

L-Systeme

nicht sensitive Bäume

Vortrag im Rahmen des Seminars
„Artificial Life und Multiagentsysteme“
bei Prof.Dr.W.Kurth

von Michael Henke

SS03 am 20.05.2003

Gliederung

- Anwendungsgebiete, Mächtigkeit
- L-Systeme: die Grundlagen, die Arbeitsweise
- Turtle-Grafiken, als graphische Interpretation
- Erweiterungen der L-Systeme
- Beispiel: Zweigentwicklung Rotbuche
- Modellierung konkreter botanischer Objekte
 - Wie kommt man zum L-System?
- Einschränkungen, Grenzen

Anwendungsgebiete

- Hauptanwendung Pflanzenmodellierung (z.B. bei Kräutern, Gräsern, Blüten, Sträuchern, Bäumen)
 - realistische Nachbildung
 - Selbstbeeinflussung, Umweltinteraktion
- Aber auch bei Webmustern, fraktaler Musik, Konfiguration von Rechnersystemen, Architektur von Gebäuden sowie Robotik
- Zell- und Bakterienwachstum und Ausbreitung
- Tierverhalten, Nahrungsaufnahme, Vermehrung

Aristid Lindenmayer⁽¹⁹²⁵⁻¹⁹⁸⁹⁾

- Botaniker an der University of Utrecht (NL)
- Suchte eine Methode zur Beschreibung von einfachen Zellorganismen (fadenförmigen Algen)
- 1968 erste Veröffentlichungen zum Thema „Mathematical models for cellular interactions in development“ Part I and II

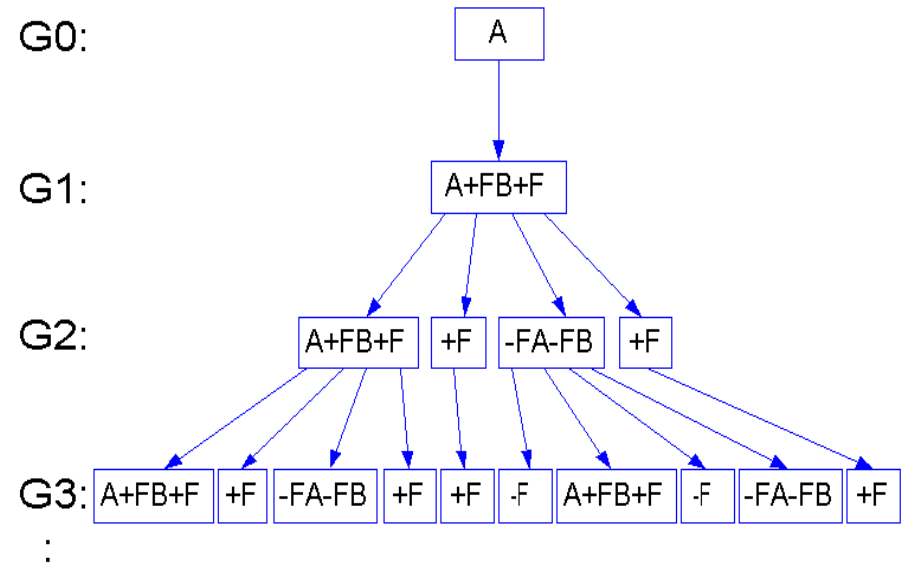
L-Systeme Formalismus

- Spezielle Grammatiken $L := (\Sigma, \alpha, P)$
- Σ , das Alphabet, eine nicht leer, endliche Menge von Zeichen
- α , einem Startwort aus Σ^+
- P , eine Menge von Produktionsregeln der Form:
Symbol \rightarrow Folge von Symbolen; $P \subset \Sigma \times \Sigma^*$
 - anzuwenden parallel auf alle Symbole der Zeichenkette zum Zeitpunkt t in eine neue Zeichenkette zu Zeit $t+1$
 - Zeichen, auf die keine Regeln anwendbar sind, werden unverändert übernommen.

