

Weitere Ansätze zur Modellierung komplexer Objekte

Lit. und Bildquellen: Deussen (2001), Prusinkiewicz et al. (2001)

Prozedurales Modellieren

Prozedur (Generierungsvorschrift) spezifiziert die Objekt-geometrie
("erzeuge regelmäßiges Polyeder mit 20 Seitenflächen", anstatt die Seitenflächen alle einzeln anzugeben)

Verwendung prozeduraler oder objektorientierter Programmiersprachen oder spezieller Softwarewerkzeuge (z.B. MATHEMATICA)

Vorteile:

- Platzersparnis
- Objekt kann ja nach Anforderung dargestellt werden
- wie bei L-Systemen Verknüpfung mit physikal./biol. Simulationsmodellen möglich

Ähnlichkeit zum Szenengraphen-Ansatz (Instanziierung von geometr. Primitiven), aber: hier kann auch die Topologie verändert werden

Beispiel: Hängebrücke

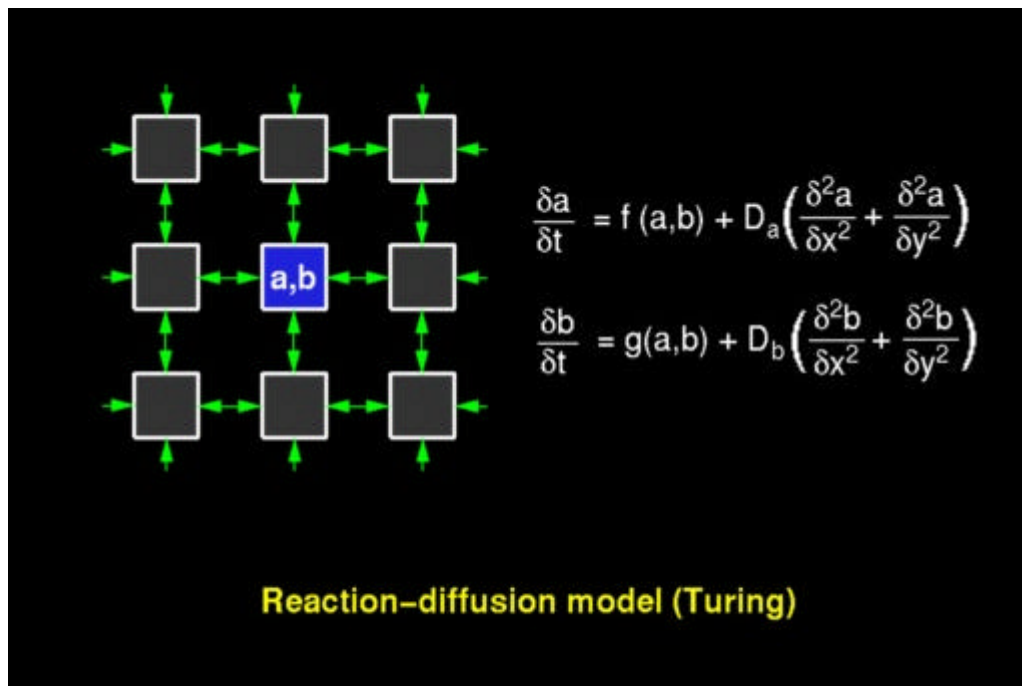
- Prozeduren beschreiben Aufbau der Straße, Seile, Pfeiler etc.
- Teile beeinflussen sich gegenseitig
- Möglichkeit, ein physikalisches Modell der Statik (oder der Schwingungen der Brücke) zu integrieren
- Modellwechsel: Nachts besteht Brücke nur aus Punktlichtern

Reaktions-Diffusions-Modelle

Spezialfall des prozeduralen Modellierens, simuliert morphologische Musterbildungsprozesse

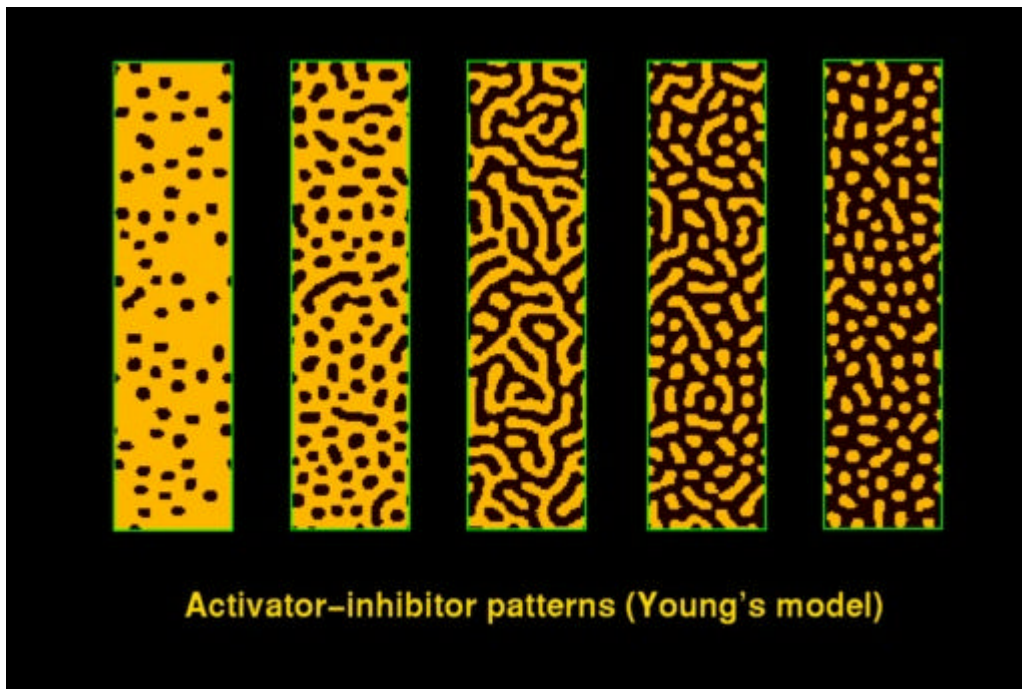
Grundidee:

- Substrate diffundieren im Raum, wechselwirken miteinander und mit Objekten
- oft mit räumlicher Diskretisierung (voxel space) modelliert
- Systeme partieller Differentialgleichungen legen die Dynamik der Substrate fest
- charakteristisch: Modellierung von (Konzentrations-) *Feldern*, -gradienten.



bei bestimmten Funktionen und Parameterkombinationen kann es zur räumlichen und zeitlichen (makroskopischen) Musterbildung kommen

- räumliche Muster: Patches, Streifen, Zickzackmuster, Wellen...
- zeitliche Muster: Oszillationen, Bewegung von Wellenfronten, Interferenzmuster...



Aktivator-Inhibitor-Modell:

Spezialfall dieses Ansatzes, bei dem das eine Substrat einen bestimmten Prozess (z.B. Pigmentbildung = Farbexpression) fördert und das andere Substrat ihn hemmt

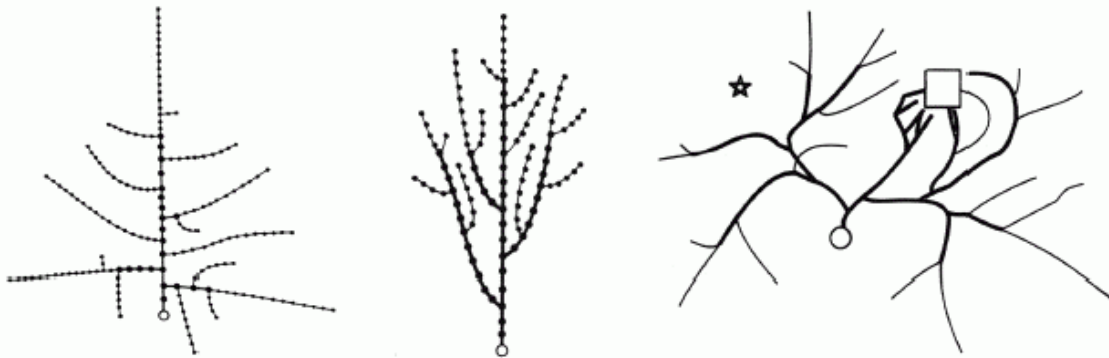
Anwendung: Modellierung von Tierfell-Mustern und Schneckenschalen



Ähnlicher prozeduraler Feld-Ansatz auch zur Modellierung von Verzweigungsbildung:

