

# STRUKTUR- FUNKTIONS- MODELLE VON PFLANZEN

WINFRIED KURTH

Master / Schwerpunkt WI

VL + UE + Selbststudium

Ökoinformatik + Forstbotanik/Baumphysiologie

[http://www.uni-forst.gwdg.de/~wkurth/sm09\\_home.htm](http://www.uni-forst.gwdg.de/~wkurth/sm09_home.htm)

<http://www.elan.forst.uni-goettingen.de/grograd>

<http://www.grogrz.de> (→ Software-Download)

# Organisatorisches

Teile der Lehrveranstaltung :

1. Modellieren mit XL

- jeden Do 14:15 - 16:00 Uhr 26 Std.

2. VL Photosynthese

- Vorschlag Fr. Polle: 22.6., 10:15-12:00 2 Std.

3. Messungen Morphologie

- Block im Juni 6 Std.

4. Messungen Photosynthese

- Block im Juni 4 Std.

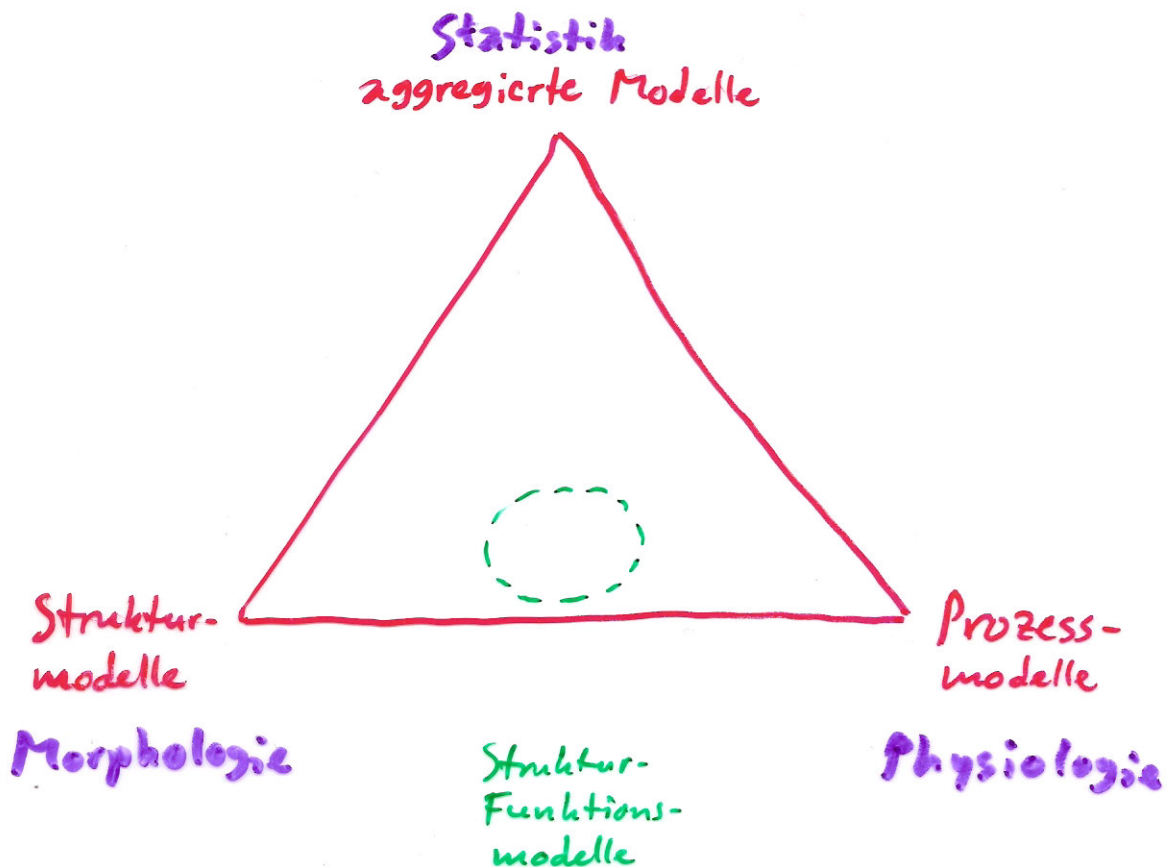
5. Hausarbeit bis Ende August

- Analyse und Weiterentwicklung eines Modells

- Zusammenfassung zum Thema Photosynthese

# WAS SIND STRUKTUR-FUNKTIONS-MODELLE ?

„MODELL-DREIECK“



- Verbindung von botanischen Strukturen und Funktionen (z.B. Lichtinterzeption, Wasserfluss) in einem einheitlichen Modell
- Prozesse an morphologische Objekte gebunden

