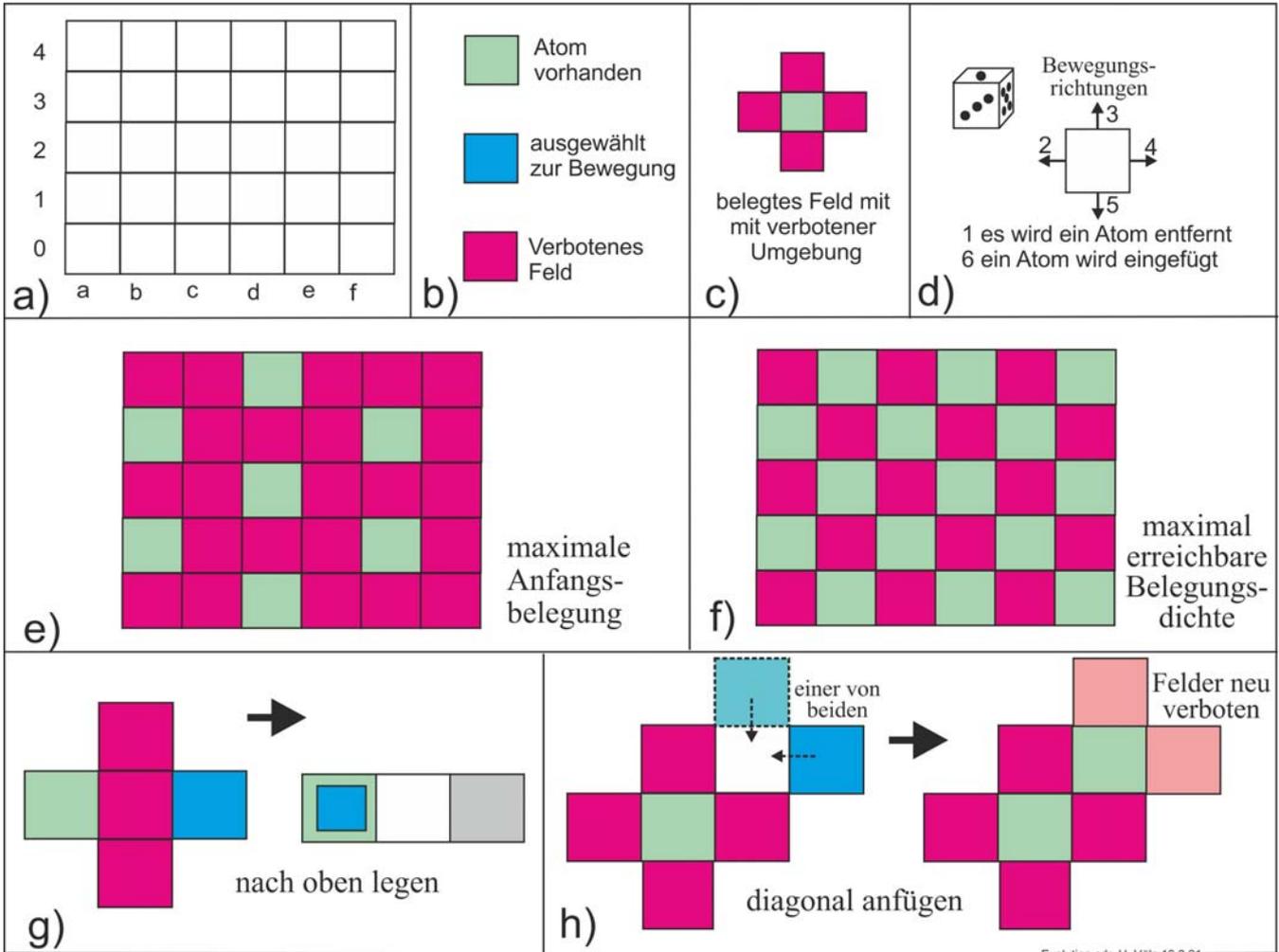


Bild 2. Grundlagen und Regeln für das neue Evolutionsspiel.