- 1967, Biologe E. Cohen: Erzeugung von Verzweigungsstrukturen
- für jedes Verzweigungsmuster Fortran-Programm mit Wachstumsregeln

- Wachstum findet nur an den Spitzen der Äste statt
- Stärke und Winkel des Wuchses werden durch die aktuelle Richtung, ein lokales Dichtefeld, dessen Gradienten sowie die Resistenz der Struktur gegen Winkelveränderungen bestimmt.
- Die Verzweigungstendenz wird durch ein probabilistisches Maß bestimmt, das neben einem generellen Wert von der Entfernung zur letzten Verzweigung und vom lokalen Dichtefeld abhängt.



rechtes Bild: ein Objekt (Stern) scheidet Inhibitor-Stoff aus, das andere (Quadrat) den Aktivator (Manipulation des umgebenden Feldes)

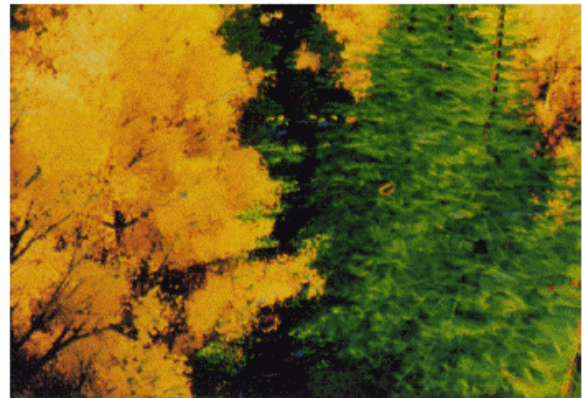
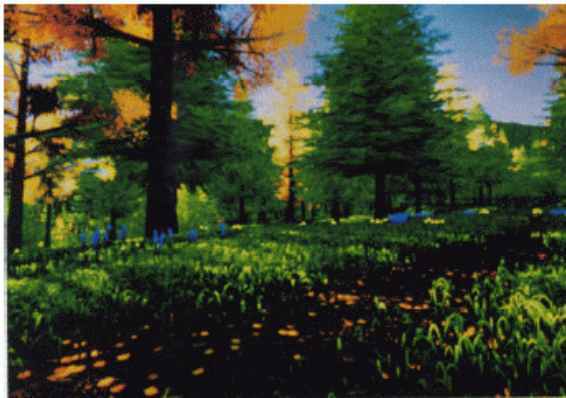
- Modell kann mit global-sensitiven L-Systemen emuliert werden (Prusinkiewicz et al.)

Partikelsysteme

kleine Partikel als Objekte, Erzeugung und Verhalten zum großen Teil stochastisch bestimmt

Darstellung von Bäumen über Partikelsysteme

- visuelle Modelle, für Film
- primitives rekursives Verzweigungsmodell
 - Postprocessing: Zufälligkeiten werden eingebaut
 - Blätter: kleine Kugel mit Farbe und Ausrichtung
- wichtig: korrekte Farben sowie Licht/Schatten
- Ergebnis trotz botanischer Inkorrektheit brauchbar

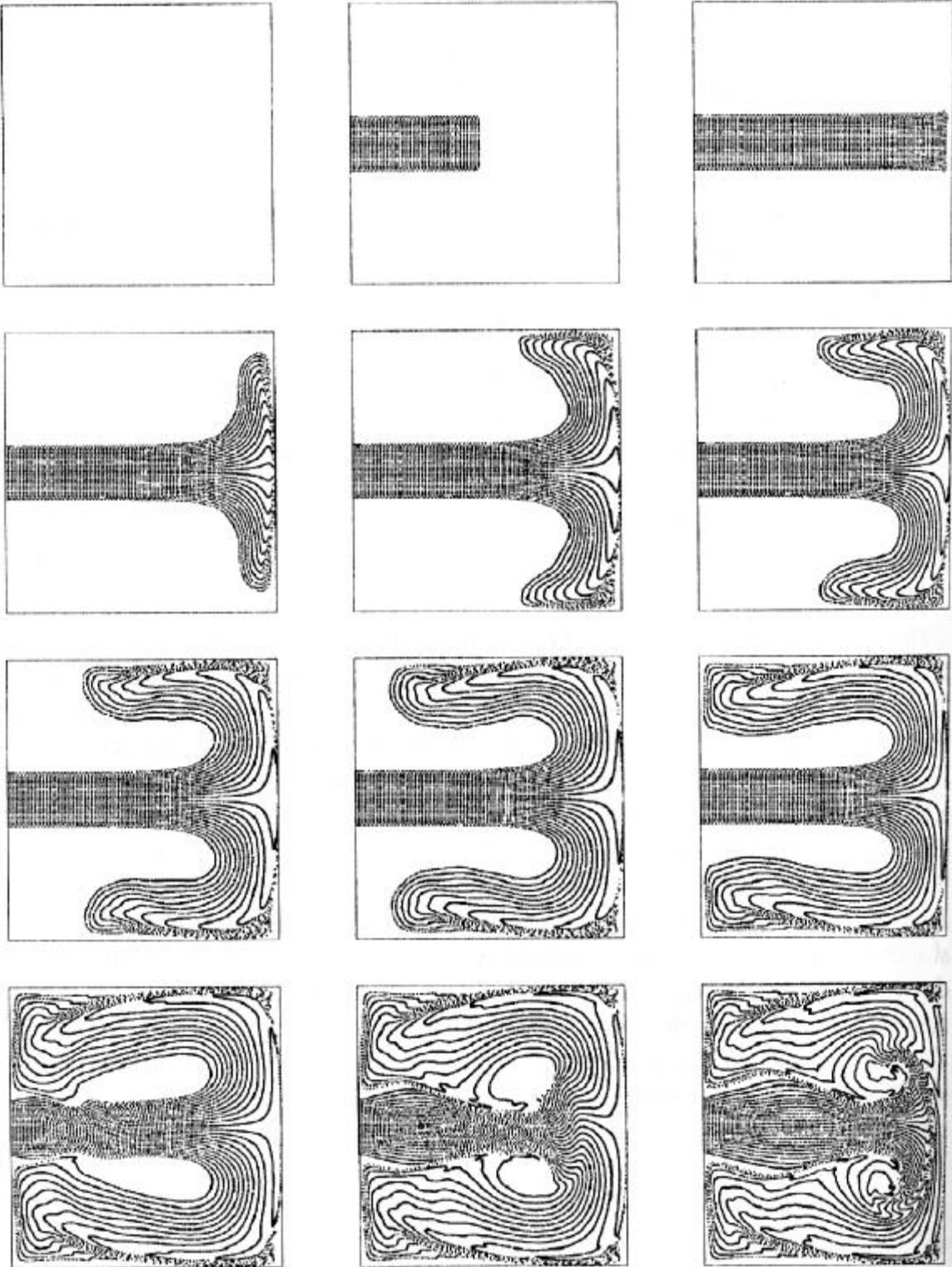


Strukturierte Partikelsysteme nach Reeves und Blau

Verwendung z.B. auch für Modellierung von Flammen, Funkenflug, Nebelschwaden (auch animiert)

Rendering ist bei großer Zahl von Partikeln nichttriviales Problem!