Beispiel

- Alphabet: $\Sigma = \{A, B, F, +, -\}$
- Startwort: $\alpha = A$
- Produktionsregeln:
 $P = \{(A \rightarrow A+FB+F),$
 $(B \rightarrow -FA-FB)\}$

→ L-System := $\{\{A, B, F, +, -\},$
 $A, \{(A \rightarrow A+FB+F),$
 $(B \rightarrow -FA-FB)\}\}$

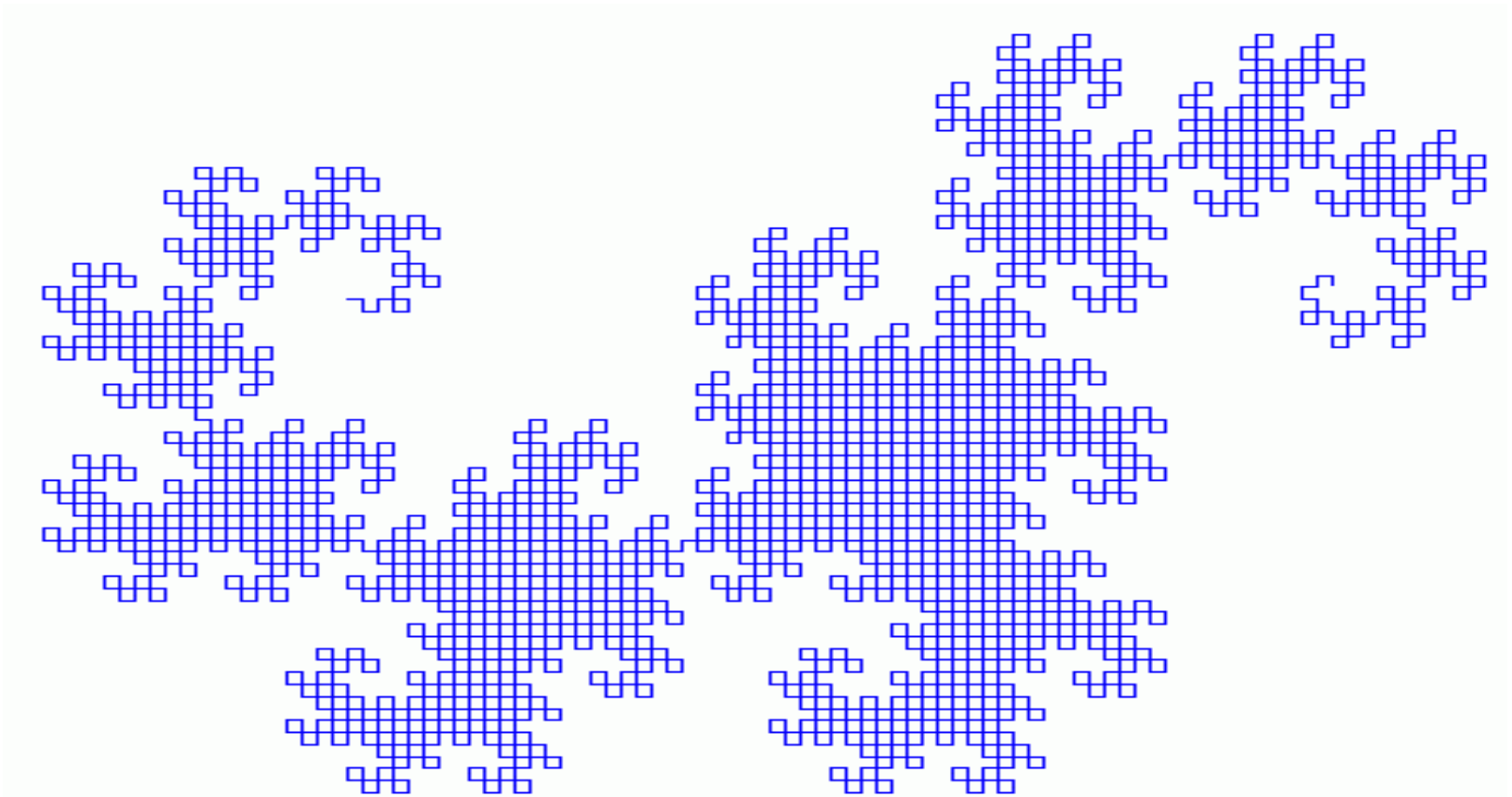


- Generationenübergang:

- beginnend bei $i = 0$, dem Startwort
entsprechend, gemäß den
Produktionsregeln

Ergebnis nach der 10 Iteration

Drachen-Kurve (Umgebungsvariablen: $n = 10$; $l = 1$; $\delta = 90^\circ$)



Turtle-Graphik

- Die Spur der Bewegungen einer Schildkröte als **grafische Interpretation**



Das Turtle-Modell

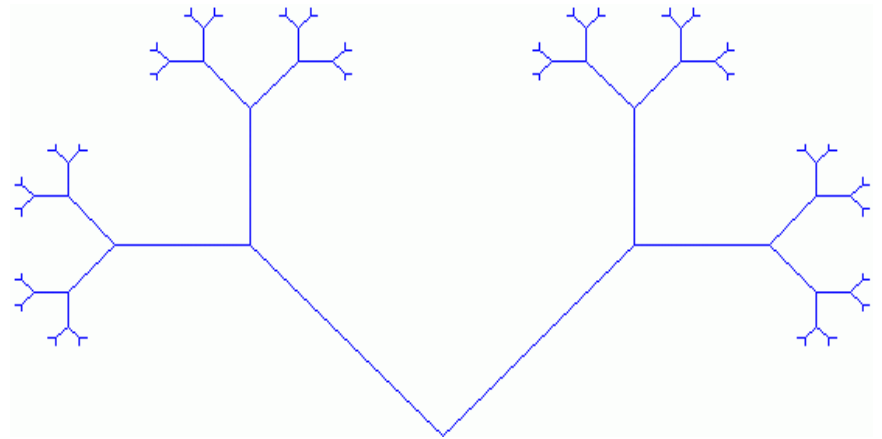
- Ein „Stift“ mit folgenden Eigenschaften
 - Vektoren (2D oder 3D)
 - eindeutigen Position $P = (p_x, p_y, p_z)$
 - aktuelle Richtung $H = (h_x, h_y, h_z)$
 - Methoden
 - F .. Vorwärtsbewegung entsprechend H
 - +,- .. Drehungen
 - Zahlenwerte (Umgebungsvariablen)
 - Farbe, Länge, Schreibstärke, Drehwinkel

Hauptmethoden einer Turtle-Klasse

Vor(), Vor(s)	Bewegt den Stift vorwärts, um den Defaultwert bzw. um s
Zurueck(), Zurueck(s)	Bewegt den Stift rückwärts, um den Defaultwert bzw. um s
DreheRechts(), DreheRechts(δ)	Dreht den Stift nach rechts, um den Defaultwinkel bzw. um δ
DreheLinks(), DreheLinks(δ)	Dreht den Stift nach links, um den Defaultwinkel bzw. um δ
StiftHoch(), StiftRunter()	Hebt bzw. senkt den Stift
SetzeXXX(x)	Farbe, Länge, Winkel, Stiftstärke,

Beispiel

```
void makeTree(Turtle mTurtle, float s) {  
    if (s < 1) return;  
    Point2D p = mTurtle.getStiftPosition();  
    float w = mTurtle.getStiftRichtung();  
    mTurtle.DreheLinks(45);  
    mTurtle.Vor(s);  
    makeTree(mTurtle, s/2);  
    mTurtle.setStiftPosition(p);  
    mTurtle.setStiftRichtung(w);  
    mTurtle.DreheRechts(45);  
    mTurtle.Vor(s);  
    makeTree(mTurtle, s/2);  
}  
..  
Turtle mTurtle = new Turtle(xStart, yStart);  
makeTree(mTurtle, 5);  
..
```