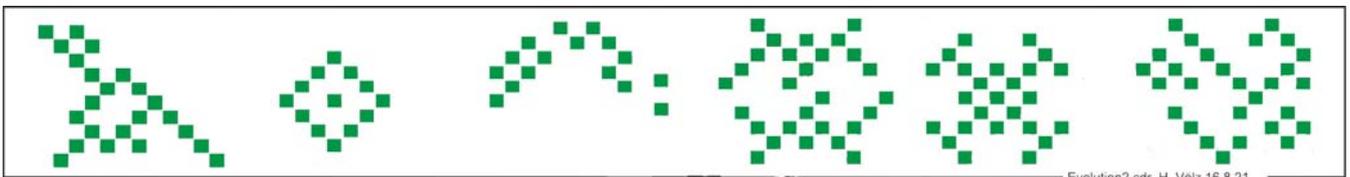
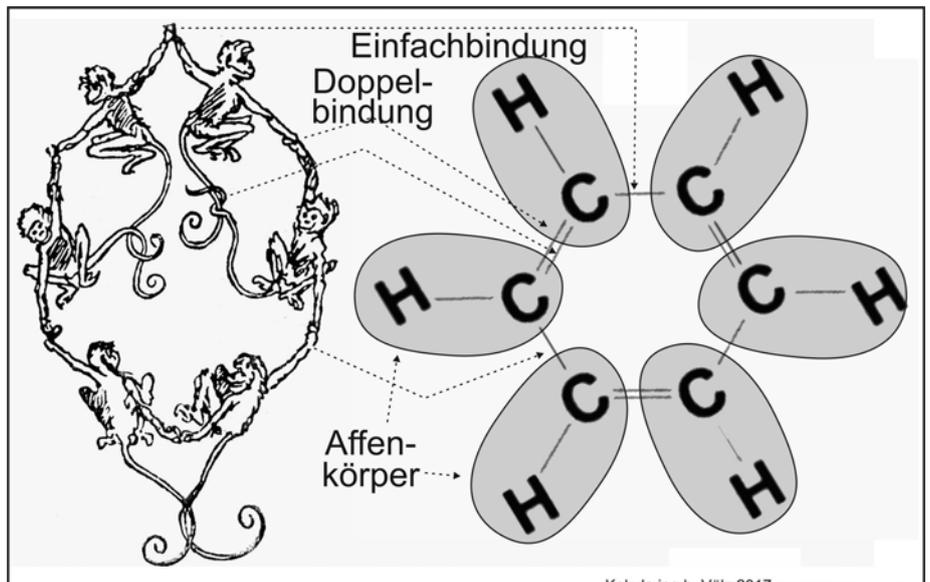


Bild 3 Beim neuen Spielaufgetretene Moleküle.

Zusätzlich sei aber erwähnt, dass Analoges bereits Kekule von Stradonitz (1839 – 1896) im Traum erlebte und dabei die Ringstruktur des Benzols fand. Er sah unvermittelt im Zoo sechs Affen die sich zum Ring verbanden (Bild 4), Mehr Details [Völ21].

**Bild 4.** Das Taumbild von Kekule für die Entdeckung der Struktur des Benzolringes. Die Verweispfeile mussten jedoch spiegelbildlich eingetragen werden. Die Affen entsprechen den grau umrandeten C- und H-Atomen.

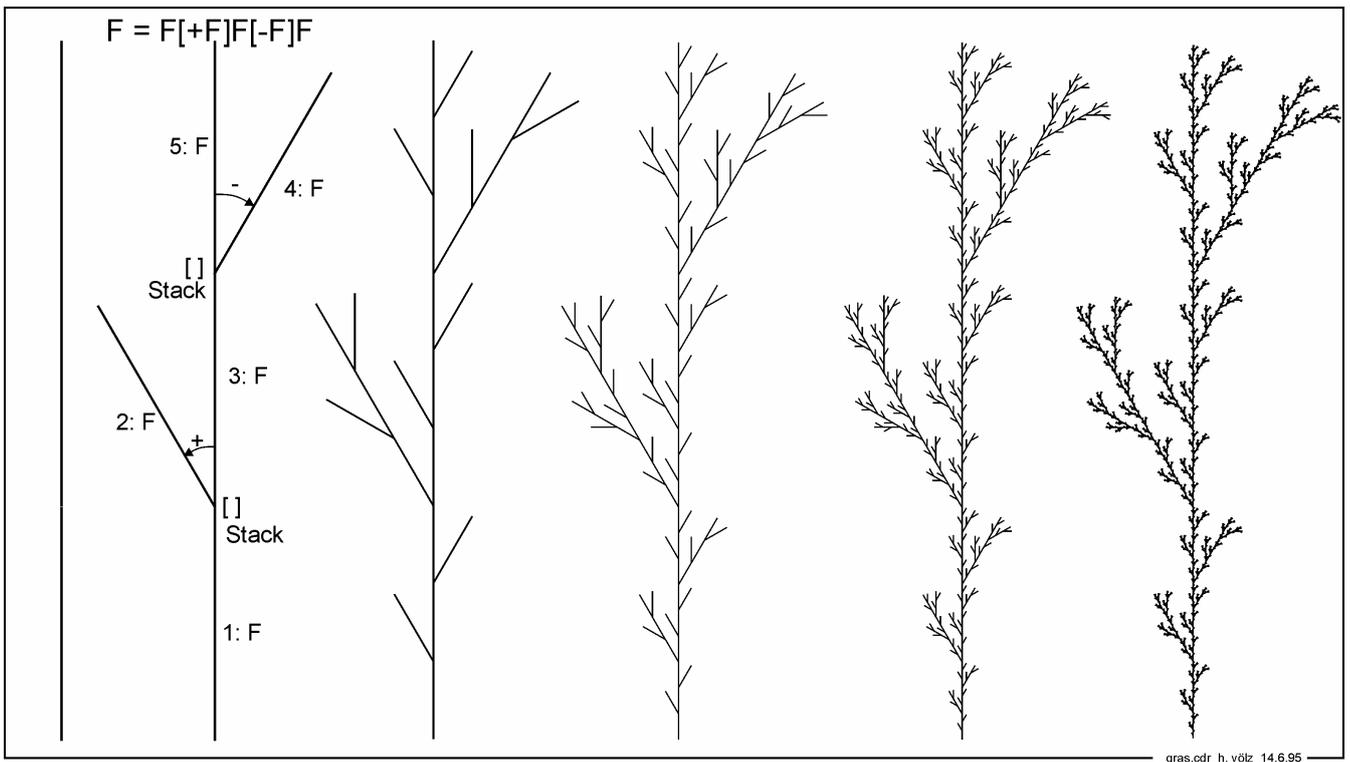


Kekule.jpg h. Völz 2017

### 1.3. Evolution nach Eigen und Winkler

Eine deutlich andersartige rechentechnische Simulation für das betont zeitlichen Geschehens der Evolution untersuchten Manfred Eigen (\*1970) und R. Winkler [Eig83]. Es existieren vier aufeinander folgende Berechnungsmethoden, die auch Mutationen ausweisen. Dabei