Beispiel: Simulation von Spritzguss mittels Partikelverfolgung (aus Bungartz et al. 1996):



Weitere Ansätze der Modellierung von Vegetation:

Fraktale Baummodelle nach Oppenheimer

- inspiriert durch Arbeiten von Mandelbrot
- rekursive Prozedur zur Erzeugung von Selbstähnlichkeit

⇒ Verwendete Parameter sind:

- Verzweigungswinkel
- Verhältnis der Größe von Vater- und Kindzweigen
- Grad der Verjüngung entlang Stamm und Ästen
- Anzahl Zweige pro Stamm-Segment
- Deviationswinkel



Fraktales Baummodell nach Oppenheimer

- Stamm und Äste: generalisierte Zylinder durch Verbindung von Segmenten
- realistisch aussehende Rinde:
horizontal verlaufende Sägezahnfunktion + Brownsches Rauschen

$$\text{Rinde}(x, y) = \text{Sägezahn}(N * (x + R * \text{noise}(x, y)))$$

$\text{noise}(x, y)$: periodisch in x - und y -Richtung verlaufendes Rauschen

Baumsimulation von Bloomenthal ("Modelling the Mighty Maple")

- Kontrollpunkte über rekursiven Algorithmus erzeugt
- Punkte werden über Spline-Interpolation C2 stetig verbunden
- Oberfläche wird erzeugt, indem senkrecht zum Spline kreisförmige Scheiben angeordnet und verbunden werden
- Schwierigkeit: natürliche Verzweigungen
- Lösung: sattelförmige Flächen zwischen verzweigenden Strängen
- Rinde wird durch Bump- Mapping mit einer aus echter Rinde gewonnenen Textur dargestellt



Kombinatorische Methode nach Viennot et al.:

- matrixgesteuerte Verzweigungs-Generierung
- ausgehend von "Horton-Strahler-Analyse" von Verzweigungssystemen (aus der Geomorphologie – Fluss-Systeme in der Landschaft)
- keine Simulation des botanischen Wachstums



Pipe-Model-Ansatz zur Baum-Modellierung

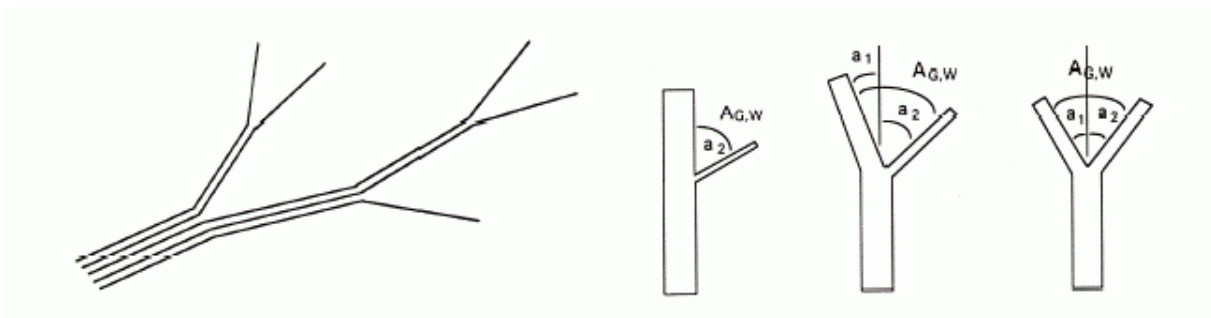
Verwendung in physiologischen Pflanzenmodellen, in Struktur-Funktions-Modellen von Pflanzen, im Forst- und Agrarbereich

- "pipes", Stränge, Röhren: wasserleitende Grundbausteine von Vegetation (Einzelbäume und ganze Bestände)

von Biologen meistens zit.: Shinozaki et al. (1964)

– Idee ist aber viel älter

- Idee: Leonardo da Vinci
- Baum wird durch Stränge von der Wurzel bis zu jeweils einem Blatt definiert
- in einer Gabelung werden die Stränge aufgeteilt und laufen als Kinder weiter
- dabei ist die Summe des Querschnitts des Vaters einer Astgabelung gleich die Summe der Querschnitte der Söhne
- Anzahl der Stränge bestimmt Dicke und Länge der Äste, Anzahl der Blätter und den Verzweigungswinkel

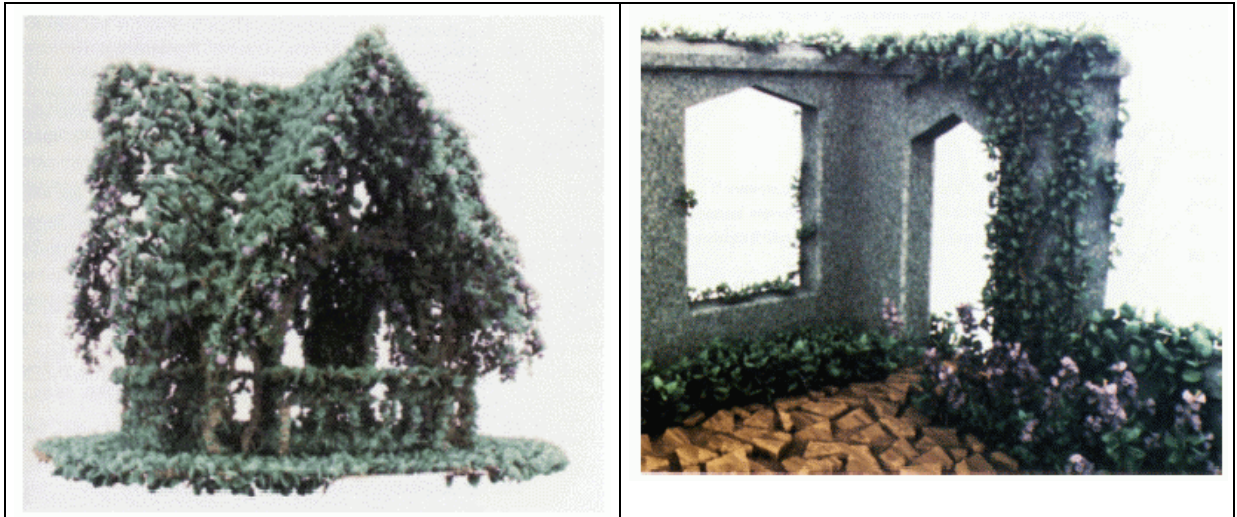


Beispielbäume nach Holton

- Tannen aus jeweils 2500 Strängen

voxelgesteuerte Vegetationsmodelle

Wachstum wird durch Eigenschaften des Raumes, spezifiziert durch Attribute von Voxeln, gesteuert



Emulation des Modells mit global sensitiven L-Systemen möglich
(Prusinkiewicz et al. – "Synthetic Topiary")

Phyllotaxis (Blattstellung) in Pflanzenmodellen:

- gut geeignet für Algorithmisierung, da offensichtlich mathematischen Gesetzen folgend
- lange Zeit Kausalität nicht verstanden
- Simulationsmodelle der Meristem-Geometrie haben zum Verständnis beigetragen

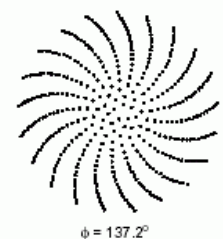
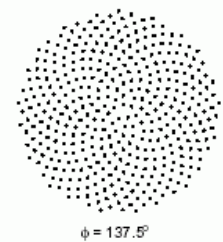
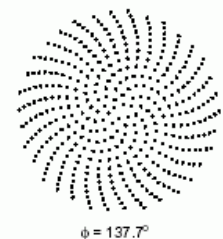
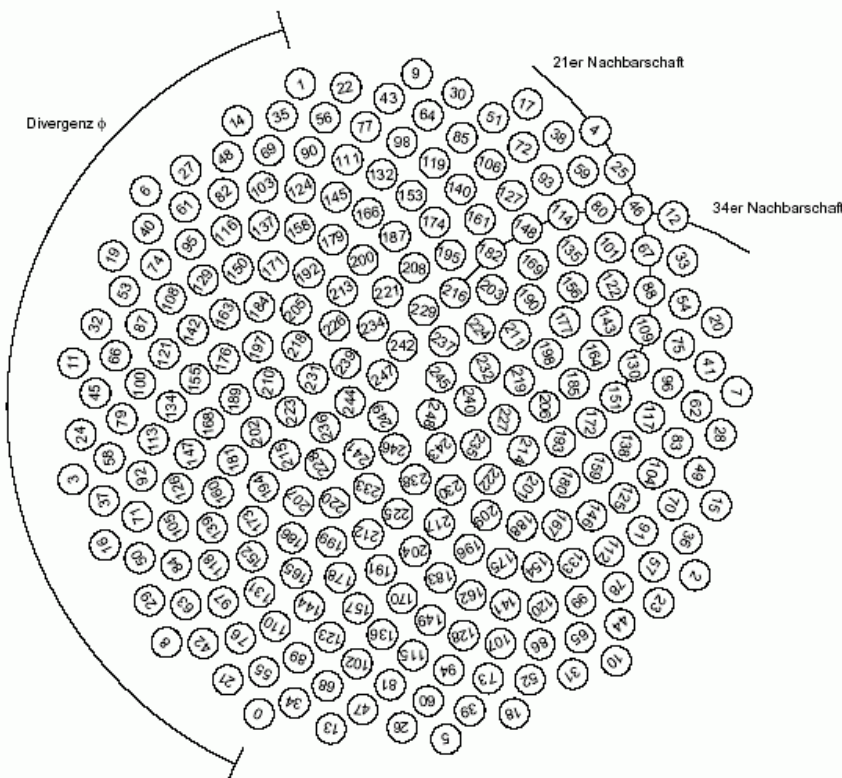
Phyllotaxis