Zunächst: reine Strukturmodelle

# I. Motivation, Ziele

- **Ökosystemforschung:**

Wälder als **strukturreiche** Lebensgemeinschaften

*Konkrete Fragestellungen:*

Einfluß der Baumarchitektur

- auf den C-Haushalt

- auf Wasserhaushalt / Trockenstreß-Resistenz

**Deutung von Kronenverlichtungsmustern**

Simulation: Konkurrenz, forstliche Eingriffe

- **Grundlagenorientierte Forschung:**

- Baumkronen (+ Wurzelsysteme)

= komplexe Strukturen

**Informationsverdichtung ?**

- botanische **Wissensbasis**

Überbrückung der Kluft:

**forstl.-botan. Ansprache** — klass. Ökosystem-  
modelle

- Modellkopplung

- **Veranschaulichung**

Visualisierung zukünftiger Entwicklung

**Virtuelle Landschaften**

**als Planungs- und Entscheidungshilfe**



# MOTIVATION FÜR MORPHOLOGISCHE PFLANZENMODELLE

- spezielle Erfordernisse der Modellierung von
  - Licht im Bestand
  - Mechanik
  - Wasserfluss im Baum
  - Konkurrenz
- Brücke zwischen Prozessmodellen und botanischen Beobachtungen
- gemeinsame Basis für verschiedene Prozesse im/am Baum (Konsistenzenerhöhung)

# Ursprünge, Schulen, Motivationen zur Pflanzenmodellierung

- französische Schule  
(Hallé et al. : Botanik; CIRAD)  
trop. Wälder; Agronomie
- theoretische Biologen (v.a. GB)
- theoretische Informatik  
L-Systeme: Grammatik der Formbildung  
Mathematisierung
- Computergrafiker  
VR  
Effizienz von Algorithmen
- Waldökologen und Forstwirte
  - einzelbaumorientierte Wachstumsmodelle
  - heterogene Bestände
  - Prozesse  $\leftrightarrow$  morph. Erscheinungsbild
  - Ökosystemforschung
- Bioklimatologen und Baumphysiker
  - Heterogenität: nichtlineare Lichtantwort der Photosyn.
  - Baum-Mechanik, -Hydraulik
- Insektenkundler  
Wechselwirkung Herbivoren - Pflanzenstruktur  
(Agronomie)  
CPAI Brisbane

# STRUKTURMODELLE

## 3 Ebenen:

### 1. statische Strukturbeschreibung

Pflanze zu einem festen Zeitpunkt  
(z.B. am 16. April 2009)

### 2. dynamische Strukturbeschreibung, nichtsensitiv

Beschreibung der Entwicklung (Ontogenese)  
einer Pflanze:

Zeitreihe dreidimensionaler Strukturen

### 3. Dynamik mit Berücksichtigung von kausalen Einflüssen / Bedingungen (sensitive Modelle)

Verschiedene Entwicklungspfade

logische Bedingungen für die Gabelung

(im einfachsten Fall stochastisch)

Zu 1.

## Statische Strukturbeschreibung

Zwei Ansätze:

(a) tabellarisch

jedes Pflanzenbaustein = eine Zeile

dtd-Code

„descriptive tree data“

(b) imperativ (befehlsgesteuert):