**Bild 6.** Das L-System erzeugt einen Strauch.

Sehr umfangreiche Bilder, die so erzeugt wurden zeigt [Pru90]. Das legt nahe, dass auch die genetischen Algorithmen nach ähnlichen Prinzipien funktionieren könnten. Vielleicht trifft das teilweise auch auf unser Sehen zu (s. u.). So erkennen wir z. B. im Winter die Bäume allein an ihrem Verzweigungsmustern (**Bild 7**). Dabei ist die Eiche durch fortlaufende, dreifache Verzweigung mit kleinen Längen gut zu erkennen. Die Ulme verzweigt sich dagegen nur zweifach mit deutlich größeren Längen (Zeichnungen links oben). Rechts oben steht ein farbiges Beispielbild aus [Pru90], etwa blühender Flieder. Die restlichen vier Bilder sind Winterfotografien und betreffen 1. die *Linde*, 2. den *Essigbaum*, 3. die *Kastanie* und 4. die *Eiche*.

### 1.5. Fraktale

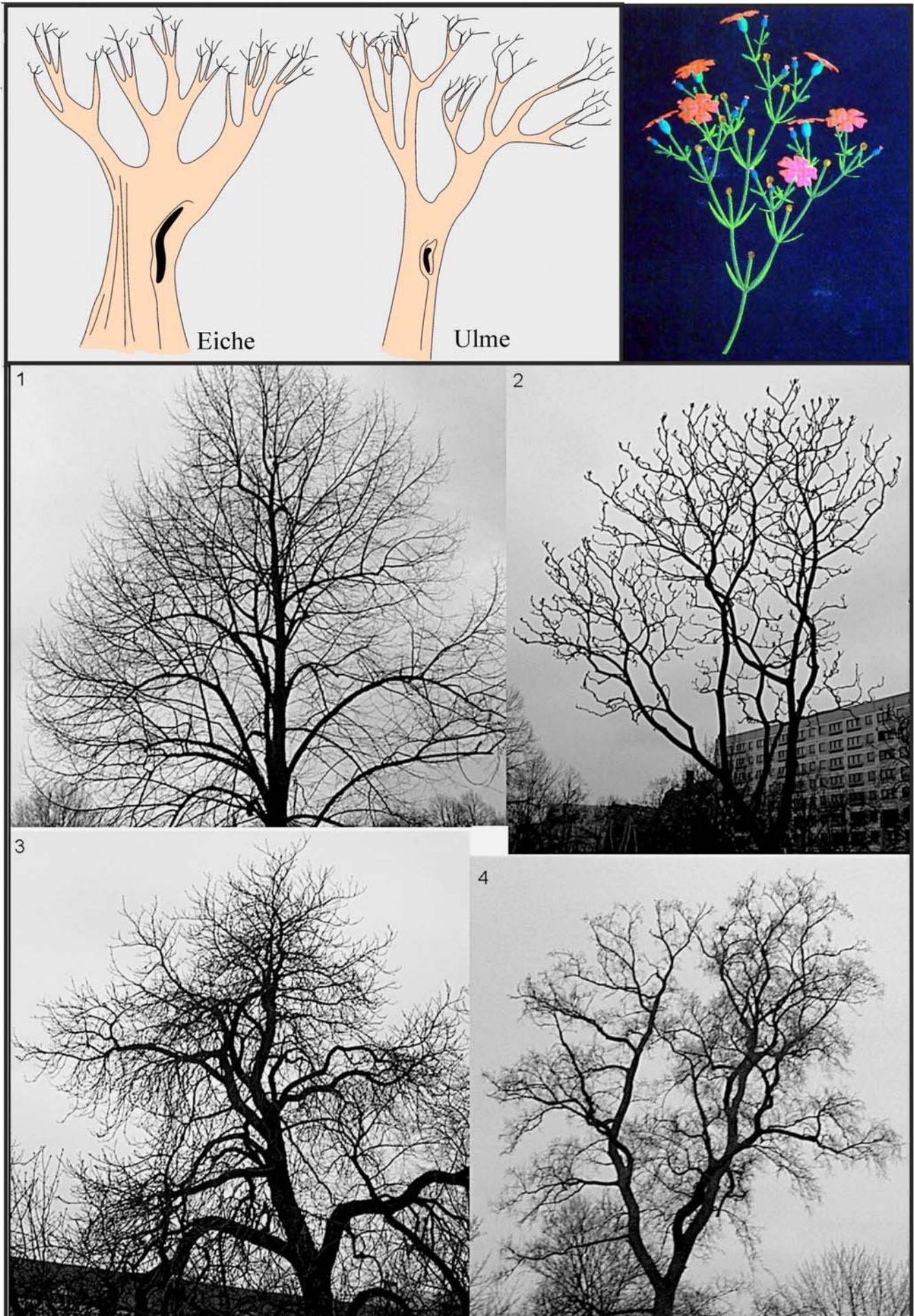
Um 1975 führte Benoit B. Mandelbrot (1924 – 2010) den Begriff **Fraktal**<sup>2</sup> für „vielfältig gebrochene Gebilde“, wie Linien und Strukturen ein. Hierbei bezog er auch die schon bekannten Ähnlichkeiten (aber noch nicht interpretierten) durch „Verkrümmungen“ bei den Maßstabsabhängigkeiten aller Grenzen, wie Land-Wasser-, bei Ländergrenzen usw. ein. So kam er zu dem Ergebnis: „die Natur ist fraktal“. Doch leider wurde erst deutlich später erkannt, dass es in der Mathematik auch Fraktale gibt, die nicht in der Natur vorkommen. Sie nutzt also offensichtlich nur ausgewählte Fraktalgleichungen. Diesen Umbruch im Denken betonte er besonders in [Man87] und führte dabei auch neue Betrachtungen und Methoden ein. Durch die elektronische Rechentechnik wurde es ihm auch erstmals möglich, die vollständigen Konvergenzgrenzen der komplexen Funktionentheorie zu bestimmen, Zuvor war nur ein sicherer Konvergenzradius anzugeben. Diese Untersuchungen begann er mit der einfachen quadratischen Gleichung  $\xi := \xi^2 + \chi^2$ . Für die Iterationen lautet sie mit den Konstanten  $c$  und  $d$  für die Bildkoordinaten in reeller Schreibweise