- Beschreibung der Anordnung von Blättern und Blütenblättern in Pflanzen
- Beispiel: Arrangements der Samen der Sonnenblume
- mathematische Beschreibung: goldener Schnitt

$$r_i = c \cdot \sqrt{i} \quad \alpha_i = i \cdot \phi \quad (1)$$

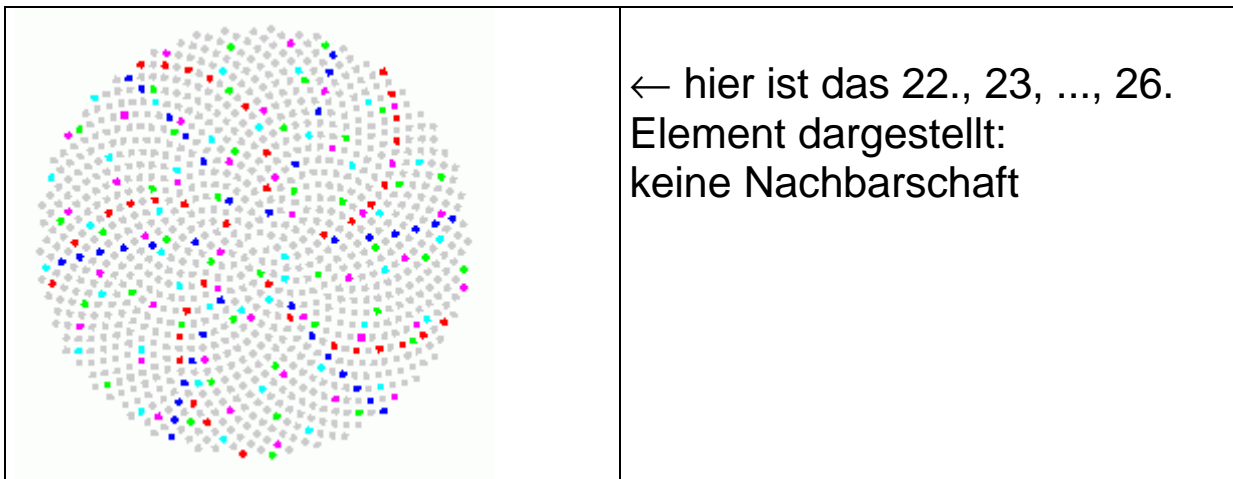
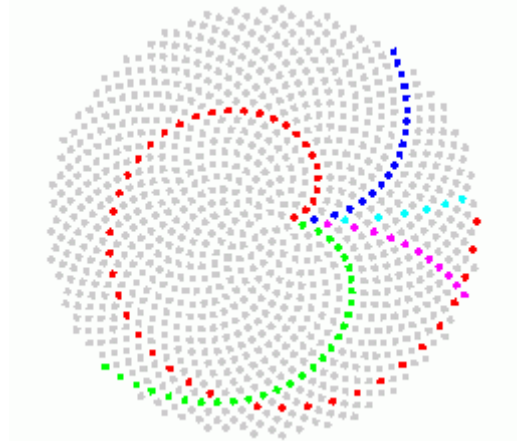
wobei c eine positive Konstante ist und ϕ genau den Wert von 137.5° einnehmen muß. Es gilt

$$\phi = \frac{360^\circ}{\tau^2} = 137.5077\dots^\circ \quad \text{mit} \quad \tau = \frac{\sqrt{5} + 1}{2}. \quad (2)$$



In der Anordnung treten die Fibonacci-Zahlen in Erscheinung:
1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 ...

Nachbarschaft im Vegetationskegel:
jedes 21.: rot, jedes 34.: grün, jedes 55.: blau, jedes 89.:
magenta, jedes 144.: cyan



- "teleologische" Erklärung durch Optimalitätsannahme
- kausale Erklärung durch Platzmangel im Meristem → optimale Anordnung stellt sich "von selbst" ein

Verwendung phyllotaktischer Anordnung in L-Systemen:

grundlegende Regel

$a(n) \rightarrow RU(137.5) [f(\text{sqrt}(n)) \text{ kreis }] a(n+1)$

(**kreis** muss mit Interpretationsregel in einen Kreis, eine Knospe, Blüte, Seitentrieb etc. transformiert werden)



Sonnenblume und Rosen, generiert über parametrische L-Systeme

aus Prusinkiewicz, Lindenmayer: The algorithmic beauty of plants

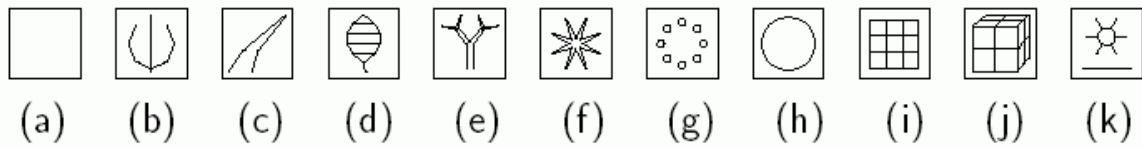
XFROG (Deussen & Lintermann):

- interaktives System zur Pflanzenmodellierung, das sich am Szenengraphen-Konzept orientiert
- botanisch nur schwach fundiert, keine Wachstumsmodellierung
- aber grafisch sehr zufriedenstellende Ergebnisse
- hohe Flexibilität

Dreistufiger Algorithmus

1. erzeuge Graph aus Komponentenprototypen (p-graph)
2. expandiere Graph zu Baum (i-tree)
3. erzeuge Geometrie durch Traversierung des Baums

Komponenten

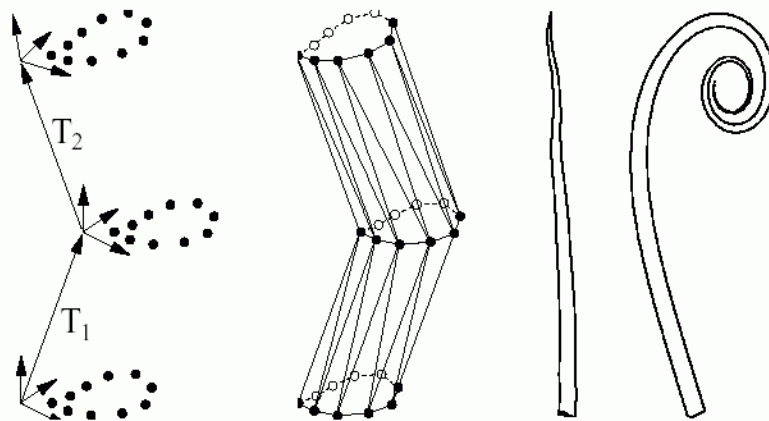


Geometrierzeugung: a) Simple, b) Revo, c) Horn, d) Leaf

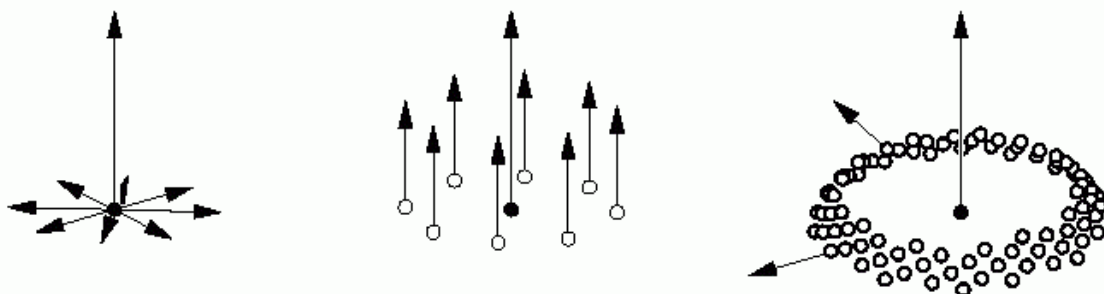
Multiplikation: e) Tree, f) Hydra, g) Wreath, h) Phiball

Globale Modellierung: i) FFD, j) Hyperpatch, k) World

Horn/Tree-Geometrie (inspiriert von Todd/Latham):



