

Ökosystemanalyse am Beispiel des Kohlenstoffkreislaufes (OG.1)

für Geoökologie Master
Blodau, Matzner, Hauhs
Teil 3: Modellierung

BayCEER, Uni-Bayreuth SS 2009
www.bayceer.uni-bayreuth.de

Gliederung

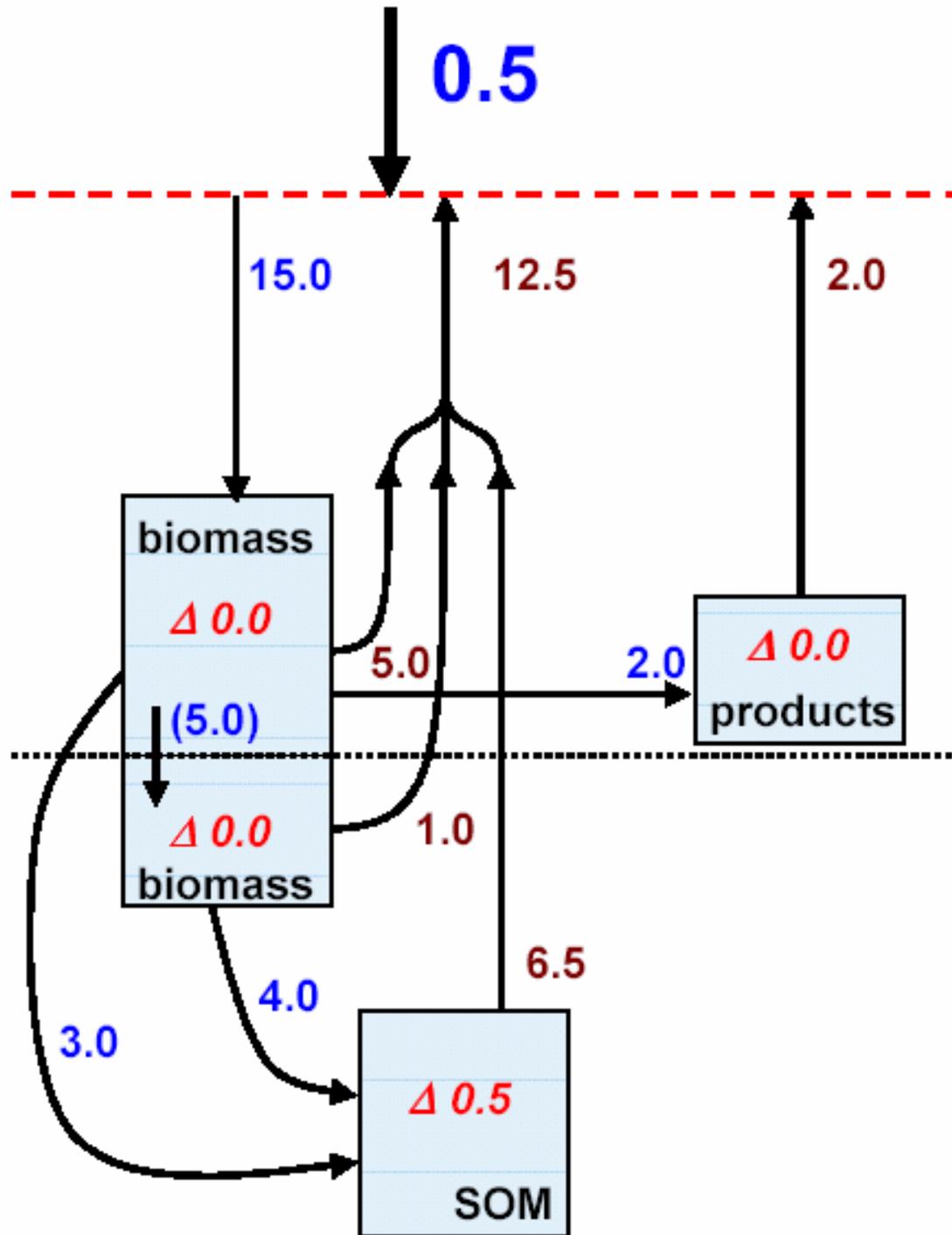
- Allgemeine Grundlagen
 - Kyoto Protokoll
 - Modellansätze
- Inventuren, Emissionen von „GHG“
 - Kohlenstoff im Boden
 - Kohlenstoff in der lebenden Biomasse
- Kombinierte Modelle
 - Skalen und Strategien
 - Vergleich N, S, ...
- Ausblick & Zusammenfassung

Charakterisierung von Pflanzenbeständen

- durch Biomasse
 - empirische Funktionen (Bestandesalter, -Höhe, Standort, Behandlung, ...)
- durch Architektur (Form, Geometrie)
 - Suche nach Gleichgewichtsrelationen: Architektur – Masse
 - „Pipe Model Theory“
- durch Wachstum, Entwicklung (Strategien)
 - optimale Strategie
 - evolutionär stabile Strategie

C-Bilanz in einem Europäischen Forst

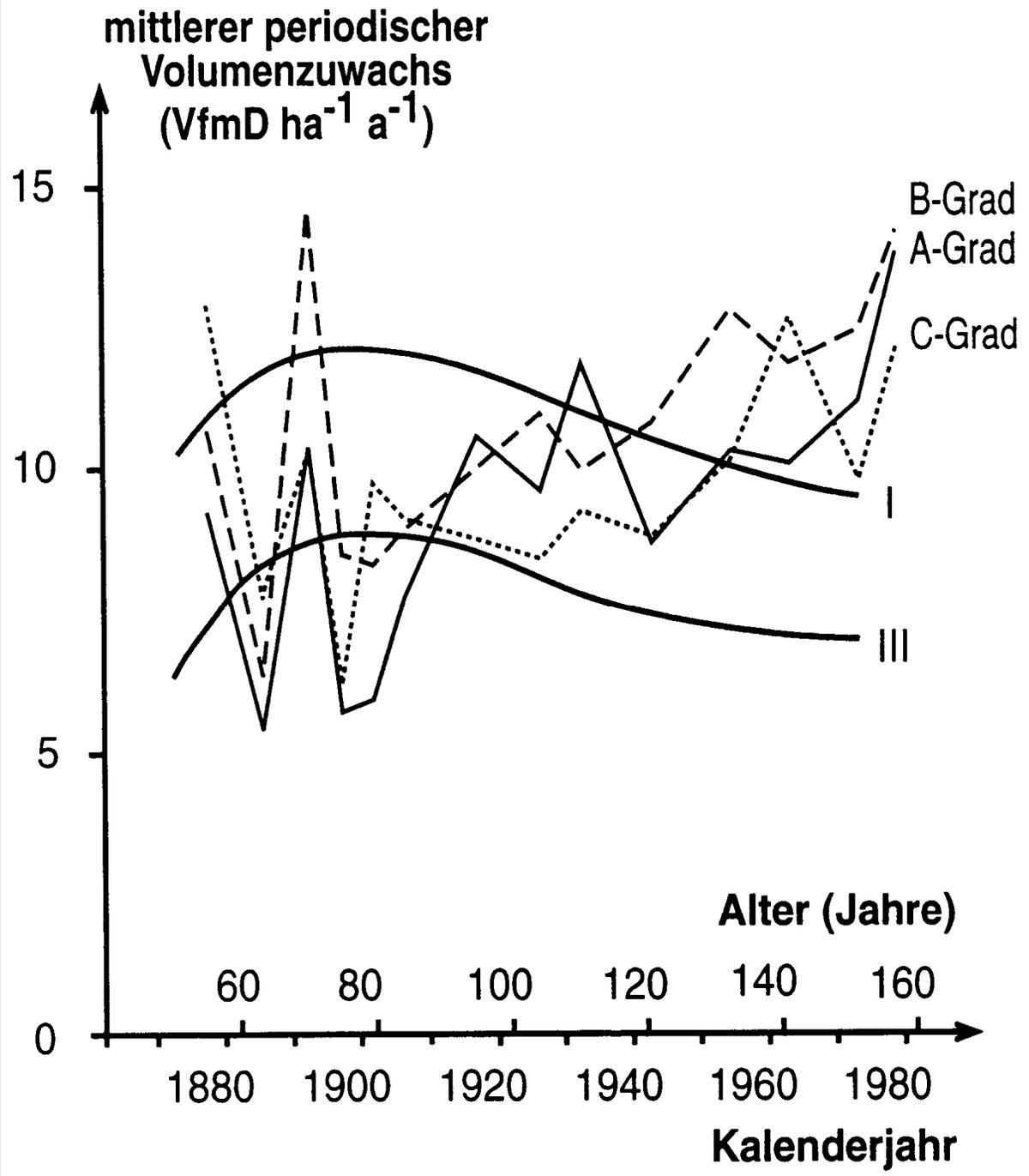
(in Mg C/ha/yr)