„Turtle-Geometrie“

virtuelle Schildkröte „konstruiert“ die Struktur,

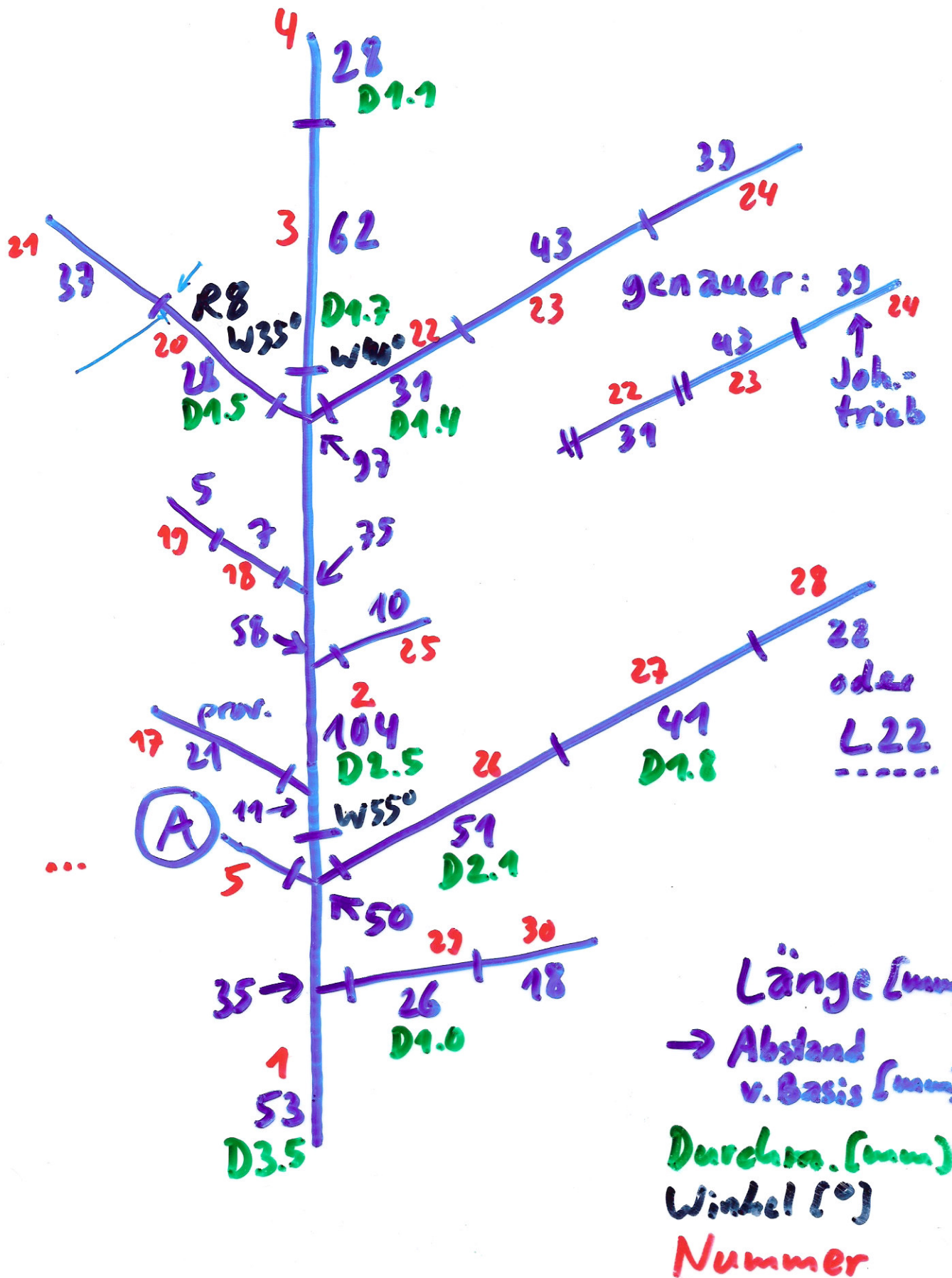
die Beschreibung sind die Befehle,

die sie steuern

turtle geometry



# topologisch-metrische Skizze:





# halbautomatische / vollautomatische Digitalisierung:

- Kombination dig. Schublehre -  
dig. Kompass - Schnittstellen software  
(Oppelt et al. 2000)
- elektromagnetische Sonde  
(Fa. POLHEMUS; Sinoquet et al., Clermont-Ferrand)
- Ultraschall-Sonde
- mechanische Ausleger
- 3D-Scanner (Laser)
- Auswertung stereoskopischer Fotos



# Der dtd-Code

digitized tree data format

- Grundeinheit :

Jahrestrieb

(bzw. Wachstumseinheit)

- pro Jahrestrieb eine Zeile

1. Sp.: Name (bzw. Nummer) des JT

2. Sp.: **L** Länge (in mm)

3. Sp.: **#** Name des Muttertriebes

↳ Verzweigungs-Topologie

Weitere  
Sp.:

**A** Position

**R** Richtungswinkel

**W** Verzweigungswinkel

**D** Durchmesser

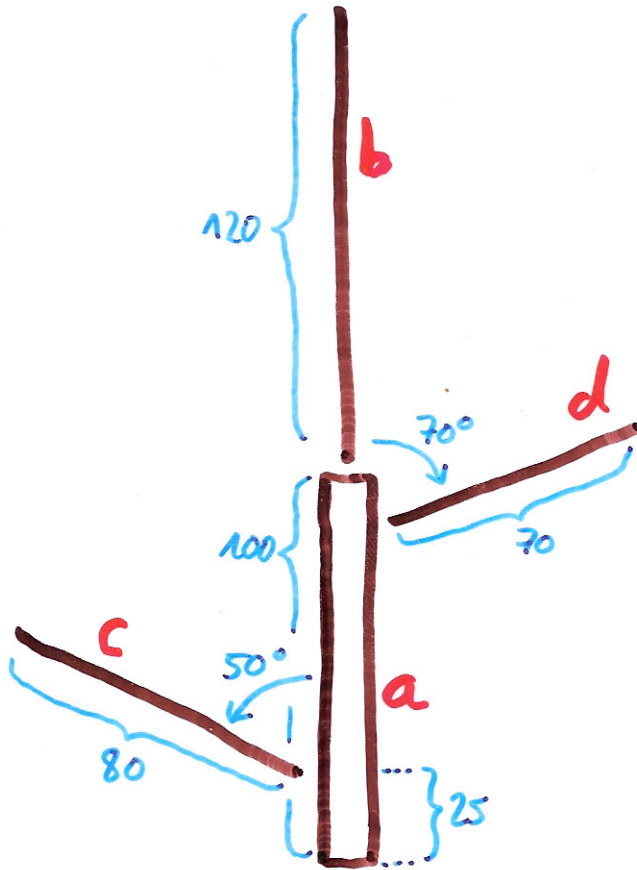
**B** Blattzahl

**C** Farbindex (colour)

**E** Internodienzahl

**F** Anzahl Früchte





a	L100	##			D2.5
b	L120	#a	V		D1.2
c	L80	#a	A25	- W50	D1.1
d	L70	#a	A90	+ W70	D1.0

Example for dtd encoding  
(descriptive tree data format)

## Das dtd-Datenformat (descriptive tree data format)

Das dtd-Datenformat der GROGRA-Software dient *nur zum Lesen* von Pflanzenstruktur-Daten. Die Daten, die in diesem Format computerlesbar codiert werden, stammen normalerweise aus empirischen Aufnahmen von einzelnen Ästen oder von kompletten Kronen oder Wurzelsystemen. Eine dtd-Datei (Dateinamens-Endung ".dtd") enthält lediglich *eine* Struktur, es wird keine zeitliche Entwicklung dargestellt.

Voraussetzung für die Erstellung einer dtd-Datei ist, dass sämtliche Wachstumseinheiten der einzugebenden Struktur mit Namen versehen sind (dies können Nummern sein, oder Buchstaben-, Ziffern- und Zeichenkombinationen wie z.B. 08-15a, die aber keine Leerzeichen enthalten dürfen). Diese Namen dienen als Identifikatoren der Wachstumseinheit.

Obligatorische Informationen, die für jede Wachstumseinheit (WE) anzugeben sind, sind: der Name, die Länge (in mm), der Name der Mutter-WE (d.h. der tragenden WE, an welcher die betrachtete WE inseriert). Weitere Informationen (z.B. Durchmesser, Winkel...) sind optional.

### Aufbau der Datei:

Jede WE wird durch eine einzelne Zeile der Datei beschrieben. (Eine Ausnahme bilden Zeilen mit dem Anfangszeichen "\" (backslash), die Sonderfunktionen haben; siehe unten.) Die Reihenfolge der WE ist weitgehend beliebig; es ist lediglich zu beachten, dass die Beschreibung einer WE *nach* der Beschreibung ihrer Mutter-WE zu erfolgen hat (dass also die entsprechende Zeile weiter unten in der Datei stehen muss).

Eine Zeile enthält nacheinander (durch Leerzeichen getrennt) folgende Einträge:

Name der WE

L<Zahl> (dabei ist <Zahl> die Länge der WE in mm; die spitzen Klammern werden nicht mitgeschrieben!)

#<Name der Mutter-WE>

(Nur im Falle der Basis-WE eines Verzweigungssystems, welche keine Mutter-WE besitzt, steht stattdessen ##.)