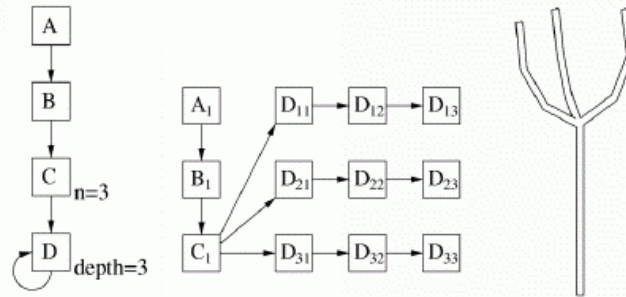
Multiplikation:



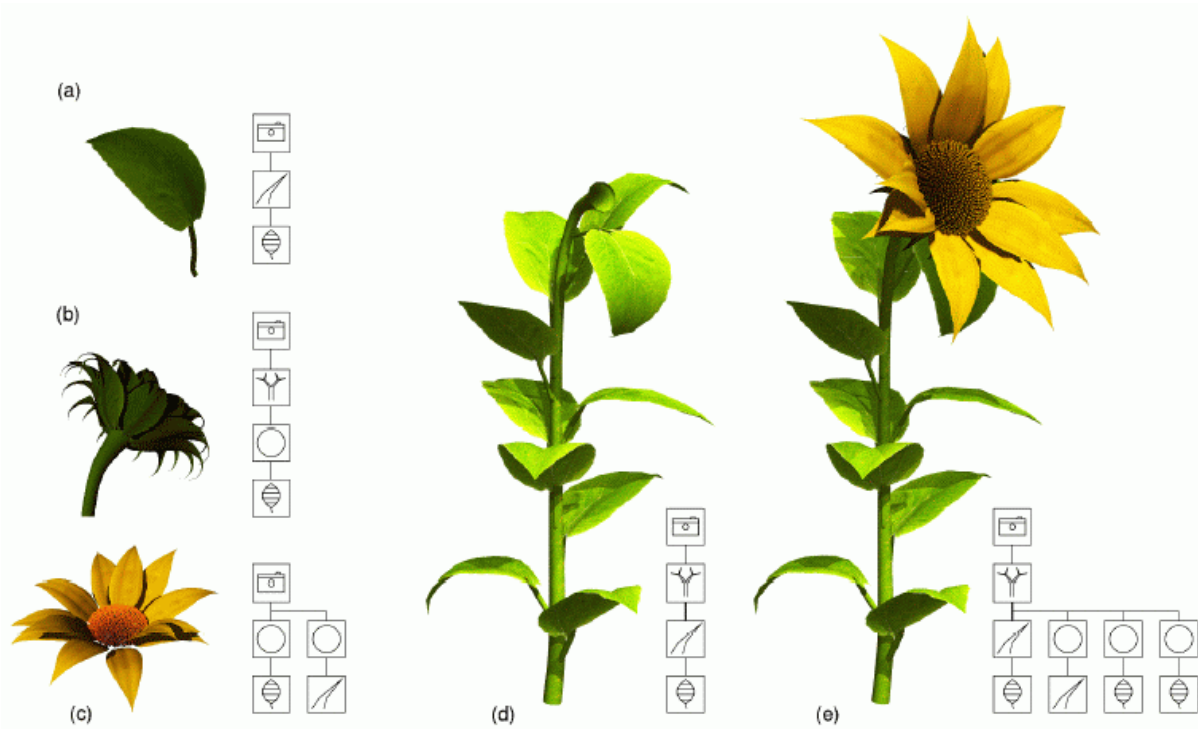
a) Hydra, b) Wreath, c) Phiball

Ein Beispiel

- A* Wurzel
- B* Geometrierzeugende Komponente
- C* Multiplikator (Anzahl Kopien=3)
- D* Geometrierzeugende Komponente (Rekursionstiefe=3)



Beispiel: Sonnenblume



Beispiel: Rhododendron



Beispiel: Baum



Meristem-orientierte Pflanzenmodellierung

botanisch fundierter Ansatz

(Meristeme = teilungsaktives Gewebe, in den Knospen)

Adrian Bell 1976, Philippe de Reffye 1976

- Simulation des Wachstums der Sprossachsen in diskreten Zeitabschnitten von Knoten zu Knoten
- entlang eines Sprosses wird so Internodium an Internodium gesetzt, nach definierter Länge Blätter/Verzweigungen
- Spross kann ruhen oder absterben
- Knospe trägt Wahrscheinlichkeiten für Zustände in sich:
 1. Wahrscheinlichkeit abzusterben
 2. Wahrscheinlichkeit einen Zeitabschnitt auszusetzen
 3. Wahrscheinlichkeit sich zu verzweigen



(Kreuze: Knospe abgestorben)

Das Modell-System AMAP

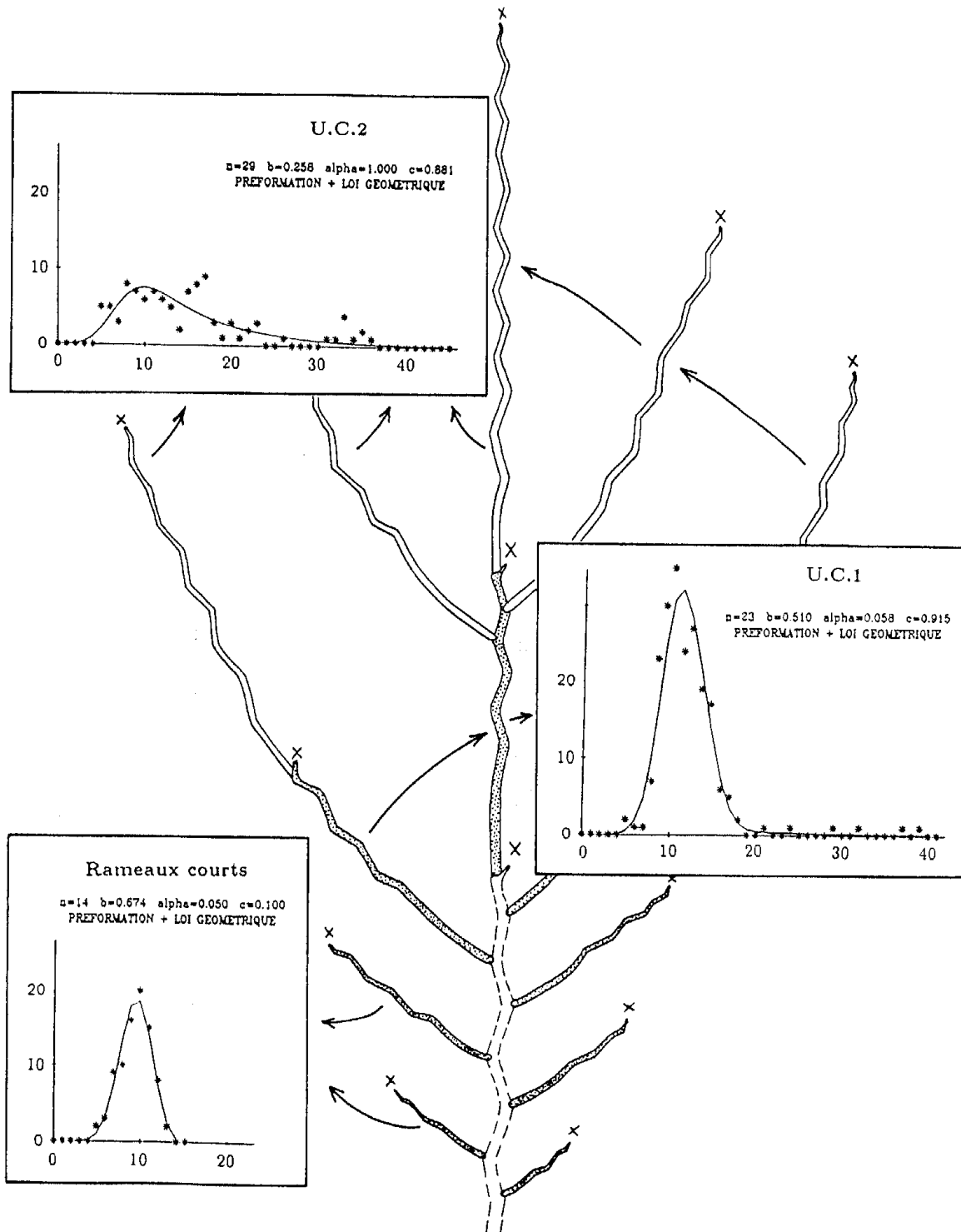
("Atelier de Modélisation de l'Architecture des Plantes")

CIRAD, Montpellier (Frankreich)

Philippe de Reffye et al.