Typische Umtriebszeiten in Mitteleuropa

- Fichte (*Picea abies*): 80-120 Jahre
- Kiefer (*Pinus silvestris*): 80-120 Jahre
- Buche (*Fagus silvatica*): 120-140 Jahre
- Eiche (*Quercus rubra/robur*): >160 Jahre
- Zum Vergleich (Neuseeland): *Pinus radiata*: 30 Jahre

Forstlicher Behandlungsversuch:
Buchenbestände in
Fabrikschleichach
(Steigerwald)

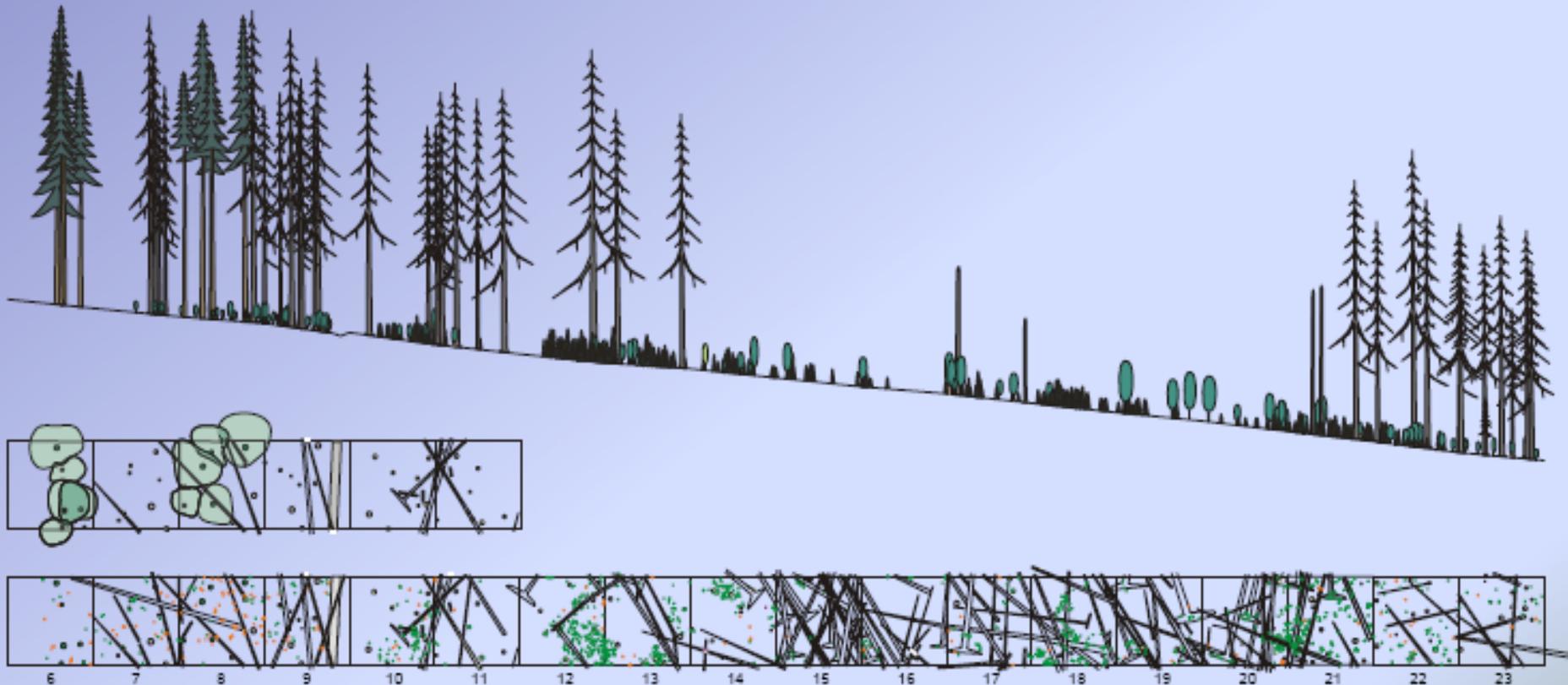


Pretzsch (1999)

Modelle des Waldwachstums

- Empirische Modelle
 - Ertragstafeln („tabellierte Erfahrung“)
 - Große Datenbasis (nicht aktuell, keine nicht-trivialen Vorhersagen)
- Prozess-, konzeptionelle oder hybride Modelle
 - Wald als dynamisches System
 - Wissenschaftlich (prozess-) fundiert, aber
 - keine Akzeptanz in der Praxis
- Interaktive Modelle
 - Silva
 - TRAGIC (**T**rees **R**esponding to **A**cidification of **G**roundwater **I**n **C**atchments)

