

Simulation von Baumwachstum

Oberseminar Sommersemester 2010

Steffen Wenz

Bearbeitungszeitraum: 08. März 2010 bis 08. Juni 2010
Betreuer: Dipl.-Inf. (FH) Michael Schumann
Verantw. Hochschullehrer: Prof. Dr. Andreas Butz

8. Juni 2010

Der Virtuelle Förster

- ≡ E-Learning-Programm für Forststudenten

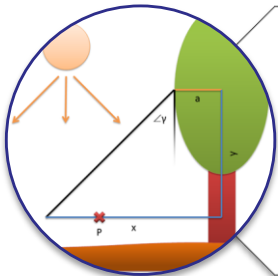
- ≡ Durchforsten: Gezieltes Entnehmen von Bäumen
 - ≡ Maximierung des Holzertrags:
 - ≡ Förderung von langen, geraden Stämmen: Z-Bäume
 - ≡ Entnahme störender Bäume
 - ≡ Wahrung der Nachhaltigkeit
 - ≡ Erhalten eines Baummusters (z. B. Inseln von Laubbäumen im Nadelwald)
 - ≡ Fällen von Bäumen dominanter Spezies

- ≡ Problem: Konsequenzen von Durchforstungen erst nach Jahrzehnten ersichtlich

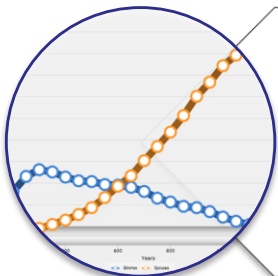
Überblick



Bisherige Ansätze



Mein Modell



Experimentelle Resultate

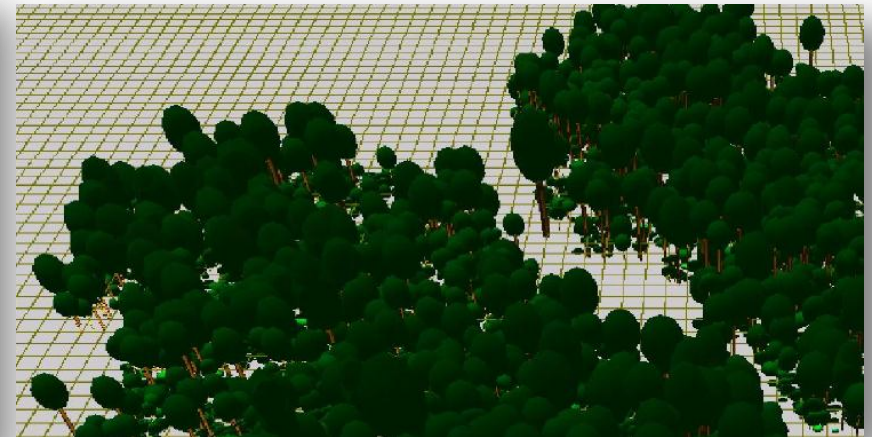
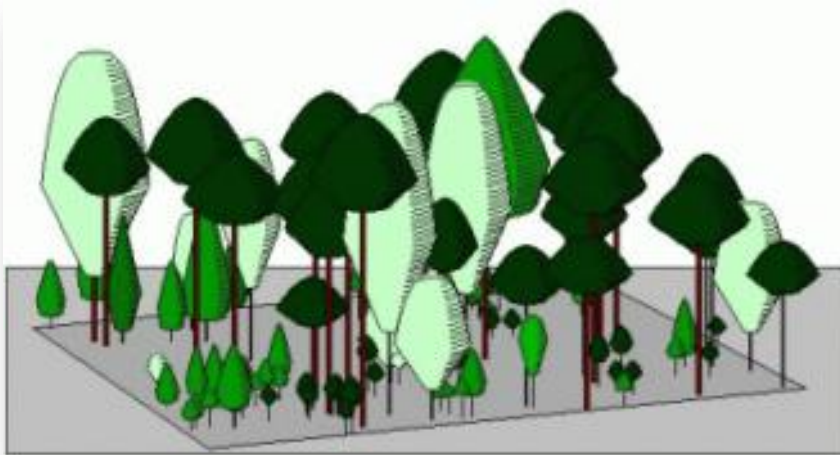
Bisherige Ansätze

BWIN Pro-S

- ≡ TU Dresden
- ≡ Betrachtet individuelle Bäume
- ≡ Berechnet Ertrag und Prognosen
- ≡ Einsatz in Wirtschaft und Pädagogik

Govindarajan et al.