$$x := x^2 - y^2 - c \quad \text{und} \quad y := 2 \cdot x \cdot y - d.$$

Rekursion verlangt ein Abbruchkriterium. Dafür genügen hinreichend kleine schrittweise Änderungen

$$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} < 2 \cdot \dots$$

<sup>2</sup> Lateinisch *fractum* gebrochen, Verb *frangere*.. Beide bedeuten ‘zerbrechen, unregelmäßige Bruchstücke erzeugen, irregulär’



**Bild 7.** Beispiele für Bäume gemäß möglichen fraktalen Regeln bei der Verzweigung.

Bei diesen Untersuchungen entstand das heute „Apfelmännchen“ genante **Bild 8a**. Der Abbruch kann teilweise bereits nach 1, 2, 3 usw. Iterationsschritten erfolgen (b). Die unterschiedlichen Bereiche können im Sinne einer Höendarstellung mit verschiedenen Farben gekennzeichnet werden. Wie extrem stark die kochkomplexe Konvergenz-Grenzlinie „*verkumpelt*“ ist, zeigt sich besonders stark zwischen den beiden großen Äpfeln im sogenannten Seepferdchental (oberhalb der „5“ als c) Auffällig ist weiter, dass sich viele Bildteile sehr häufig auch in unterschiedlicher Größe wiederholen. Diese typische *Selbstähnlichkeit* tritt bei allen Fraktalen auf. Vielfach entstehen auch ästhetisch anmutende Bilder. Von zahlreichen Amateuren wurden deshalb mit dem Heimcomputer umfangreiche rekursive Berechnungen mit vielen Gleichungen durchgeführt und die neu gewonnenen Bilder sogar als Glückwunschkarten versandt und publiziert. Eigentlich hätte bereits hier erkannt werden können, dass ein Apfel in der Natur nicht vorkommt.

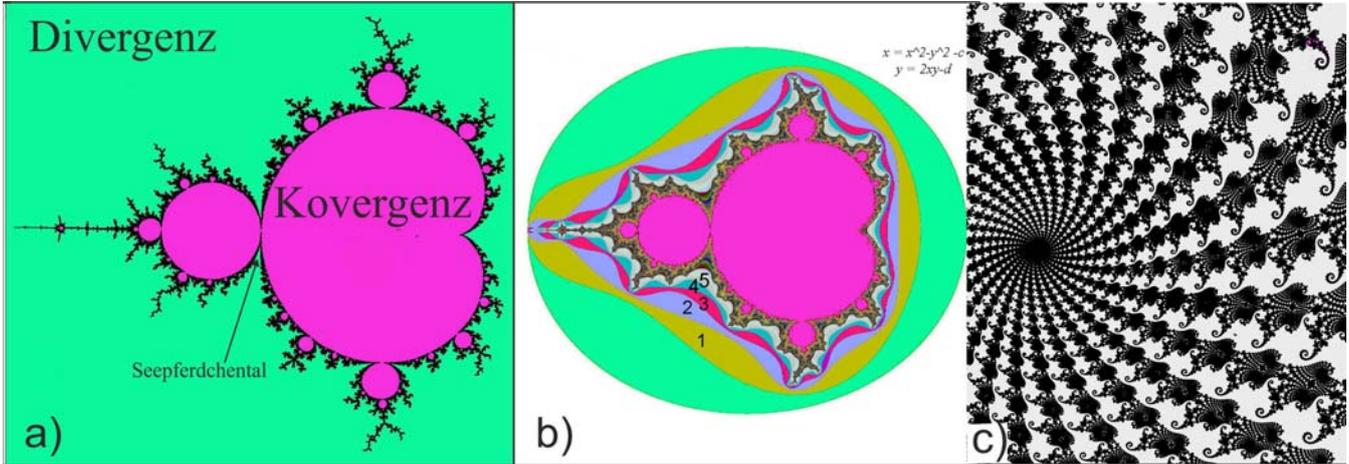


Bild 8 Das Apfelmännchen mit dem roten Konvergenzbereich (a), den typischen Iterationsbereichen (b) und dem Seepferdchental (c).