Beispiel für eine grafische Auswertung eines Transekts



Das Beispiel „Dauerwald“

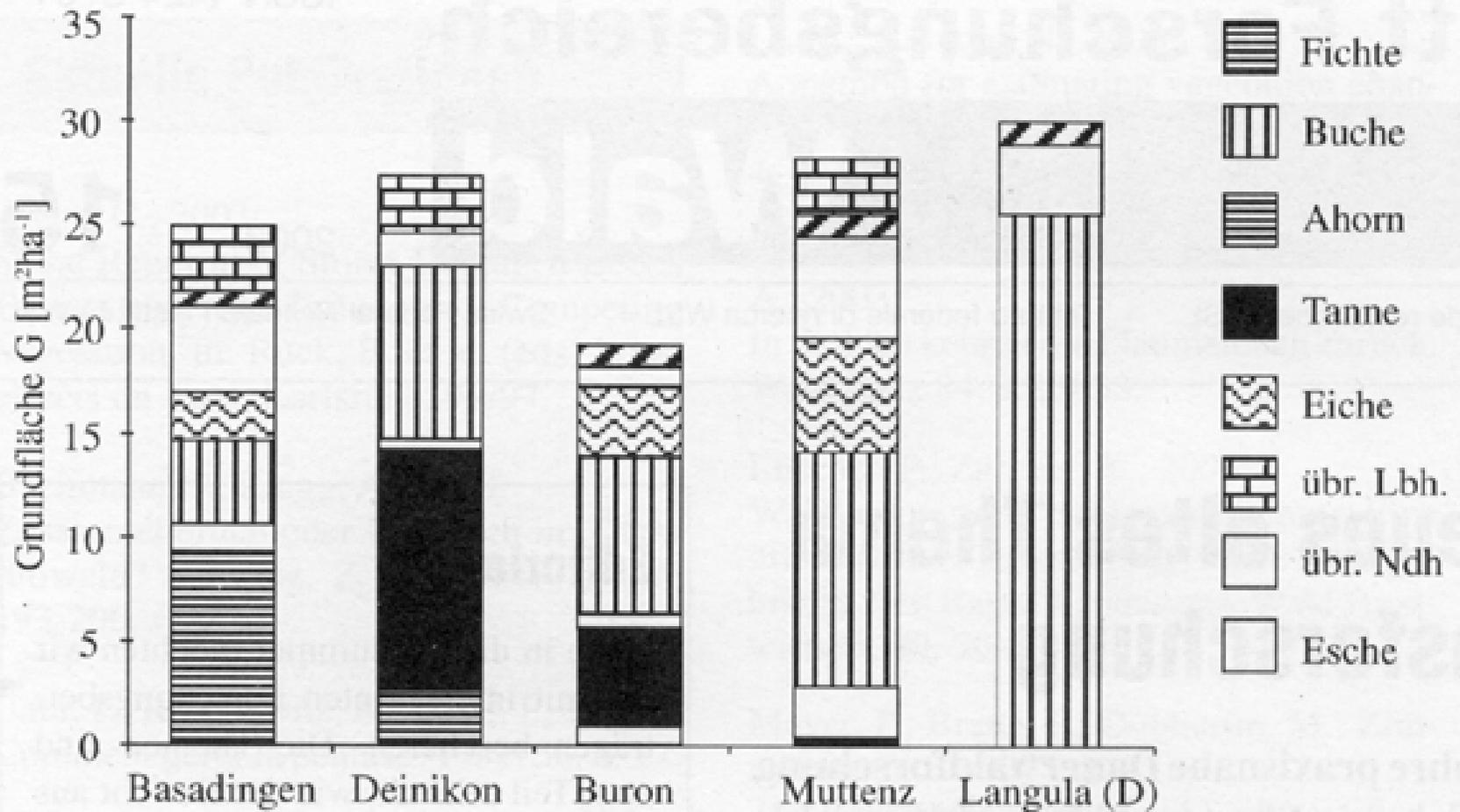


Abb. 2: Bestandesdichte (Grundfläche) und Baumartenanteile auf den neuen Dauerwald-Versuchsflächen.

Das Beispiel „Dauerwald“

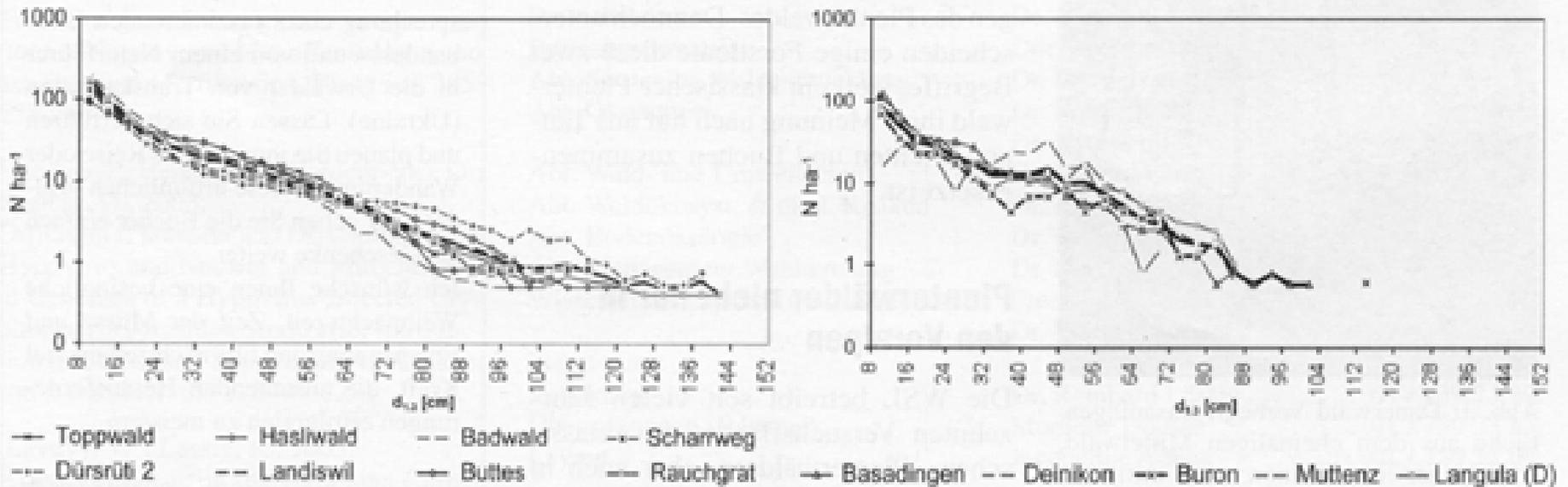


Abb. 3: Durchmesserverteilungen: links im «Plenterwald», rechts im «Dauerwald».