Interpretation

- Eingabe: Zeichenkette (meist vom L-System erzeugt)
- Ausgabe: geometrische Interpretation, Visualisierung, 2D/3D-Modell
- Arbeitsweise:
 - Beginnend bei $S[0]$, dem ersten Zeichen, lineare Interpretation jedes einzelnen Zeichens des Strings
 - Zeichen, für die keine Interpretationsvorschrift vorhanden ist, werden ignoriert

Interpretation (der Grundsymbole):

F .. Sichtbare Vorwärtsbewegung der Länge l

f .. Unsichtbare Vorwärtsbewegung der Länge l

+ .. Drehe links um Winkel δ

- .. Drehe rechts um Winkel δ

Grammatikerweiterungen

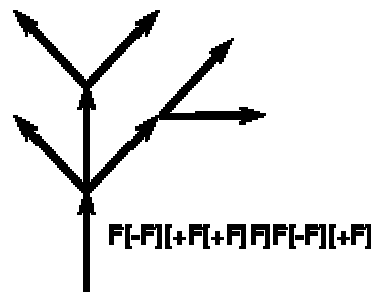
- Zufallswerte, Variablen- und Konstantendefinitionen: `\var i 0`, `\const x 10`
- Funktionsdefinition/aufrufe: `sin(x)`, `func(a,b)`
- Bedingungen: `if (i<5 && j>=3)`, `(i<5)`
- Stack (Verzweigungen) : `[]`
- Multiskalarität: `/`
- Interpretationsregeln: `##`
- Mathematischen Ausdrücke: `(i*1.1+a/3)`
- Schleifen: `&(i<5) B`
- Einfügen von Kugeln, Quadern, Kegeln, Kurven, Freiflächen
- Abkürzende Schreibweisen:
 - `RU45`, `RH10`, `RL-90` .. Drehanweisungen
 - `L5` .. Länge auf 5 setzen
 - `P10` .. Farbe auf 10 setzen

➔ volle Mächtigkeit einer höheren Programmiersprache

Stack (Verzweigungen)

- ermöglicht Verzweigungen, wie sie bei Pflanzen häufig vorkommen
 - [.. Lege den aktuellen Zustand der Turtle auf dem Stack ab.
 -] .. Hole das oberste Element vom Zustandsstack und mache es zum aktuellen Zustand der Turtle. Die Turtle bewegt sich in diesen Zustand, ohne daß eine Linie gezogen wird.

Turtle-Interpretation eines geklammerten Wortes



Turtle-Interpretationen von geklammerten Systemen



System	Iterationen	Drehwinkel	Startwort	Produktionsregeln
a	5	25.7	F	$F \rightarrow F[+F]F[-F]F$
b	4	22.5	F	$F \rightarrow FF-[-F+F+F]+[+F-F-F]$
c	5	22.5	X	$X \rightarrow F-[[X]+X]+F[+FX]-X$ $F \rightarrow FF$

Wachstumsgrammatiken

- Zur Simulation des natürlichen Wachstums von Pflanzen, Bäumen, Zellen usw.
- Benutzt z.B.
 - zur Ertragsberechnung eines Flurstückes in der Forstwirtschaft
 - Laubmenge und Holzvolumen eines Baumes
 - Stoffverteilung/bewegung im Baum; z.B. Wasser, Chlorophyll, Zucker
 - Umweltbeeinflussungen wie Schattenwurf, Wasseraufnahme