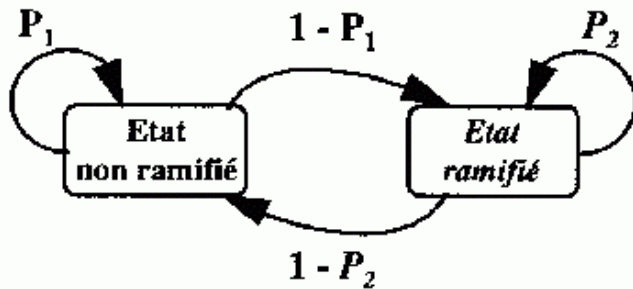
- basiert auf dem Meristem-Ansatz
- entwickelt in enger Zusammenarbeit von Informatikern und Biologen
- weiterentwickelt über die letzten 25 Jahre: Aufnahme neuer Ideen (Markoffketten-Modelle, Referenzachse, Kohlenstoff-Allokations-Modelle...)
- verschiedene, divergierende Software-Systeme für verschiedene Zwecke

Basis: Statistik der Internodien-Anzahlen

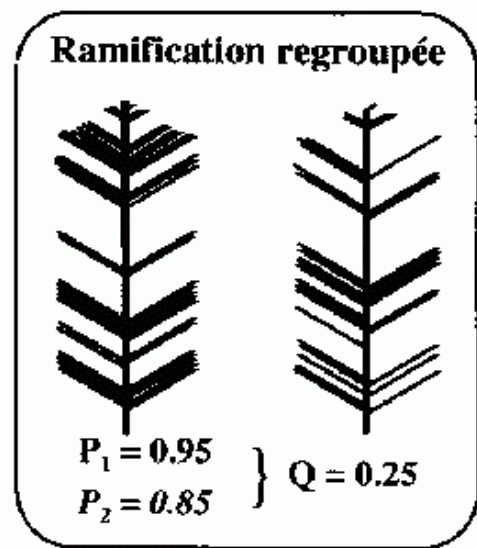
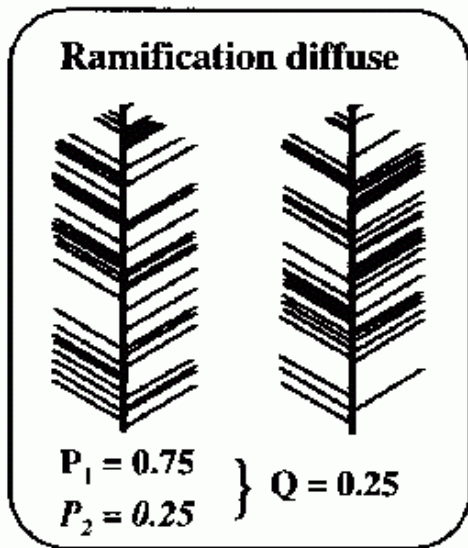


→ Simulation: Modell des Produktionsprozesses für neue Internodien (stochastisch); hinzu kommt: Ruhephasen, Absterben von Knospen

Modellierung des Verzweigungsverhalten mit Markoff-Ketten

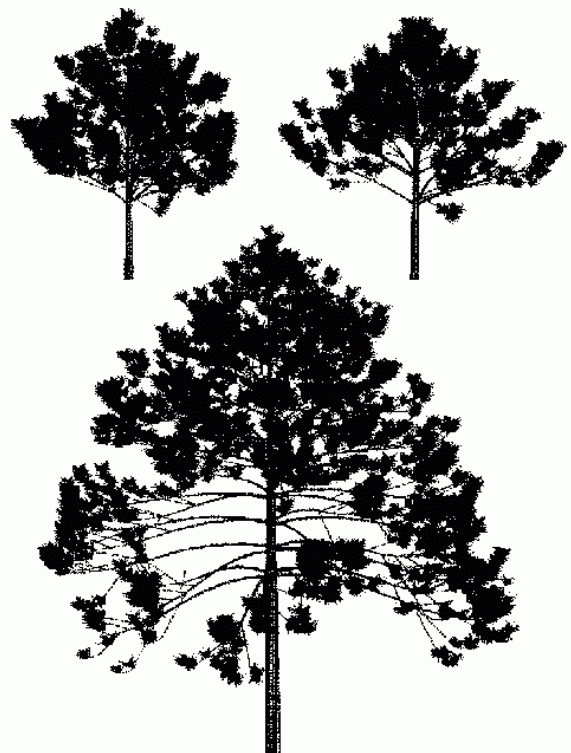


$$Q = \frac{1 - P_1}{(1 - P_1) + (1 - P_2)}$$



Beispiel:
Kiefernmodell mit AMAP

oben: 2 Individuen mit gleichen Parametern, unterschiedliche Zufallszahlen (natürliche Variabilität)



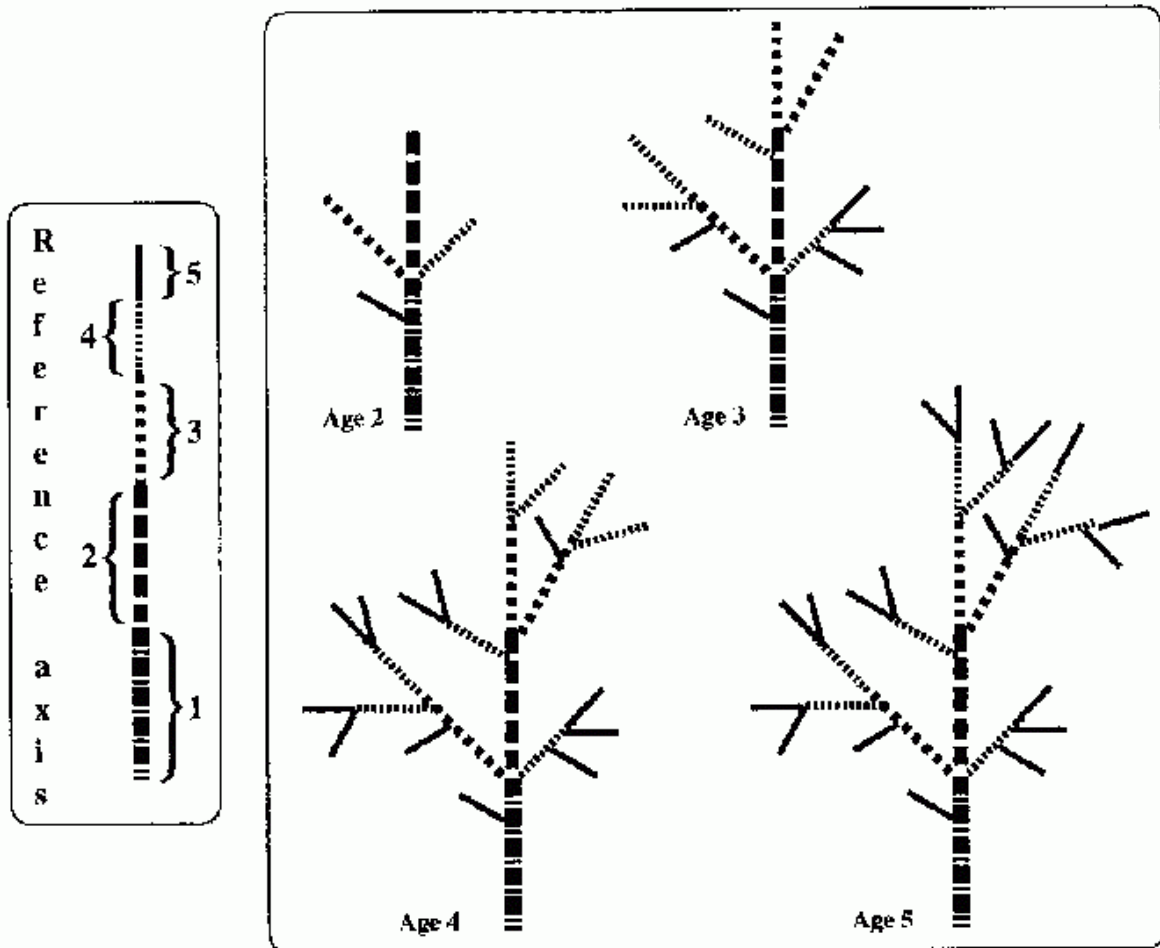
Idee der *Referenzachse*:

Parametrisierung von Zuständen von Vegetations-Organen durch eine Größe namens "Physiologisches Alter"

- "physiologisch alte" Organe haben geringes Verjüngungs- und Regenerationspotential, bringen nur noch wenig hervor
- können auch in jungen Pflanzen auftreten (an ungünstigen Positionen)

alle physiologischen Altersstufen werden auf einer virtuellen Achse linear aufgereiht

→ formal: endlicher Automat

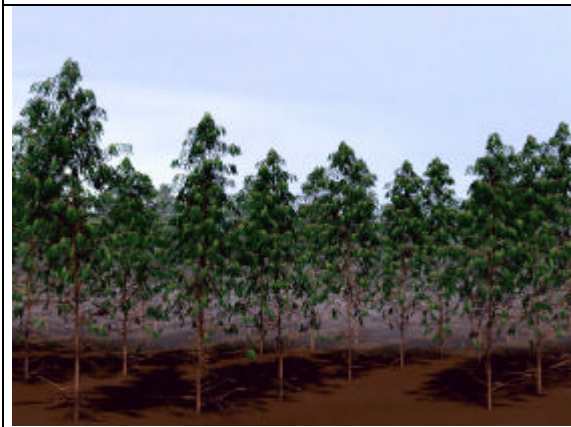


Anwendungsbeispiele:



Kiefernmodell mittels AMAPsim (Barczi et al., CIRAD)

Eukalyptus-Plantage



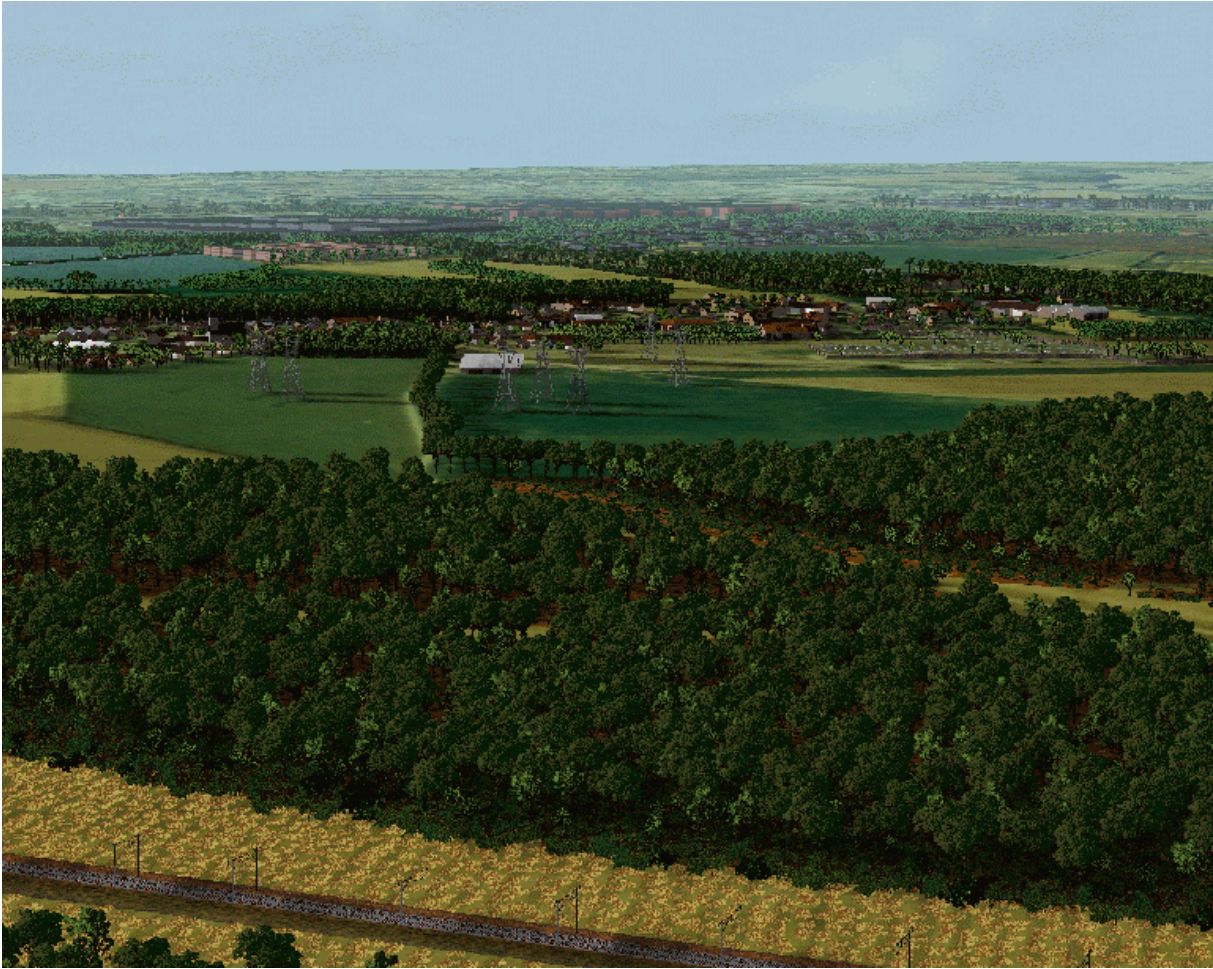
agrarisch-forstlich genutzte
Landschaft in Südfrankreich



Landschaftsplanung



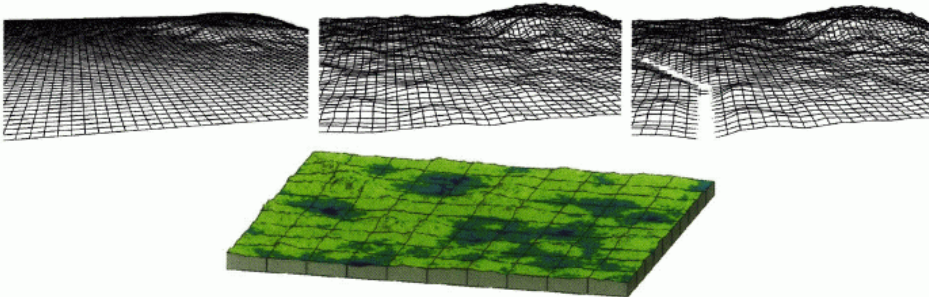
("vorher / nachher", simuliert)



Besondere Techniken für die Modellierung großer Pflanzenbestände

Erzeugung von Pflanzenpopulationen/ Ökosystemen

- Verwendung parametrisierter Pflanzenmodelle
→ xfrog, L-Systeme
- Spezifikation von Terrain und Bodendaten
→ interaktiv oder mit Geodaten



- Spezifikation von Pflanzenpositionen und -parametern
→ interaktiv, deklarativ oder simulativ
- Reduktion von Geometriedaten
→ Quantisierung, approximative Instanziierung
- effiziente Bilderzeugung
→ cache-koherentes Raytracing
→ hardware-beschleunigtes Raycasting

Spezifikation von Pflanzenpositionen und -parametern

Möglichkeiten:

- a) Interaktive Spezifikation "Malprogramm"
- b) Prozedurale Generierung anhand explizit bekannter Verteilungen
→ Interpretation von Satellitenbildern
- c) Prozedurale Generierung aufgrund von Simulationsverfahren
→ Verdrängung, Kampf um Licht

Spezifikation durch Simulation

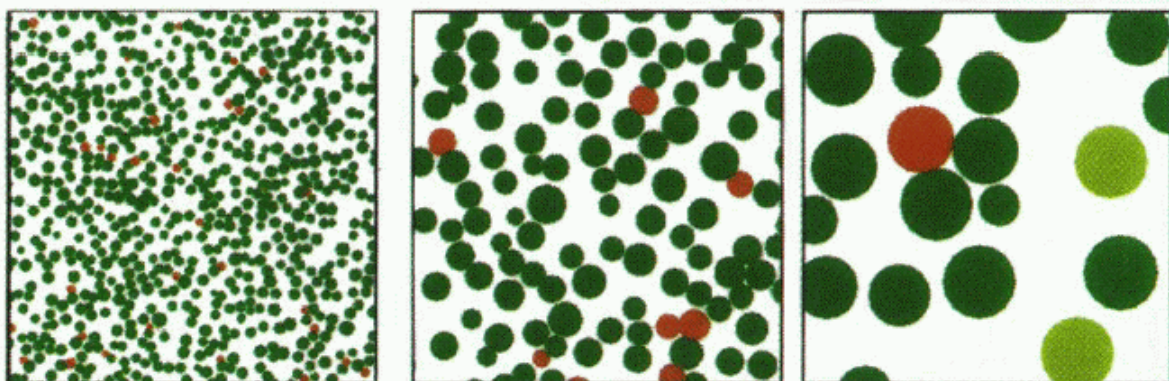
→ Ausgangspositionen zufällig oder interaktiv spezifiziert