Das Beispiel „Dauerwald“

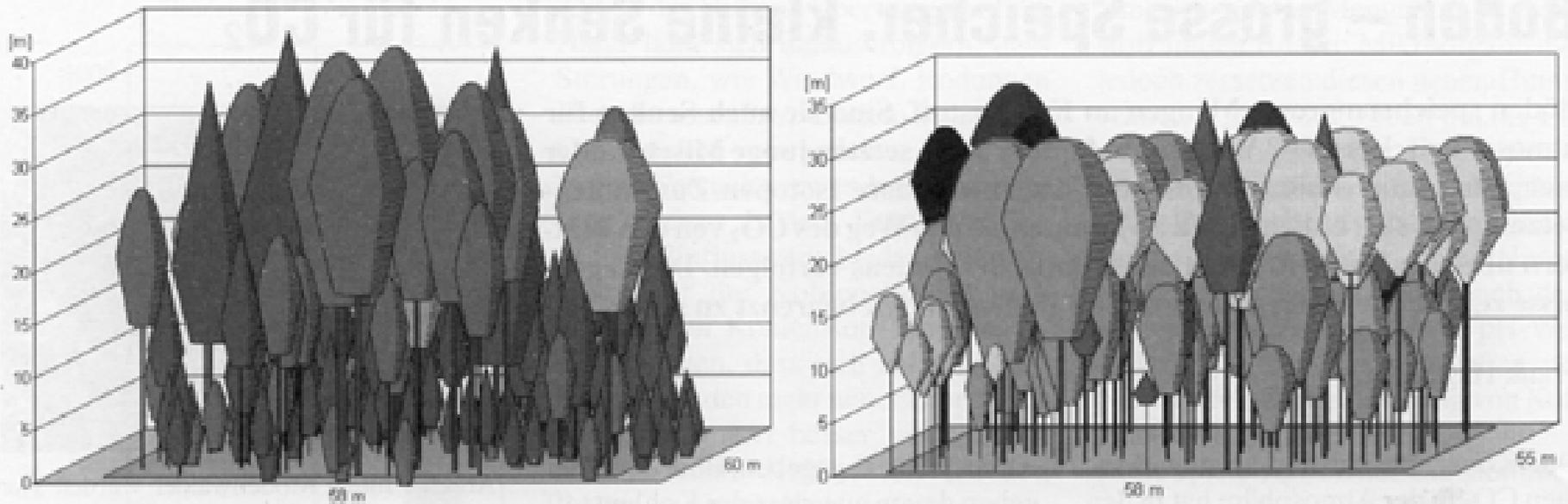
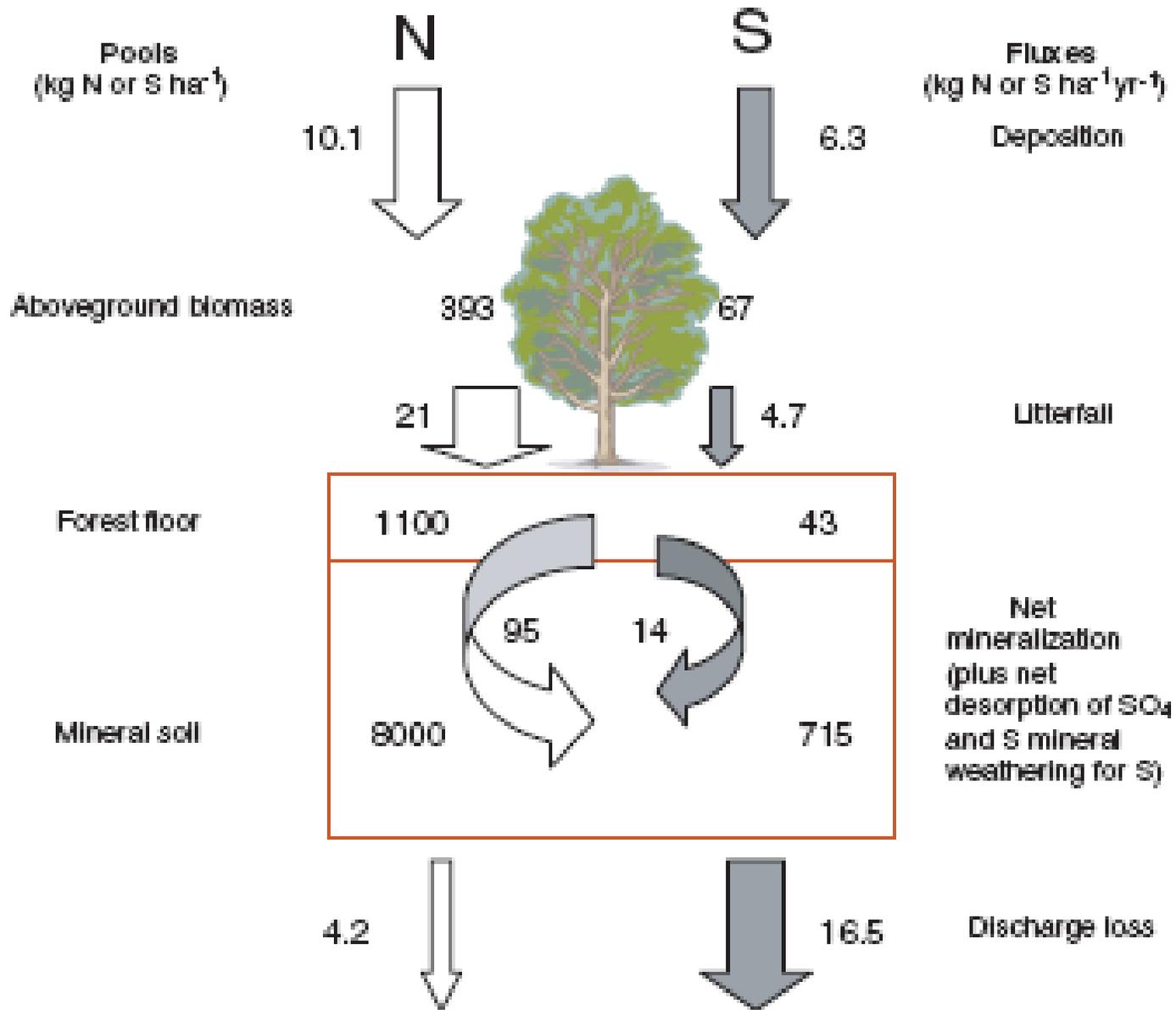


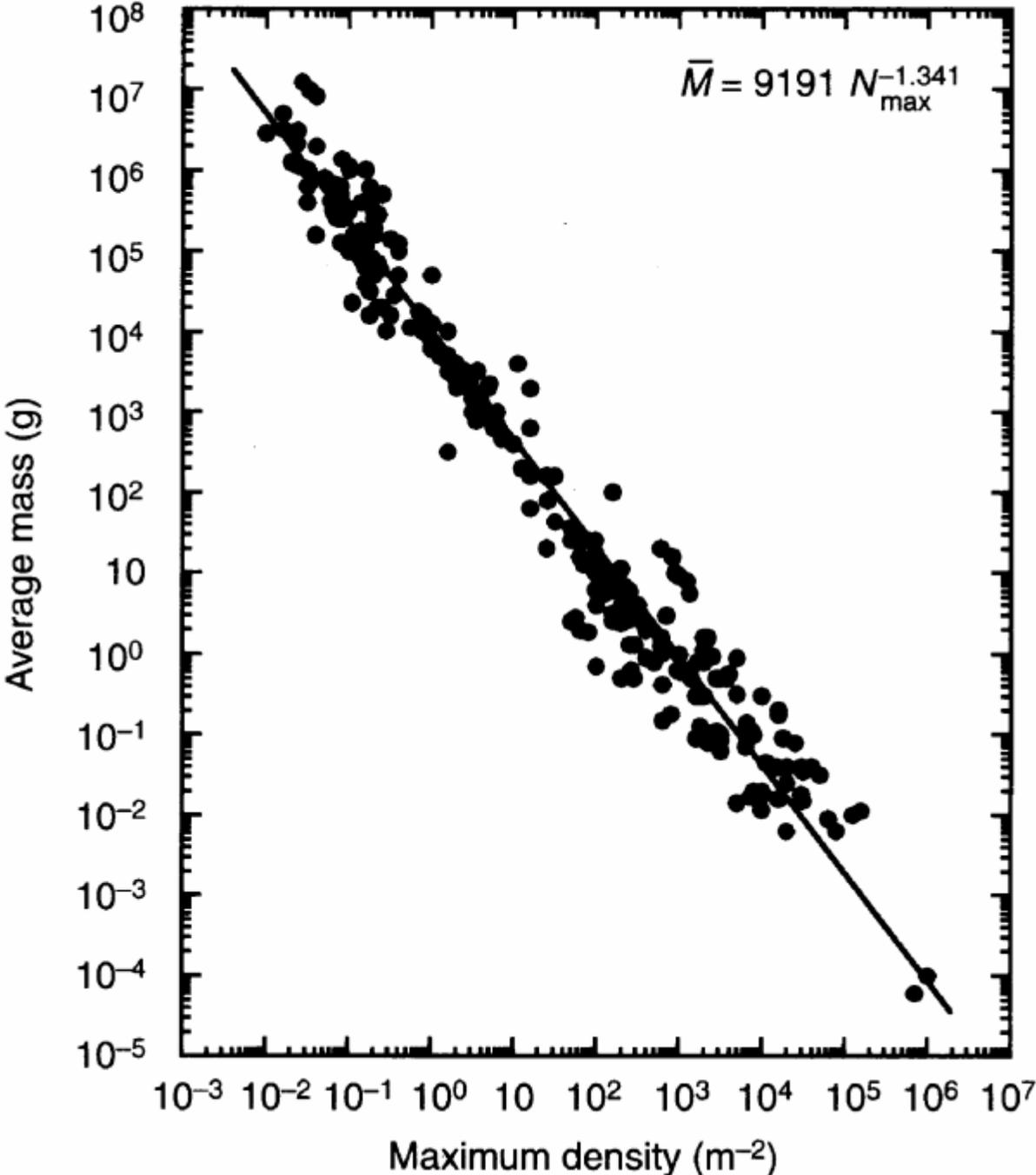
Abb. 4: Links: Hasliwald, Oppligen BE mit Tannen und Fichten, rechts laubholzreicher Dauerwald Vorhegi, Basadingen TG. Die Durchmesser- und Höhenverteilung unterscheidet sich kaum, wohl aber die Höhenverteilung.