- ≡ Team von Informatikern und Biologen
- ≡ Individuelle Bäume, Positionen
- ≡ Komplizierte Lichtberechnungen
- ≡ Akademisches Interesse

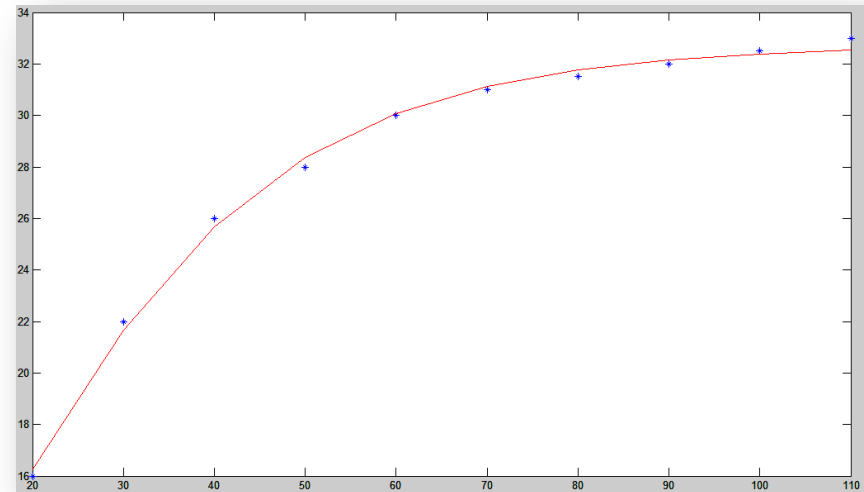


Wachstum

- ≡ Logarithmisches Wachstum
 - ≡ Bestehende Masse beschleunigt Wachstum
 - ≡ Gleichzeitig bremsende Wirkung

- ≡ Variante: Gompertzsche Wachstumsfunktion
- ≡ Anpassung an reelle Daten

$$l(t) = l_{\infty} e^{-\alpha e^{-\beta t}}$$



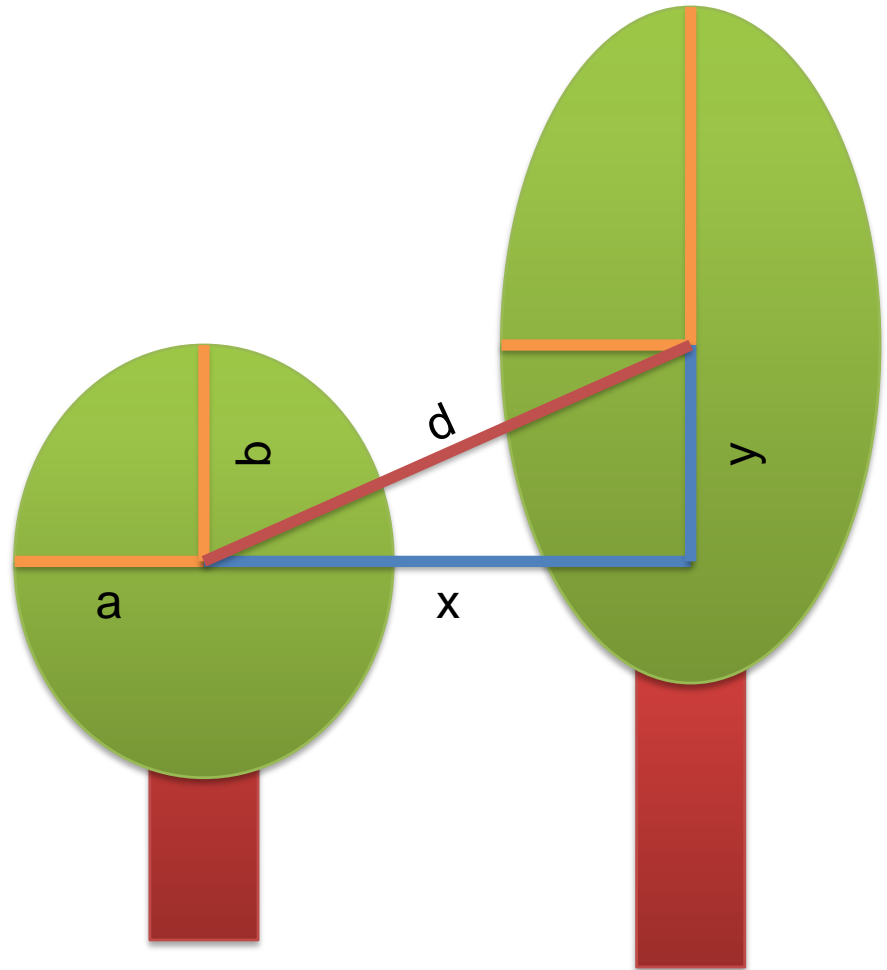
(siehe Anhang)