Zweigentwicklung Rotbuche

```
0 \angle 5,

1 \var l1 table 8 9 11 14 17 16 14,
2 \var l2 table 40 44 44 40 31 20 9,
3 \var l3 table 10 11 12 15 17 15 13,
4 \var l4 table 24 35 38 35 27 17 7,
5 \var i index,
6 \var x1 normal 40 5,
7 \var len length,

8 \const bl 35,
9 \const minlf 15,
10 \const cf 0.2,
11 \const secgr 1.6,

12 \axiom veg 1 2,
13 \axiom shoot 1-8,

14 veg # bud,
15 bud # leaf,
16 leaf # ,

17 bud ## P12 [RU-90 F1 S(0)] RU90 F1
18 S(1) RU-132 F3.8 S(2) f-0.8
19 RU88 F4 S(3) f-0.8 RU-84 F4.7
20 S(4) RU52 F7.2 S(5) C(0,2) C(2,4)
21 C(5,3) C(3,1),

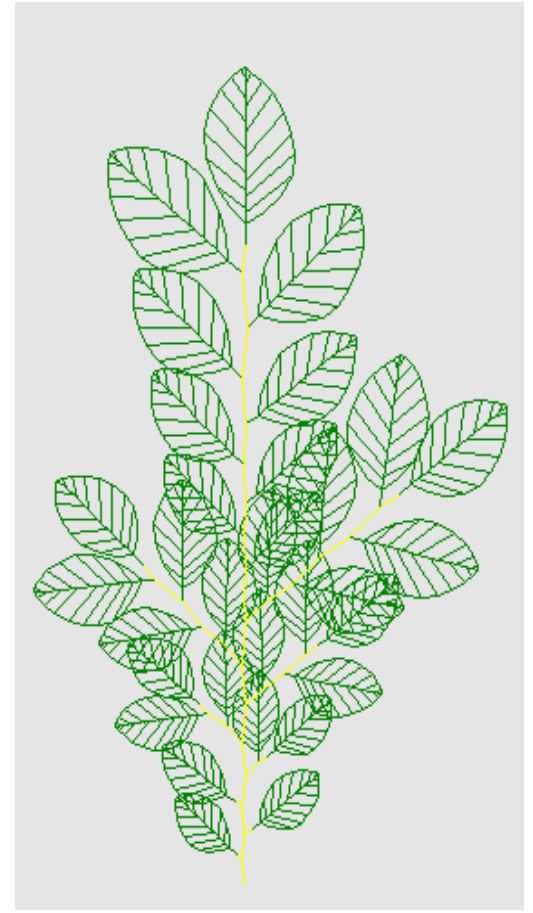
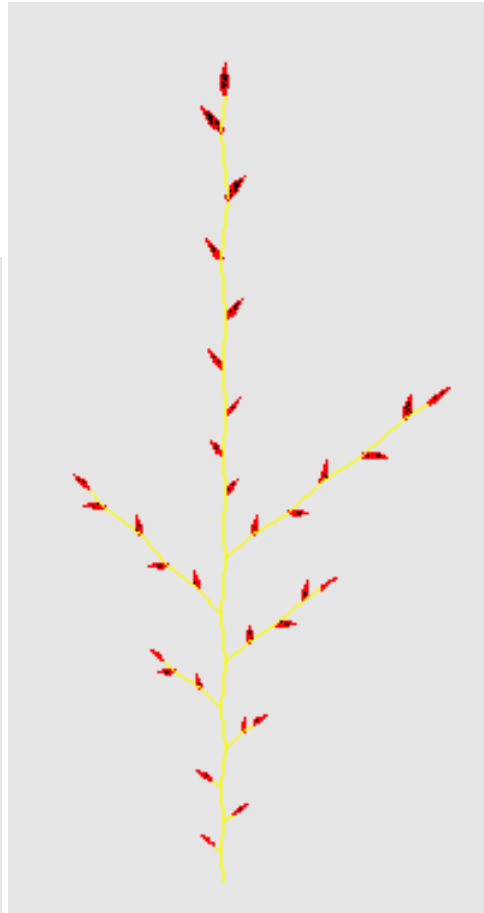
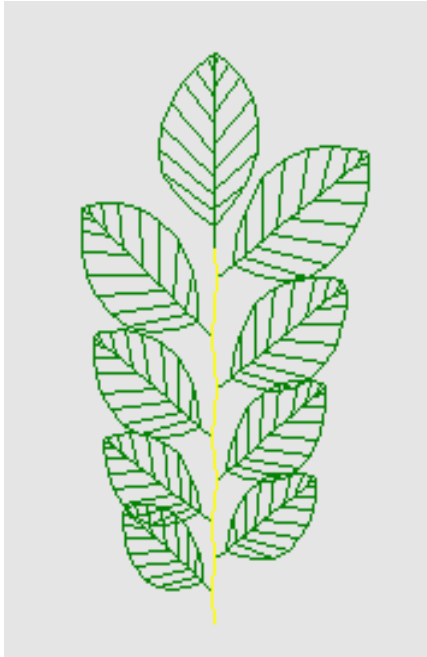
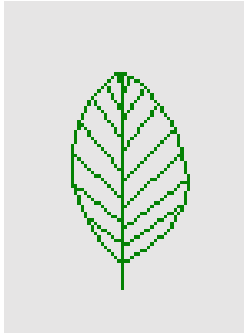