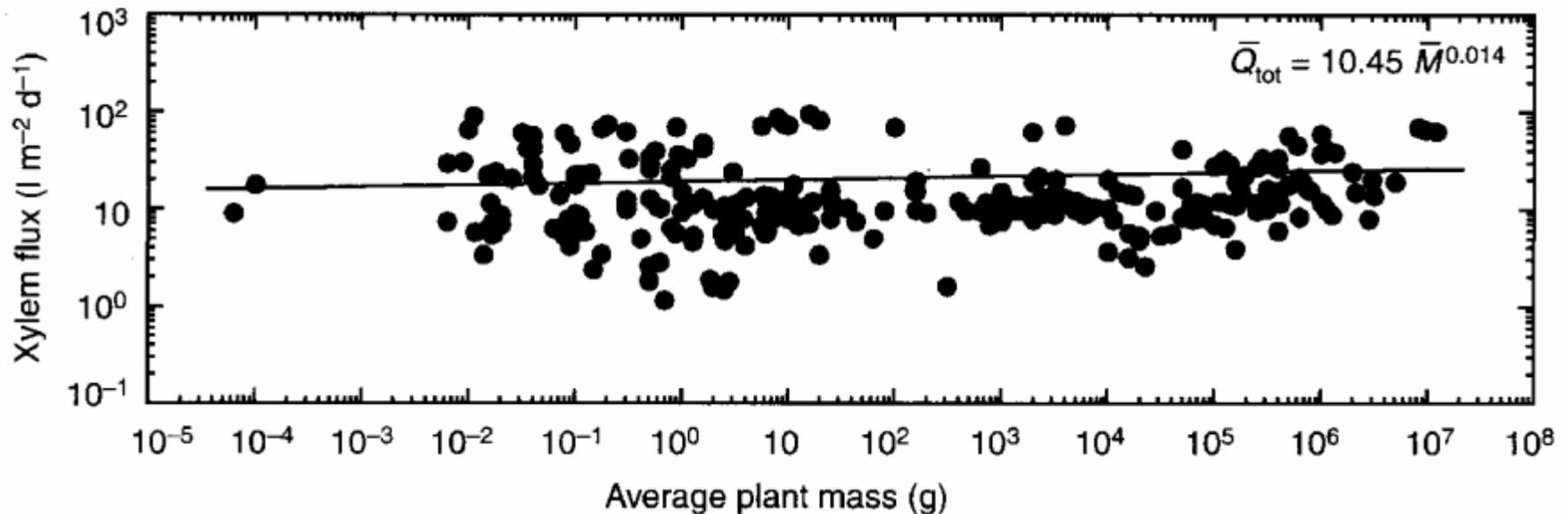
Biomassewachstum: Skalierung des Phänotyps

1. Pflanzen konkurrieren um räumlich limitierte, abiotische Ressourcen
 - Licht
 - Nährstoffe und Wasser
2. Die interne Verteilung der Ressourcen im Gewebe bestimmt das Wachstum
 - Pflanzen wachsen bis zum externen Ressourcen-Limit
 - Tiere wachsen bis zu einer charakteristischen Größe
3. Die Dichte eines Pflanzenbestandes skaliert wie:
 $N \sim M^{-3/4}$

Skalierung Pflanzen



Der flächenbezogene Stoffumsatz (Wasserverbrauch) ist unabhängig von der Größe der Einzelpflanze



Die Verteilung der Produktion (auf die Einzelpflanzen) ist über weite Bereiche steuerbar

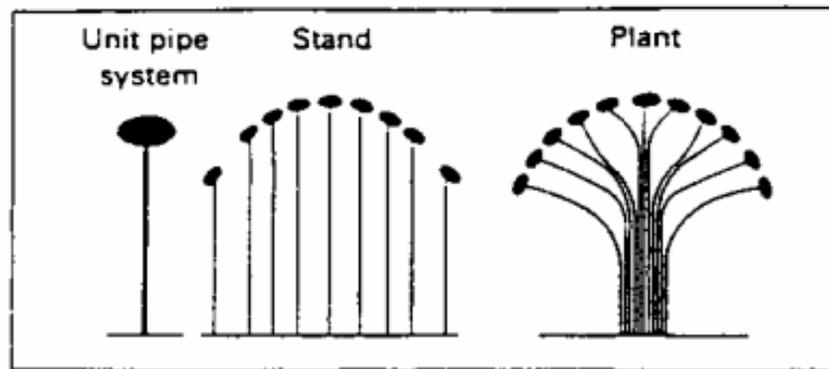
Pflanzenarchitektur

Die Architektur einer Pflanze wird definiert durch:

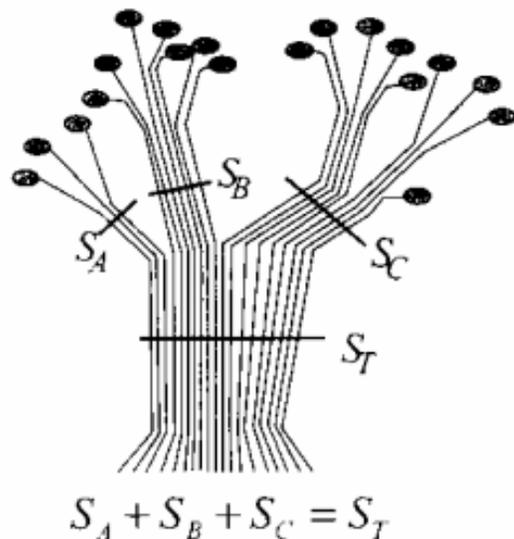
- biologischer Typ (Strategie)
- äußere Form
- Position und Orientierung im Raum
- physikalische Beziehungen der Komponenten
 - z.B. Festigkeit