Modellierung eines Baumes

- ≡ Baum: Geometrische Primitive
 - ≡ Krone interpretiert als “Bounding Volume”
 - ≡ Vereinfachen Berechnungen

- ≡ Kollision
 - ≡ Realismus und Immersion
 - ≡ Keine “binäre”
Kollisionserkennung, sondern
gewisse Toleranz

(Berechnung siehe [Anhang](#))



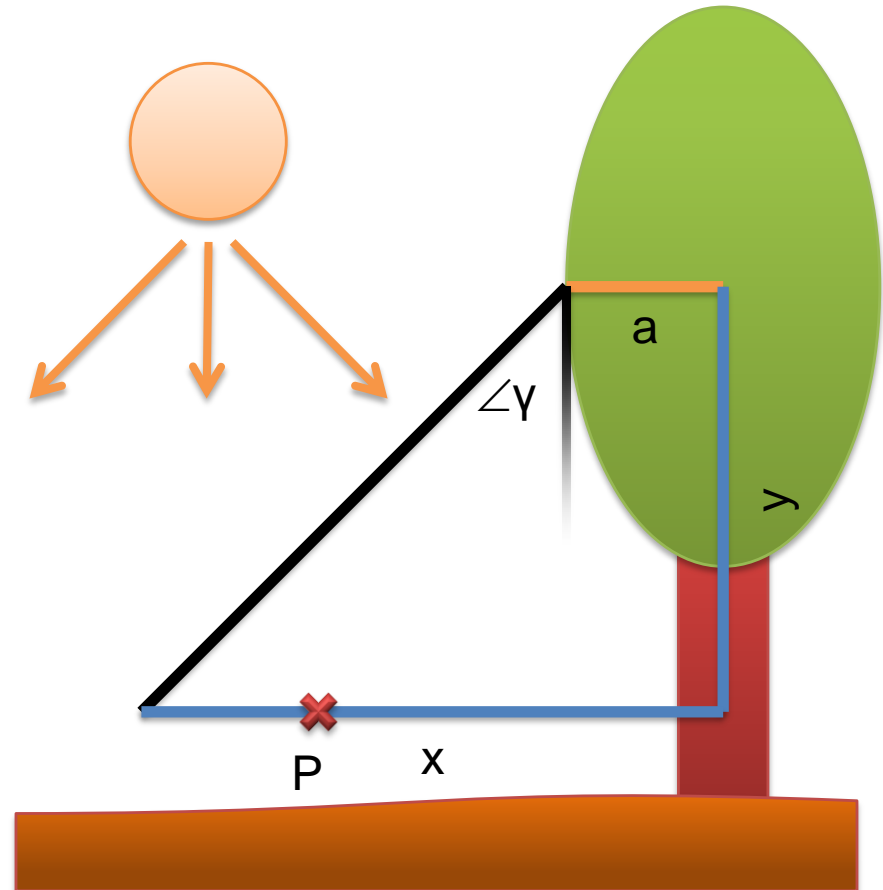
Licht

≡ Verwandte Techniken

- ≡ Ambient Occlusion (Variante verwendet in Govindarajan et al.)
- ≡ Shadow Volumes