→ Simulation von Selbstverdrängung (self-thinning)

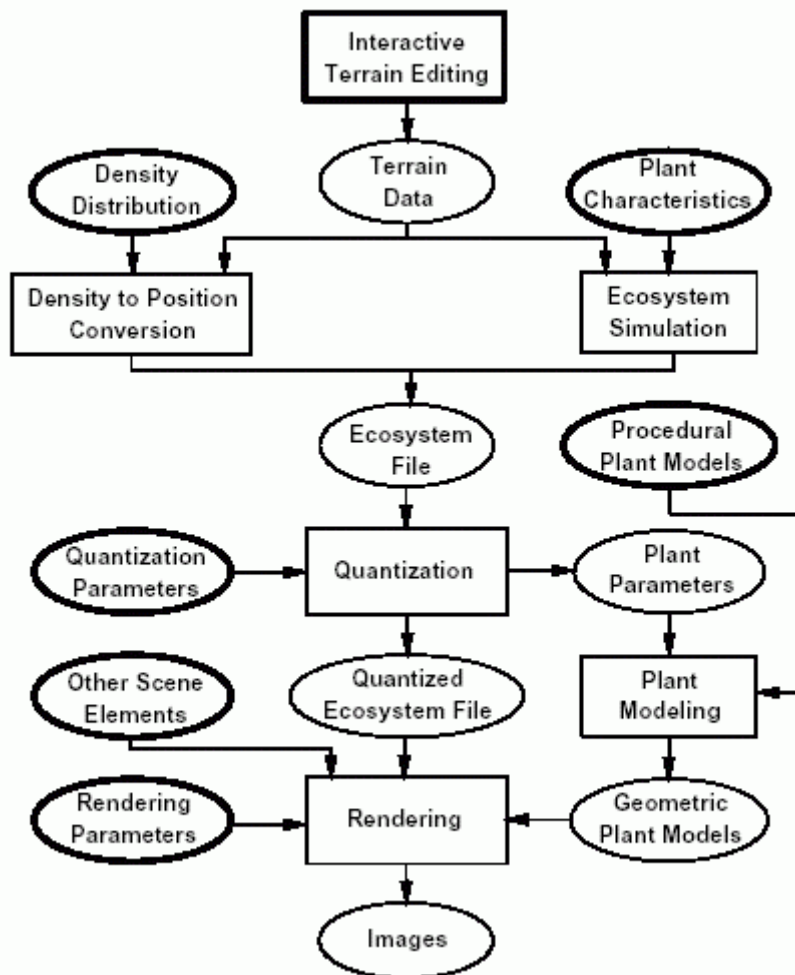
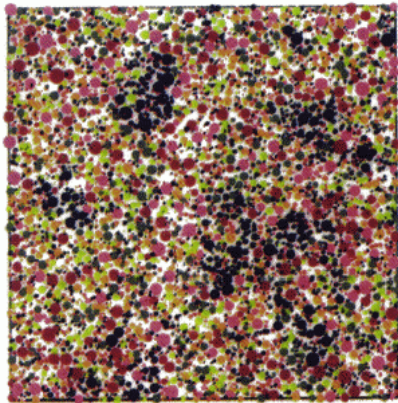
Yoda et al.:

$$\log(m) = -\frac{3}{2}\log[d] + const$$

(m : Trockengewicht, d : Pflanzendichte)

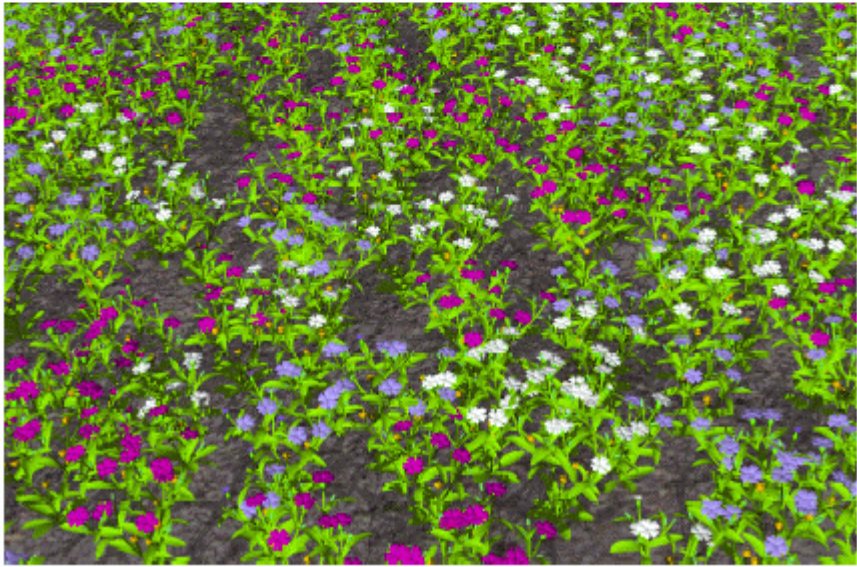
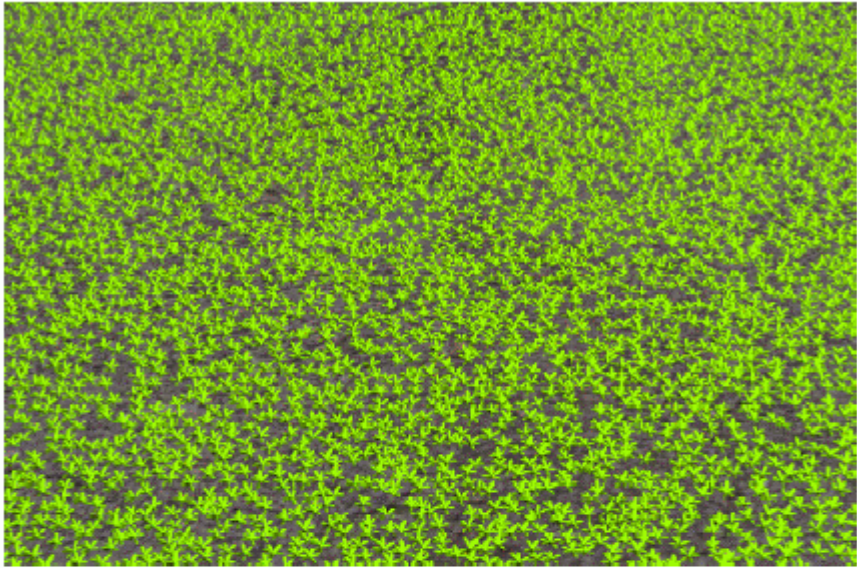


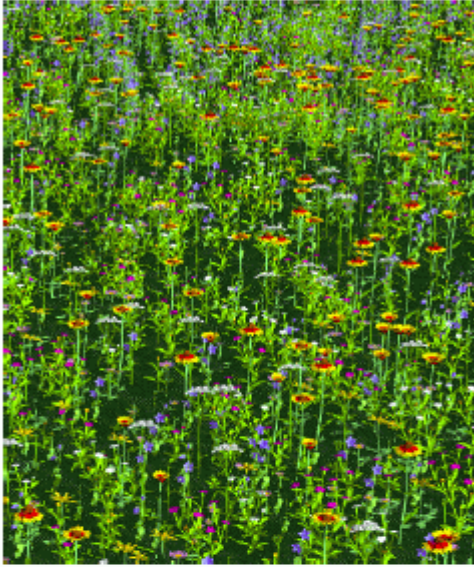
- Verdrängung/Selbstverdrängung
- Umweltfaktoren (Wasser, Erdbeschaffenheit)



Aufbau eines modularen Systems zur Simulation großer Pflanzenbestände (aus Deussen et al. 1998)

Beispiele für Simulationsergebnisse:







(aus Deussen et al. 1998)