Beschreibungstypen für Pflanzenmodelle

- Verhaltensinformation
 - Wachstum
 - Vermehrung
- Zerlegungsinformation:
 - geometrische Information:
Welche Formen und räumlichen Positionen haben die einzelnen Komponenten?
 - topologische Information:
Wie sind die Komponenten untereinander verbunden? Welche Verzweigungssysteme gibt es?
 - z.B. verkettete Listen



a

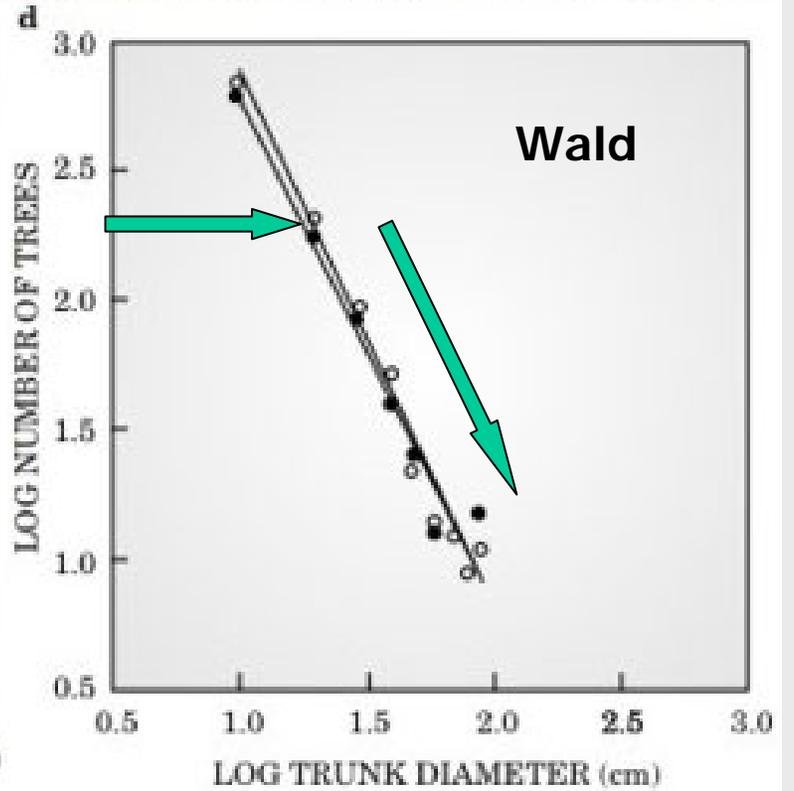
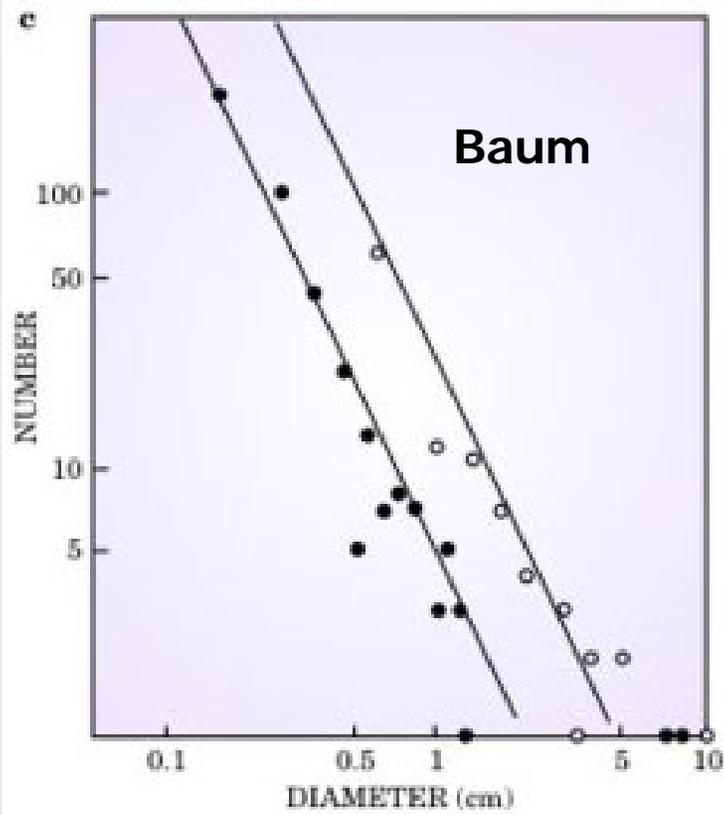
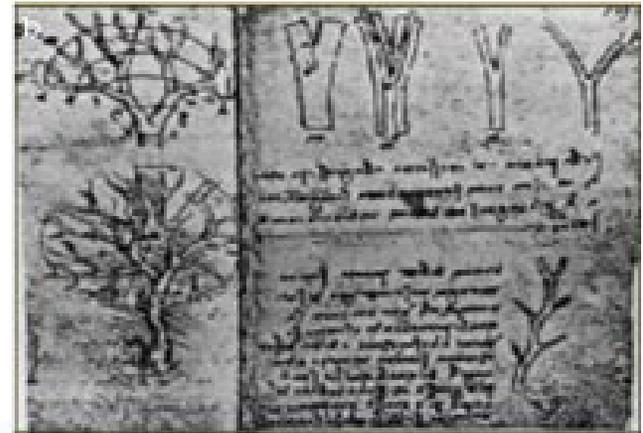


b

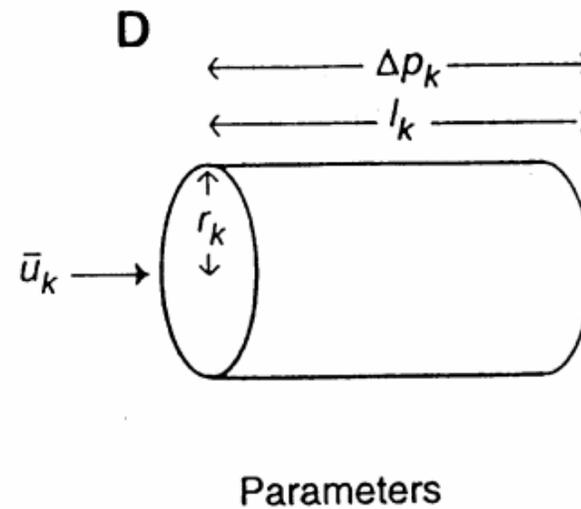
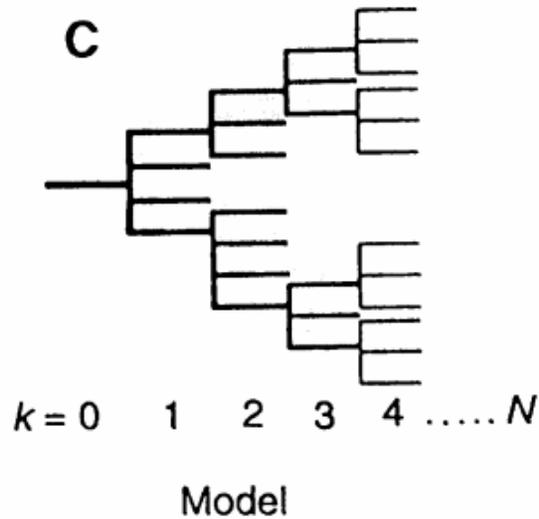
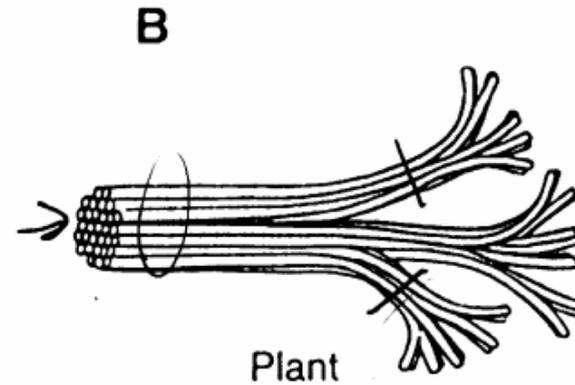
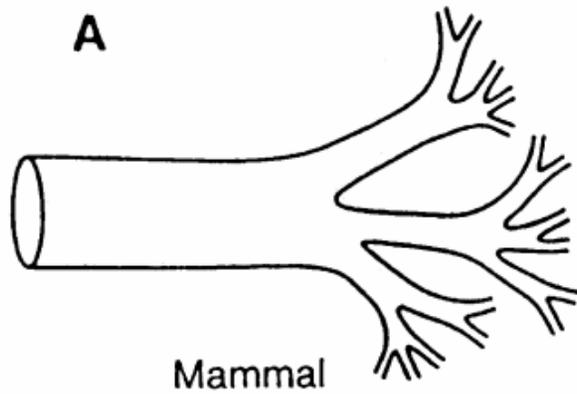