Weitere, optionale Einträge können folgen:

A<Zahl>	Position des Insertionspunktes (in mm Abstand von der Basis) an der Mutter-WE (wenn die A-Angabe fehlt, wird eine Position an der Spitze angenommen)
V	Verlängerungs-WE der Mutter-WE (d.h. diese hat die gleiche Verzweigungsordnung)
R<Zahl>	Richtungsangabe (siehe unten)
+	Richtung nach rechts (wie R3)
-	Richtung nach links (wie R7)
W<Zahl>	Verzweigungswinkel in Grad (Winkel zur Mutter-WE)
K	Markierung als Knospe (wenn die Option "buds are to be included" aktiviert wurde)
D<Zahl>	Durchmesser in mm
N<Zahl>	Nadel- oder Blattparameter (Fläche oder Trockenmasse)
B<Zahl>	Blattzahl (bei Laubbäumen)
C<Zahl>	Farbindex für die graphische Darstellung
E<Zahl>	Anzahl der Internodien der WE (bei Laubbäumen)
I<Zahl>	Index des Insertionsknotens an der Mutter-WE (gezählt von der Spitze der Mutter-WE; bei Laubbäumen)
.	erzwingt Interpretation von Winkelangaben in Relation zu globalen

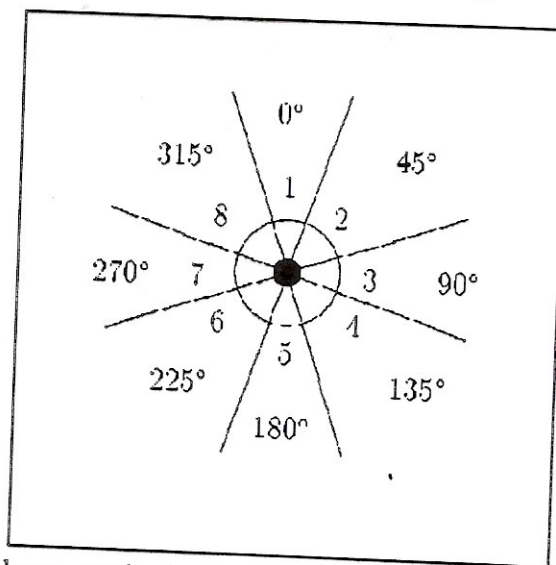


	Koordinaten (bei Arbeit mit Kompass)
P<Zahl>	Trockenmasse der WE ohne Blätter (wird z.Zt. nicht von GROGRA interpretiert)
O<Zahl>	explizite Angabe der Verzweigungsordnung
J<Zahl>	explizite Angabe des Alters der WE (in Jahren; wichtig bei Johannistrieben)

Anstelle der Großbuchstaben sind auch Kleinbuchstaben erlaubt. Es gilt die Konvention, dass Kleinbuchstaben bei geschätzten, Großbuchstaben bei gemessenen Werten verwendet werden (GROGRA macht keinen Unterschied; diese Unterscheidung dient also lediglich der Transparenz der Dateien.)

Kommentare, die von GROGRA nicht interpretiert werden, können in spitze oder in geschweifte Klammern eingeschlossen werden (sollten aber immer am Ende einer Zeile stehen): <Kommentar> oder {Kommentar}.

Die Richtungsangabe mit R erfolgt nach einem 8-Sektoren-Schema, wobei R1 der Richtung nach oben entspricht (wenn man in Wuchrichtung der Mutterachse blickt), bzw. (bei senkrecht nach oben zeigender Mutterachse) der Nordrichtung:



Anstelle der R-Angabe kann auch der genaue Winkel in Grad mit S<Zahl> angegeben werden.

Kopfzeilen in dtd-Dateien (optional; nur für Laubbäume):

\phyllotaxy spiral,	erzeugt spiralförmige Blattstellung (Alternativen: opposite, alternate)
\leaflength <Zahl> ,	Spezifikation einer Blattlänge für alle nachfolgenden Wachstumseinheiten mit Blättern (B)
\leafbreadth <Zahl> ,	analog: Spezifikation einer Blattbreite
\leafarea <Zahl> ,	analog: Spezifikation einer Blattfläche (Parameter N)
\min_intn <Zahl> ,	erzwingt eine Minimalzahl von Internodien für jede beblätterte Wachstumseinheit; die mit B spezifizierten Plätter werden an den oberen Internodien inseriert
\leafobject <Dateiname> <Symbol> <Zahl>	Liest graphische Blattbeschreibung aus L-System-Datei, mit gegebenem Startsymbol und Schrittzahl für das L-System

# Konsistenzprüfung der dtd-Datei :

## - Optische Kontrolle

(beachte besonders den Basis-  
Spross, gibt es an der Basis  
noch mehr (zu viele) Sprosse?)