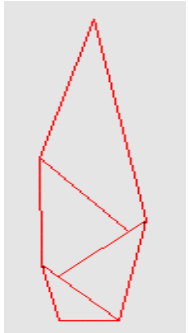
22 leaf ## P2 D1 F12 D0 [S(0) [RU58 f(15) S(1)] [RU53
23 f(30) S(2)] &(7)<F(11(i)) [RU(55-4*i) F(12(i))
24 S(i+3)] > F11 S(10)] [RU-45 f(15) S(18)]
25 &(7)<f(13(i)) [RU(4*i-55) F(14(i)) S(17-i)]>
26 &(18)<C(i, i+1)> C(18, 0),

27 shoot # L(bl) D+1.2 m(1, 9),
28 (j<2) m(j, n) # m(j+1, n),
29 (j=2 && n>1) m(j, n) # L*0.68
30 &(n-1)<-a(0) RH180 - [RU(x1) ang m(1, if(i<(n-1)/2,i/2,
31 i-1))] L*1.1 > - L*0.5 a(0) RH180 - L*1.7 m(1, n),

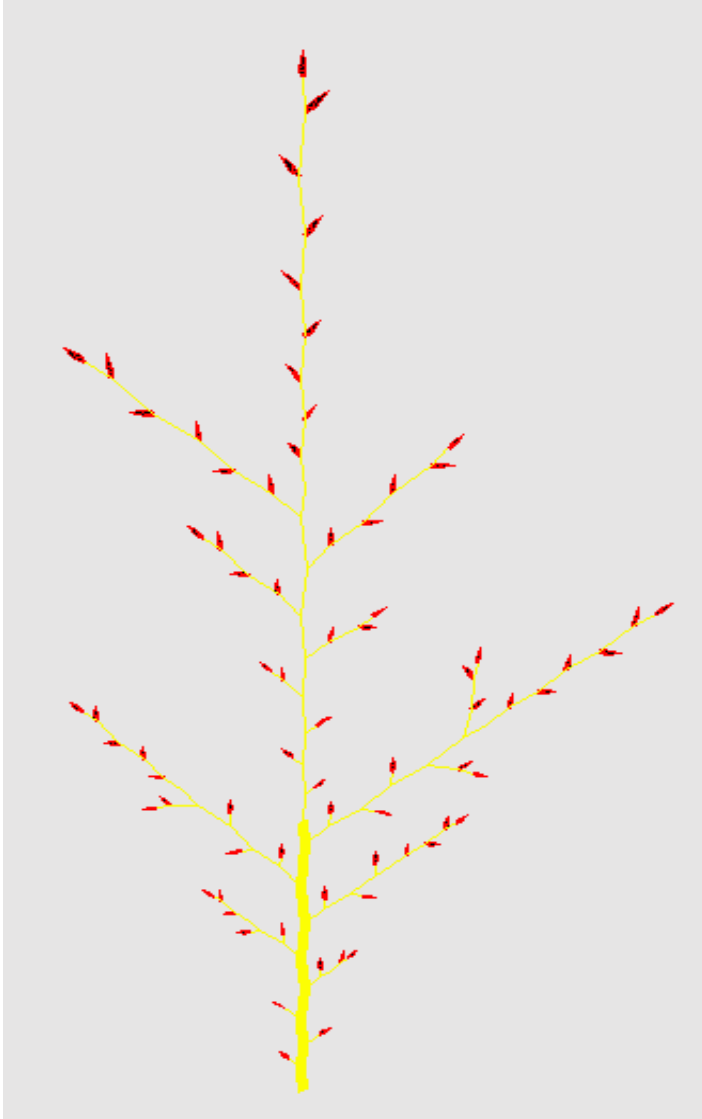
32 (j=2 && n<=1) m(j, n) # L*0.4 a(0) L*2 m(1, 1),

33 ang # RU10,
34 a(t) # a(t+0.5),
35 a(t) ## D1+(secgr * t) F,
36 m(j, n) ## L1(len/bl + 1/(cf*len+1/minlf)) D11 O(veg, j),
```