Neben der klassischen Rekursion schlug u. a. Peitgen um 1990 eine „Kopiermethode“ für die Erzeugung von Fraktalen vor [Pei86], [Jür89]. Mathematisch war das Prinzip bereits früher als iterative Drehmultiplikation (kontraktive Transformation) bekannt. **Bild 9** zeigt das Prinzip anschaulich: Einmal (oben) geht es vom Bild eines „Geistes“ (ganz links) aus, darunter für das Arecibo-Signal. Diese Ursprungsbilder werden dann auf etwa 1/3 verkleinert je einmal oben sowie darunter je links und rechts angeordnet. Mit dem neu entstandenen Bild wird dieser Schritt mehrfach wiederholt. In beiden Fällen entsteht schließlich ganz rechts das Sierpinski-Dreieck. Diese Methode wird auch mit verschiedenen Anordnungen und Verkleinerungen des Anfangsbildes benutzt. Erstaunlich ist, dass die völlig vom Anfangsbild immer das gleiche Endbild erzeugt. Das Ursprungsbild ist also völlig belanglos; lediglich der Algorithmus bestimmt das Ergebnis. Aus anderer Sicht kann das Prinzip auch als eine ungewöhnliche Bilderzeugung betrachtet werden. Natürlich lassen sich dabei auch in Natur vorkommende Gebilde erzeugen. [Völ17]

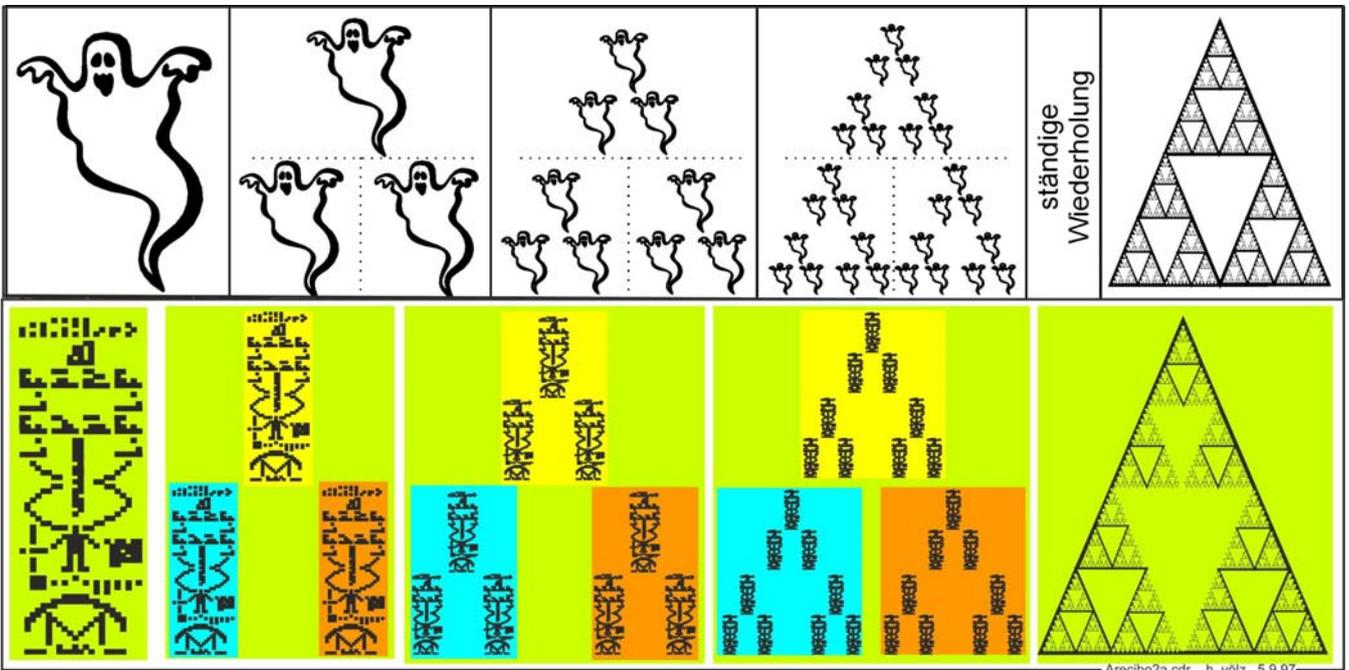


Bild 9. Rekursion mittels Drehmultiplikation.