c

Figure 5. Modular description used with the pipe model theory **a**. Classical representation of a plant in the pipe model theory (from [107]) **b**. representation of a branching system with unit pipes: each segment of a tree is represented by a bundle of pipes. A Kirchhoff's current law expresses flux conservation **c**. Tree graph associated with the model from **b**. Each bundle of pipe is represented by a vertex and connection between bundles is represented by an edge.



Gefäßsysteme in Pflanzen und Tieren



Gefäßsysteme in Pflanzen und Tieren

- Liegen oft als fraktale Netzwerke vor
 - Kennzeichen von Fraktalen: nicht ganzzahlige Dimension
- Zeigen häufig ein Skalierungsverhalten
 - Kennzeichen: keine charakteristische Skala
 - Selbstähnlich über viele Größenordnungen hinweg

Skalierung fundamentaler Größen in fraktalen Netzwerken

Größe	Normaler Raum	Fraktales Netzwerk
Länge	$L \propto A^{1/2} \propto$ $V^{1/3} \propto M^{1/3}$	$L \propto A^{1/3} \propto$ $V^{1/4} \propto M^{1/4}$
Fläche	$A \propto L^2 \propto$ $V^{2/3} \propto M^{2/3}$	$A \propto L^3 \propto$ $V^{3/4} \propto M^{3/4}$
Volumen	$V \propto L^3 \propto$ $\propto M$	$V \propto L^4 \propto$ $\propto M$

Pflanzengeometrie

L-Systeme (Rekursion)

(Aristid Lindenmayer 1968)

1. „String Rewriting Grammar“

Beispiel: Regel „ $a \rightarrow b a b$ “ \Rightarrow aus „ $a b a c$ “ wird „ $b a b b b a b c b$ “

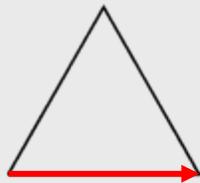
2. „Turtle Interpretation“ der Symbole

Beispiel: „F“ = zeichne Linie vorwärts

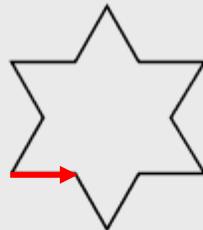
„+“ = Drehung nach links (um bestimmten Winkel)

„-“ = Drehung nach rechts

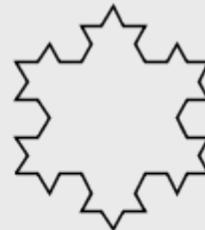
Beispiel: Kochs Kurve mit der Regel „ $F \rightarrow F - F + + F - F$ “, $\delta = 60^\circ$



F + + F + + F



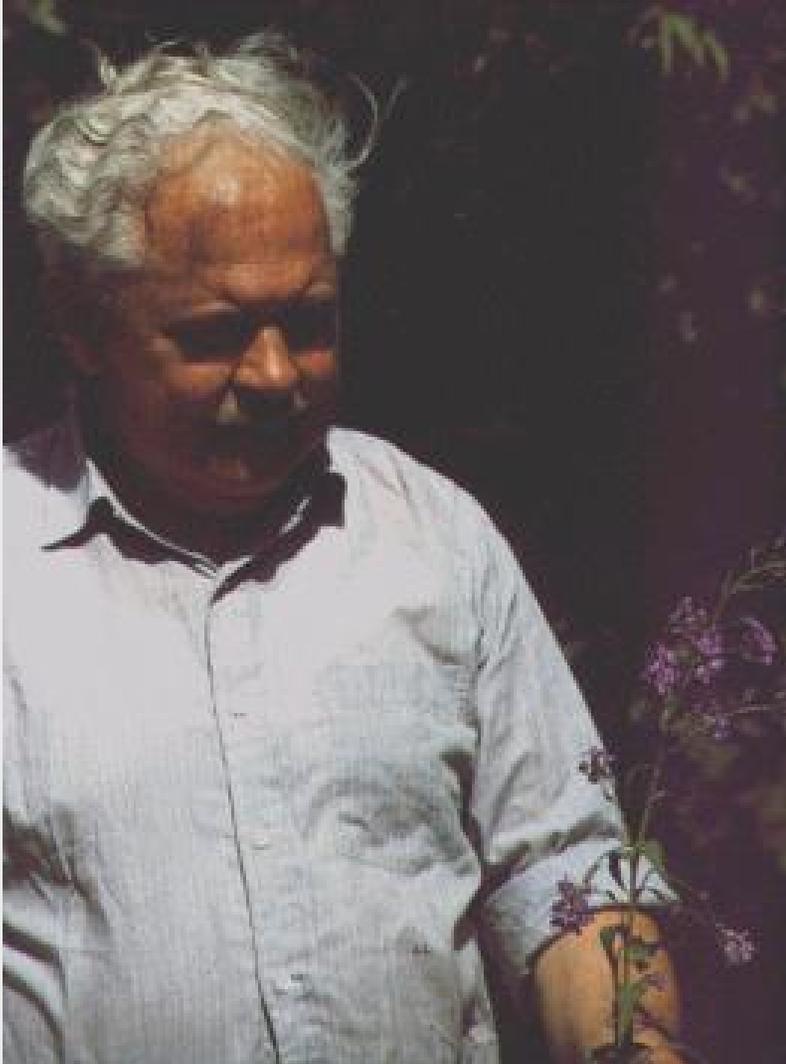
first step



second step

(www.grogra.de)

Modellierung von Pflanzenarchitekturen als Regelanwendungen: L-Systeme



Aristid Lindenmayer
(1925 – 1989)



```

#define S          /* seed shape */
#define R          /* ray floret shape */
#include M N O P  /* petal shapes */

 $\omega$  : A(0)
p1 : A(n) : *  $\rightarrow$  +(137.5)[f(n0.5)C(n)]A(n+1)
p2 : C(n) : n  $\leq$  440  $\rightarrow$  ~S
p3 : C(n) : 440 < n & n  $\leq$  565  $\rightarrow$  ~R
p4 : C(n) : 565 < n & n  $\leq$  580  $\rightarrow$  ~M
p5 : C(n) : 580 < n & n  $\leq$  595  $\rightarrow$  ~N
p6 : C(n) : 595 < n & n  $\leq$  610  $\rightarrow$  ~O
p7 : C(n) : 610 < n  $\rightarrow$  ~P

```

Grundlagen der L-Systeme

- Modellierung der Pflanzenmorphologie aus diskreten Einheiten
- Produktionsregeln bestimmen vom Startzustand iterativ das Pflanzenwachstum
 - es handelt sich um eine **Algebra**
 - ein verwandtes Beispiel sind formale Sprachen (mit sequentieller statt paralleler Ersetzung)
- Selbstähnlichkeit „eingebaut“, Fraktale als Grenzfall