Entwicklungsschritte 1 bis 6



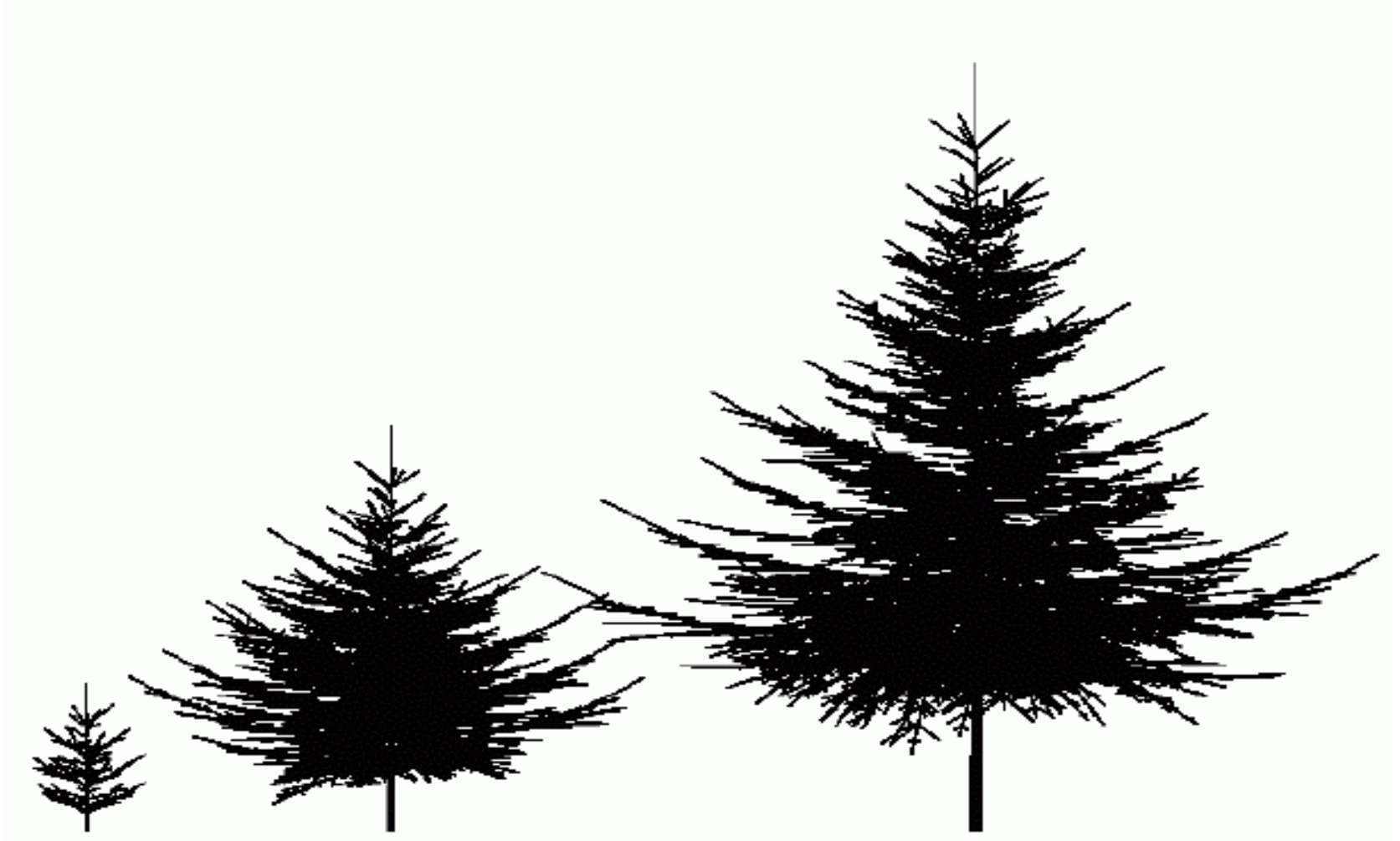
Entwicklungsschritte 7 und 8



Modellierung konkreter botanischer Objekte

- Analyse des Objektes in mehreren Zuständen in der Natur (Beobachtung) und / oder im Labor
- Auf nichtformalem Weg die Regeln aufstellen
- Regeln und Anfangszustand in ein L-System verwandeln
- Simulation laufen lassen, Erzeugung eines Wortes
- Resultat(wort) in eine graphische Ausgabe übersetzen (Interpretation)
- Das Bild (bzw. mehrere Bilder von verschiedenen Stadien) mit dem Verhalten des wirklichen Objektes vergleichen
- Evtl. Korrekturen vornehmen und die erforderlichen Schritte wiederholen

Beispiel Fichte



Analyse des Modells

Auszugsweise an den „Allgemeinen Charakteristiken“ veranschaulicht

	Probe A (gemessen)	Modell (Durchschnitt aus 5 Modell-Läufen)
Anzahl der Wachstumseinheiten	3009	3140
Länge des gesamten Astes	2379 mm	2285 mm
Radius des gesamten Astsystems	1473 mm	1352 mm
Summe aller Wachstumseinheiten-Längen	161.7 m	161.0 m
Mittlerer Verzweigungswinkel	56.4°	57.0°
Box-Dimension (der Projektion)	1.7868	1.7877

Einschränkungen, Grenzen

- Kontrolle nur durch Vorgänger-Symbol (linear) oder stochastisch
 - Fehlende Interaktion innerhalb des modellierten Objektes oder mit der Umwelt
 - Determinismus oder stochastische Modelle ohne kausale Komponenten
- Beschränkung auf ortsfeste Organismen und auf diskrete Entwicklungsschritte

Literatur / Software

- [P. Prusinkiewicz et al. (1990)] Przemyslaw Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer: "**The Algorithmic Beauty Of Plants**", Springer Verlag, 1990
- [Prusinkiewicz et al. (1989)] Przemyslaw Prusinkiewicz, James Hanan: "**Lindenmayer systems, fractals and plants**", Springer 1989

Fortgeschrittene Softwaresysteme zur Umsetzung:

- . cpfg / LStudio
<http://www.cpsc.ucalgary.ca/projects/bmv/index.html>
- . Grogra
<http://www.uni-forst.gwdg.de/~wkurth/grogra.html>
- . LParser
<http://home.wanadoo.nl/laurens.lapre/lparser.htm>

Noch FRAGEN?