Eine deutlich andere Variante stammt von Barnsley [Bar93]. Er verwendet zwei Gleichungssysteme mit zufällig wechselnder Wiederholung:

$$\begin{aligned} x &:= A_n \cdot x + B_n \cdot y + C_n \\ y &:= D_n \cdot x + E_n \cdot y + F_n \end{aligned}$$

Die Koeffizienten  $A_n$  bis  $F_n$  bestimmen das entstehende Bild. Für einen Farn (**Bild 10**) betragen sie:

Gleichung $n$	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$	$F$
1.	0	0	0	0	0	0
2.	0,2	-0,26	0,23	0,22	0	1,6
3.	-0,15	0,28	0,26	0,24	0	0,44
4.	0,85	0,04	-0,04	0,85	0	1,6

Weden die Koeffizienten wenig verändert so treten nur leichte Formveränderungen auf., z. B. b):  $A_4 = 0,99$ ; c):  $A_2 = 0,7$ ; d):  $F_2 = 16$  sowie e):  $F_2 = 16$  und  $A_4 = 0,65$ .

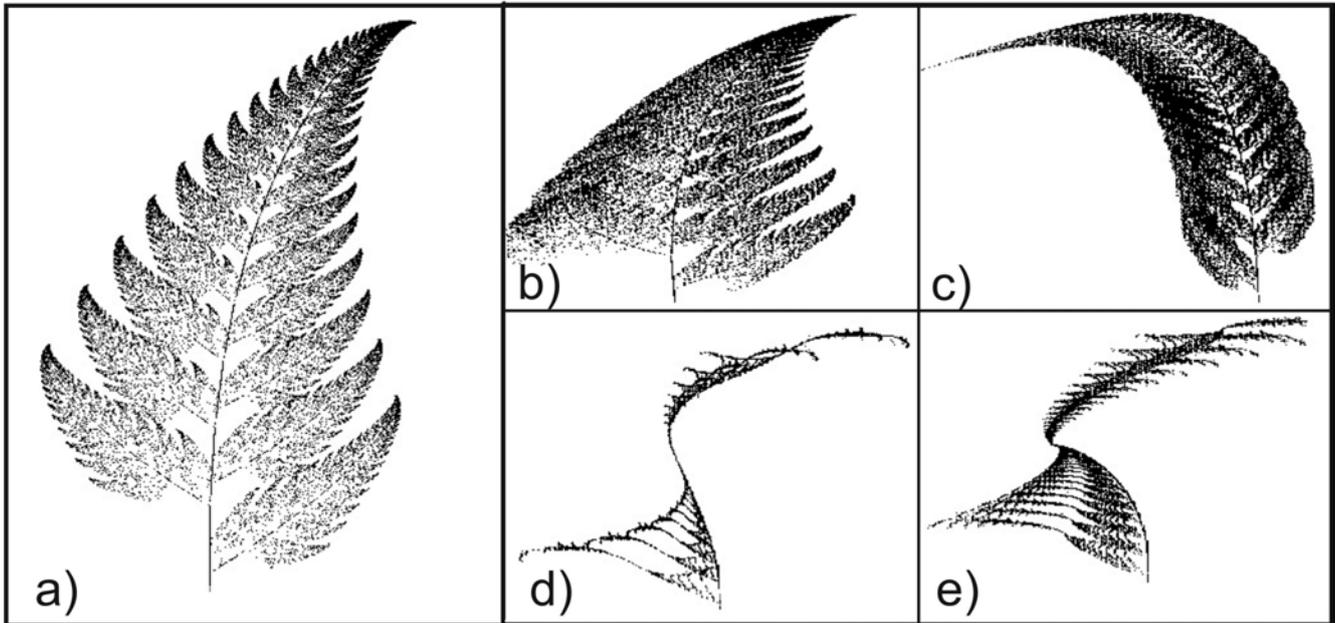


Bild 10. Mit dem Barnsley-Hüpfervorgehen erzeugter Farn und mögliche Abweichungen.

Zusammengefasst können fünf Methoden für fraktale Bilder unterschieden werden:

1. **Monsterkurven:** u. a.: Koch-, Hilbert- und Drachenskurve. Hierzu gehören in der Natur die Grenzen, Küsten und Blätter.
2. **Formale Sprachen,** insbesondere L-Systeme, mit denen Pflanzen generiert werden können.
3. **Iterationen** der Feigenbaum- und Mandelbrot-Verfahren  $x := f(x, a)$  bzw.  $x = f(x, y, c)$  sowie  $y = g(x, y, d)$ , mit dem Apfelmännchen. Indirekt gehören dazu auch die hier nicht behandelten Julia-Mengen. Sie sind dadurch bestimmt, dass sie die Menge aller Punkte zusammenfassen, die sich auf sich selbst abbilden.
4. **Drehmultiplikation** als Kopiervorgehen (Peitgen) mit mehrfach sich abbildenden Bildern.
5. **Zufallsprinzipien** (Hüpfervorgehen, Barnsley) mit Gleichungssystem und Zufall nach Barnsley.

Nur ausgewählte Formeln erzeugen dabei auch Bilder, die in der Natur vorkommen. Bestimmte Bilder lassen sich mit mehreren Methoden gleichzeitig erzeugen. Erstaunlich ist es, dass wir wohl nie imstande sind, vom Endbild auf den Algorithmus oder und auch umgekehrt schließen können<sup>3</sup>. Mit sehr großen Aufwand gelang dies ausnahmsweise zwei Studenten mit einer sehr umfangreichen Diplomarbeit an der TU-Berlin [Opp95]. Dazu benutzen sie u. a. komplexe Algorithmen von Rechenberg. Nebenbei erkannten sie, dass unterschiedliche Algorithmen durchaus zum gleichen Bild führen können, z. B.:  $F = F[+F]F[-F]F$  oder  $F = FF[+FF]FF[-FF]$  bzw.  $F = F[+F][+F]F[-F]F$ .