Klassifikation von L-Systemen

- deterministisch/stochastisch
- kontextfrei/kontextsensitiv
- parametrisch / nicht-parametrisch

OL und DOL

Es sei V ein Alphabet $\{a_1, a_2, a_3 \dots a_n\}$, V^* die Menge aller möglichen Wörter aus V und V^+ die Menge aller möglichen Wörter aus V ohne $\{\emptyset\}$

Ein OL System ist das geordnete Triplett $[V, w, P]$, in dem V das Alphabet, $w \in V^+$ ein nichtleeres Wort genannt Axiom und

$P \subset V \times V^+$ eine endliche Menge an Produktionsregeln ist. Eine Produktionsregel $(a, \chi) \in P$ wird als $a \rightarrow \chi$ geschrieben. Der Buchstabe a und das Wort χ werden Vorgänger und Nachfolger genannt (amerik. *predecessor* und *successor*). Für jeden Buchstaben a existiert mindestens ein Wort $\chi \in V^*$ so dass $a \rightarrow \chi$. Ist kein spezielles Wort χ für einen bestimmten Vorgänger $a \in V$ gegeben, so wird $a \rightarrow a$ der Menge aller P hinzugefügt.

Ein deterministisches OL-System, genannt DOL-System liegt dann vor, wenn für jedes $a \in V$ ein und nur ein $\chi \in V^*$ existiert, so dass $a \rightarrow \chi$.

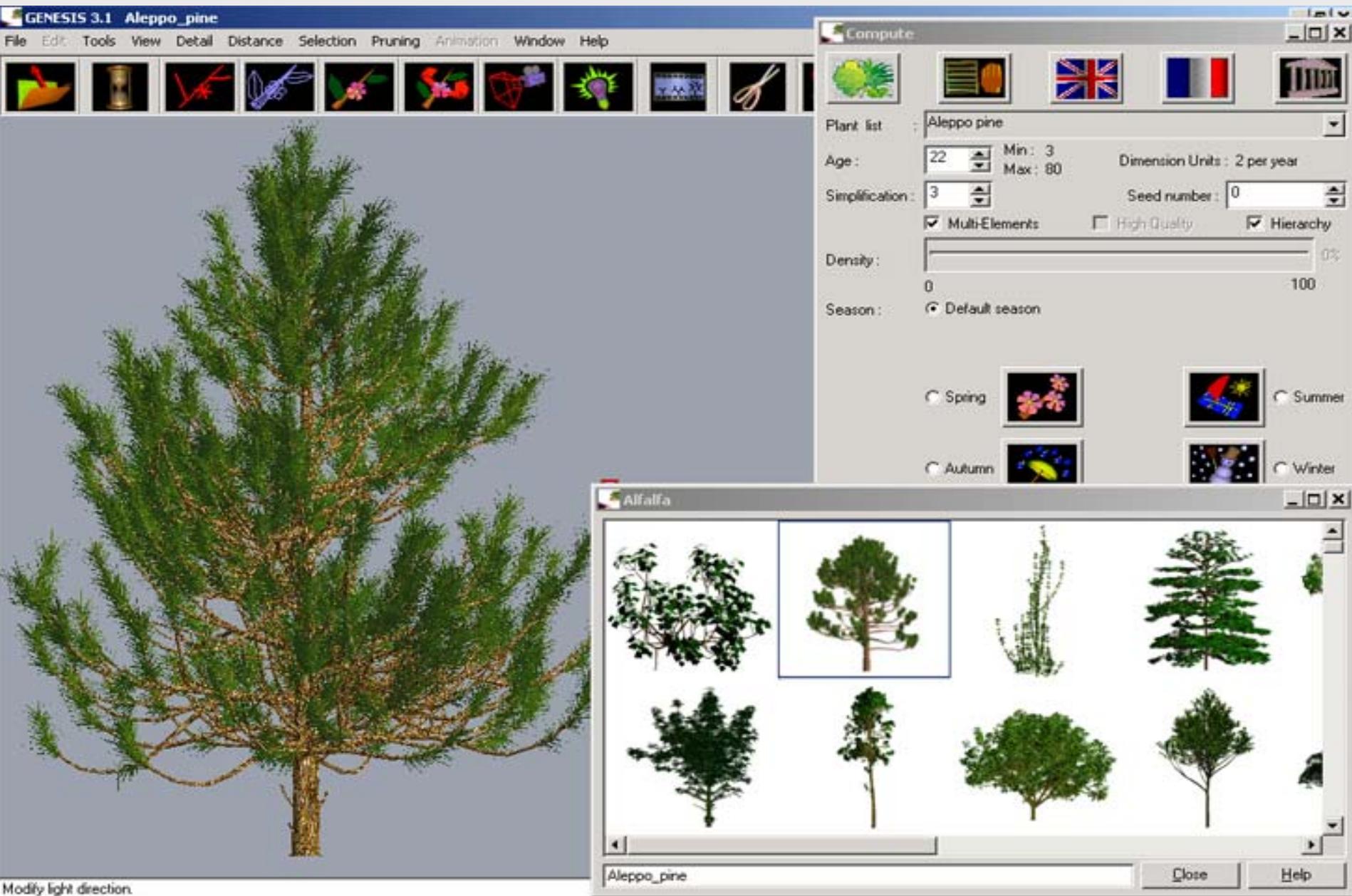
Block A3: Pflanzengeometrie



$n=7, \delta=22.5^\circ$

$\omega : A$
 $p_1 : A \rightarrow [\&FL!A] // // // ' [\&FL!A] // // // ' [\&FL!A]$
 $p_2 : F \rightarrow S // // // F$
 $p_3 : S \rightarrow F L$
 $p_4 : L \rightarrow [' ' ' \wedge \wedge \{ -f+f+f- | -f+f+f \}]$

Die AMAP-Software

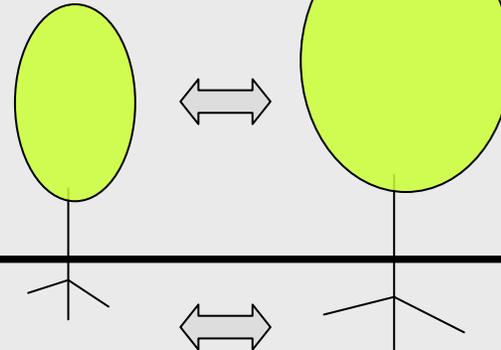
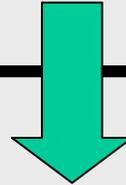
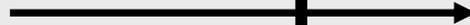


Wald als Ökosystem

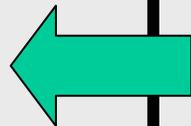
II. interaktive Modelle



Direkte
Interaktion



hydrologische
Signaturen von
Interaktion ?



Interaktion:

- Maximales Wachstum:
- oberirdisch (Licht)
- unterirdisch (Wasser, Nährstoffe)

Baum- und Waldwachstum

das Strategieproblem

- „Selbstdurchforstung“:
 - im nicht-bewirtschafteten Wald sterben fast alle Bäume durch Licht-Konkurrenz
- Es gibt (fast) keine Höhenwachstumsreaktion auf Lichtmangel
- Das Höhenwachstum des Waldes ist ein guter Indikator für den Standort