## - Kontrolle der Alters-Zählung :

Analyse-Option F, 5. Spalte

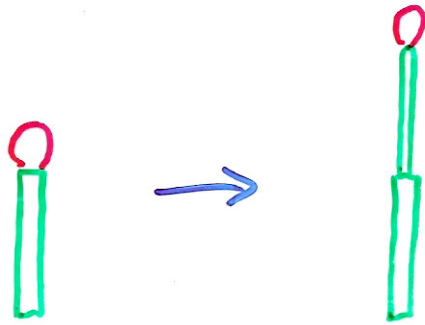
Kommt Alter 0 zu selten vor?



Der Übergang zur 2. Beschreibungsebene:

Dynamische Beschreibung von  
Pflanzenstrukturen

- wie verändern sich Pflanzen  
im Verlauf der Ontogenese?



# AMAP

Atelier de modélisation  
de l'architecture des plantes

Montpellier, Straßburg, Paris,  
Nancy, Beijing (LIAMA)

Ph. de Reffye, R. Lecoustre, M. Jaeger,  
E. Costes, P. Dinouard, F. Blaise et al.  
(Agronomen, Informatiker, Botaniker, Math.)

Modellierung der Aktivität von  
Meristemen

Gestalt des Baumes

= Trajektorie seiner Meristeme

1. AMAP-Version (Grundlage der heutigen  
kommerziellen Software):

Rückgriff auf die 23 „Architekturmodelle“  
von Hallé et al.

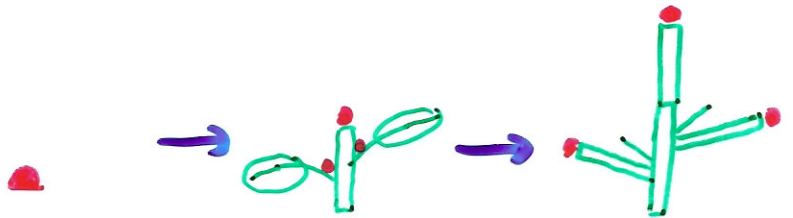
# MODELLIERUNGSANSATZ\* :

Baumgestalt = Trajektorie der Meristeme

primäres M.



Verzweigung



Sekundäres M.  
(Kambium)



(hinzu kommen:

mechanische Verformungen,

Verformungen mit physiologischen Ursachen,

Verletzungen, Absterbeprozesse)

\* de Reffye, Lecoustre, Jaeger, Blaise ... (AMAP);  
Lindenmayer, Prusinkiewicz; Bell (Bangor)

# meristembasierter Modellansatz

Adrian D. Bell 1979 :

## 3 grundlegende Prozesse

- Bildung eines Triebes (Wachstum)
- Übergang in Ruhezustand  
(und erneute Aktivierung)
- Absterben

ähnlich de Reffye 1981 :

## 3 Meristemzustände

- dormance (Schlaf)
- Croissance (Wachstum)
- mortalité (Absterben)

Zustandsübergänge mit  
Wahrscheinlichkeiten

→ Binomialverteilung,  
Markoffketten



# Deskription

# Synthese

Montpellier

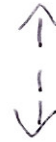
multiskalierte  
Graphen



Axe de  
référence



(AMAP-SIM, GreenLab)



Göttingen

dtd - Code



L-Systeme

(GROGRA, GroIMP)

Kombination 1.+2. Beschreibungsebene:

morphologische  
Messungen

Ast-  
Kartierung

↓  
Verschlüsselung *statisch*

↓  
**GROGRA** /GrolMP

↓  
statistische Datenanalyse

↓  
Wachstumsgrammatik  
mit Parametern *dynamisch*

↓  
**GROGRA** /GrolMP

↓  
Zeitreihen drei-  
dimensionaler Strukturen

↓  
Grafik      HYDRA      MicroEnv

# Die Software GroIMP

„Growth-grammar related Interactive Modelling Platform“

- geschrieben in Java
- Download (Open-Source!)
- rgg-Dateien, Projekte
- Editor, Entwicklungsumgebung
- 3D-Fenster
- 2D-(Graph-) Fenster (versteckt!)
- Attribut-Ansicht
- Kamerapositionen
- Navigation
- interaktives Modellieren
- (später:) XL-Compiler



E-Learning-Aufgabe zum nächsten Mal:

Studieren Sie die ersten 3 Kapitel  
der „Grogra-CD“

<http://elan.forst.uni-goettingen.de/grogracd/>

- Einführung
- Zu dieser CD
- wissenschaftliche Einordnung