Andererseits scheinen wir aber Rekursives nutzen zu können. Sonst würden wir z. B. wohl kein Gesicht unabhängig von seiner Größe und Lage erkennen. Auch das deutlich schnellere Erkennen von Karikaturen spricht dafür. Die spezielle Schichtenstruktur der Sehrinde macht das vielleicht verständlich.

Zusätzlich zu den fünf fraktalen Methoden gibt es in der Natur und in den naturwissenschaftlichen Theorien erstaunlich viele Aussagen, die mit Fraktalen zusammenhängen. Wichtig ist es auch noch, die typischen Eigenschaften der Fraktale zusammenzufassen:

- Sie werden durch **rekursive Verfahren** erzeugt, benötigen dabei viel **Zeit**.
- Sie besitzen hoch **verkrümmelte** Kurven und dadurch eine hohe **Komplexität**.
- Sie enthalten umfangreich **selbstähnliche Teilstrukturen**.
- Sie besitzen häufig große **Ähnlichkeit** mit Strukturen der **Realität**.
- Die verschiedenen Verfahren **erzeugen** vielfach **die gleichen Bilder**.
- Sehr oft besteht eine Verquickung von Zufälligkeit und Gesetzmäßigkeit.
- Sie erzeugen meist beachtliche **ästhetische Wirkung**, sind wichtig für **Computer-Kunst**.
- Beim Kopiervorgehen ist das **Startbild** völlig **gleichgültig**.
- Sie erzeugen eine **neue**, sonst nicht erreichbare **Bildklasse**.

So ergibt sich der folgende Vergleich mit der Euklidischen Geometrie:

<sup>3</sup> 1995/96 habe ich dazu in Seminaren an der TU-Berlin zwei Semester lang mit Studenten ergebnislose Versuchen durchgeführt. Niemand gelang eine Vorhersage für das Endbild. Hierbei entstand auch die Diplomarbeit [Opp95].

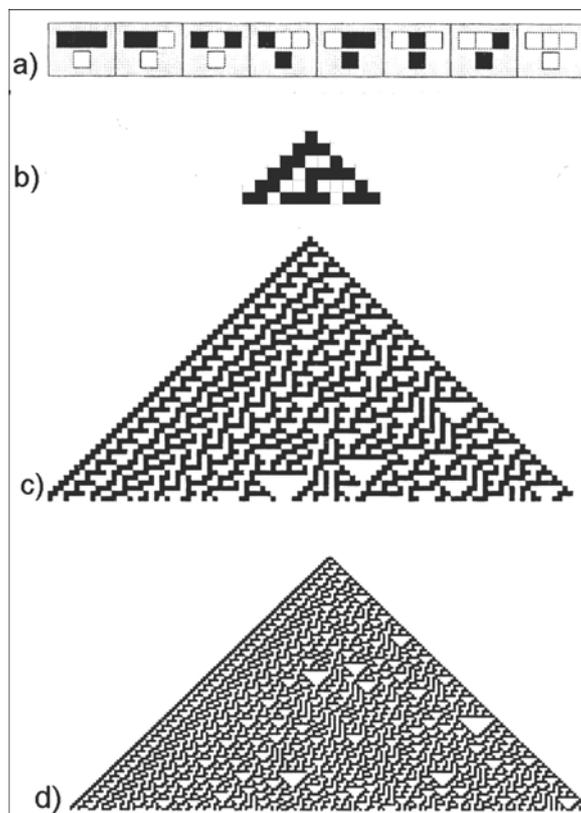
Euklidische Geometrie	Fraktale Geometrie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• über <b>2000 Jahre</b> alt</li> <li>• geeignet für Objekte, die von Menschen erzeugt wurden</li> <li>• beschreibbar durch eine Formel oder mit Zirkel und Lineal</li> <li>• Grundelemente mit bestimmter Größe</li> <li>• Unmittelbar anschaulich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• etwa <b>50 Jahre</b> alt</li> <li>• oft geeignet für natürlicher Objekte</li> <li>• rekursiver Algorithmus</li> <li>• gut skalierbar</li> <li>• kein einsichtiger Übergang zwischen Formel und Bild</li> </ul>

### 1.6. Einige Sonderfälle

Teilweise ähnlich mit life und der neuen Iterationsmethode sind Gardners Untersuchungen von 1983. Die erfolgten auch ähnlich durch Wolfram mit nur eindimensionalen Zellularautomaten. Dabei wird die Zeile der Anfangskonfiguration zufällig mit 0 oder 1 belegt. Jeder Zustand in den folgenden Zeilen wird durch Regeln festgelegt, welche die Zustände von drei Nachbarzellen berücksichtigen. Dabei gibt es die acht Kombinationen: 111, 110, 101, 100, 011, 010, 001 und 000.. Die Zellen in den nächst tieferen Zeilen sind abhängig von den drei Zellen darüber: Eine Leerstelle entsteht dann, wenn darüber keine oder 3 Zellen besetzt sind, eine besetzte, wenn dort 1 oder 2 Zellen belegt sind. Hierbei führen u. a. 2 Startzeilen zu einem Fraktal, das dem Sierpinski-Dreieck ähnelt (**Bild 11**) [Lev93] S. 91ff., [Völ17].

In einem gewissen Umfang können auch **Informationsfelder** zur Simulation benutzt werden. Ob sie physikalisch real sind ist dabei aber recht umstritten. Die wahrscheinlich älteste Arbeit stammt 1963 vom Soziologen Lewin [Lew63]. In praktisch allen Beschreibung gibt es für sie so gut wie keine Quellen der Energie, die Bewegungen hervorrufen und noch weniger Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Sie werden nur in ihrer Wirkung so beschrieben, als ob sie irgendwie mit Information zusammenhängen. Eigentlich wären dann aber ein Informationsträger und ein System, auf das er einwirkt, notwendig. Trotz dieser Schwierigkeiten können Informationsfelder irgendwie der Simulation von Evolution zugeordnet werden. Ein Lebewesen kann sich dabei infolge verschiedener Barrieren nicht auf dem kürzesten, geradlinigen Wege zum Ziel gelangen und wählt dann den bestmöglichen Umweg [Völ17].

Bild 11. Gardners Versuche: a) Ausgangszeilen, b) =5, c) = 60 und d) =100 Iterationen



*Es entstehen noch*

### Evolution der Technik, 85%-Regel, Vor- und Nachtelr, Gesellschaft usw-

Es müssen aber genau Grundlage wie Ja/Nein usw geklärt werden Realität und Welt unterschieden werden Geustig materell, Voeuasztzung mein Buch Ichrealität

### Vorläufige Literatur

- [Ada10] Adamatzky, A. (Editor): Game of Life Cellular Automata, Springer London u.a. 2010  
 [Bar93] Barnsley, M. F.; Hurd L. P.: Fractal Image Compression, AK Peters Ltd., Wellesley, MA, 1993  
 [Böh31] Böhme, G. u. Böhme, R.: Über das Unbehagen im Wohlstand. Suhrkamp Verlag 2021  
 [Chi75] Childe, V. G.: Soziale Evolution. Suhrkamp Taschenbuch 115, Frankfurt/M. 1975  
 [Dar86] Darwin Ch.: Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl. Übersetzt von Carl W. Neumann. Nachwort von Gerhard Heberer. Reclam, Ditzingen 1986  
 [Eig83] Eigen M. u. Winkler, R.: Das Spiel. Piper. München - Zürich, 1983  
 [Eva11] Evans, D.; Selina, H.: Evolution. Tybia Press Verlag. Überlingen 2011  
 [Fis03] Fischer, E. P., Wiegandt, K.: Evolution. 2. Aufl. Fischer Verlag, Frankfurt 2003  
 [Käm80] Kämpfe, L.: Evolution und Stammesgeschichte der Organismen. Verlag G. Fischer, Jena 1980  
 [Kuh62] Kuhn, Th.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Suhrkamp-Verlag, Frankfurt/M. 1967. Original: The Structure of Scientific Revolutions 1962  
 [Lev93] Levy, St.: KL - Künstliches Leben aus dem Computer. Droemer Knaur, München 1993  
 [Lew63] Lewin, K.: Feldtheorie in den Sozialwissenschaften. Ausgewählte  
 [Man87] Mandelbrot, B. B.: Die fraktale Geometrie der Natur. Birkhäuser, Basel - Boston, 1987  
 [Nod94] Modis, Th.: Die Berechenbarkeit der Zukunft. Birkhäuser Verlag. Basel - Boston - Berlin 1994  
 [Opp95] Oppermann, D., Ludwig, A.: Möglichkeiten zur Approximation von L-Systemen durch Evolution. Diplomarbeit, TU-Berlin 1995  
 [Pei86] Peitgen, H.O. u. Richter P.H.: The Beauty of Fraktals. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1986  
 [Pru90] Prusinkiewicz, P. u. a.: The Algorithmic Beauty of Plants. Springer-Verlag, New York 1990.  
 [Rei82] Reinbothe, H.; Krauß, G. - J.: Entstehung und molekulare Evolution des Lebens. Fischer, Jena 1982  
 [Sch87] Schrauber, H.: Evolution der Technik - die 85-Prozent-Regel als Entscheidungshilfe. Studienmaterial der Hochschule für Ökonomie Berlin, 1987 (leider nur als Manuskript vorhanden)  
 [Sie92] Siegenthaler, M.: Still - Video - Evolution oder Revolution der Bildkommunikation? Bild und Ton 45 (1992) 3/4, 77 - 83  
 [Ste63] Steinbuch, K.: Über die künftigen Entscheidungen der Nachrichtenverarbeitungstechnik ETZ-A 84 (1963) S. 485-493  
 [Ste73] Steinbuch, K.: Mensch und Maschine. In: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge Nr. 206 Band 37/1, S. 451 ff. J.A. Barth, Leipzig 1972

[Völ17] Völz, H.: Das ist Information. Shaker Verlag Aachen 2017

[Völ16] Völz, H.: Das ist Zeit. Shaker-Verlag, Aachen 2016

[Völ21] Völz, H.: Ichrealität - mein Weltbild Shaker-Verlag, Düben 2021