≡ Ansatz

- ≡ Vereinfachte Shadow Volumes
- ≡ "Soft Shadows":
Keine punktförmige Lichtquelle, sondern Integration über alle Sonnenstände



Vermehrung und Tod

≡ Vermehrung

- ≡ Erreichen der Mannbarkeit
- ≡ Produktion von Samen in regelmäßigen Abständen
- ≡ Problem: Anzahl der Samen

≡ Tod

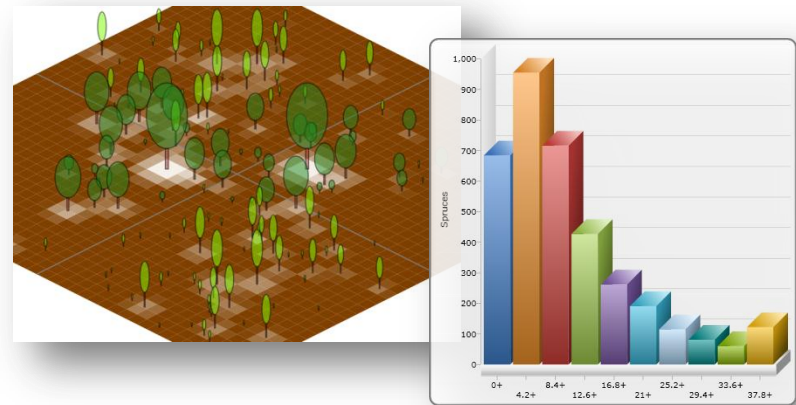
- ≡ Verkümmern durch mangelnde Ressourcen
- ≡ Erreichen der Lebensdauer



Implementierung

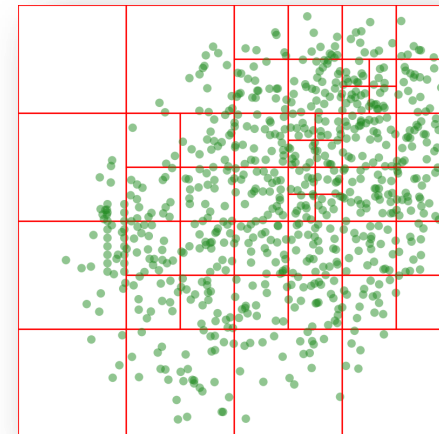
Visualisierung

- Ego-Perspektive, automatisierte Kameraflüge (OpenGL)
- Schematische Grafiken (SVG)
- Statistiken (CSV-Dateien)

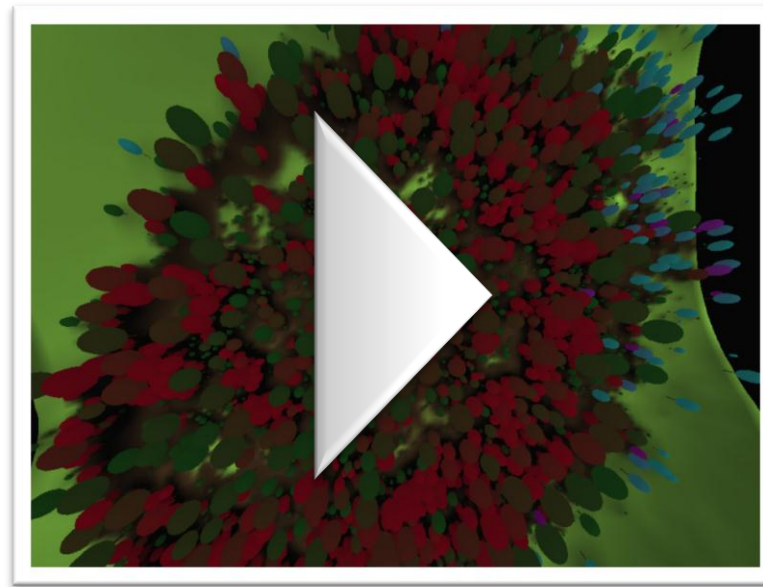


Optimierung

- QuadTree
- Multithreading



Experimentelle Resultate

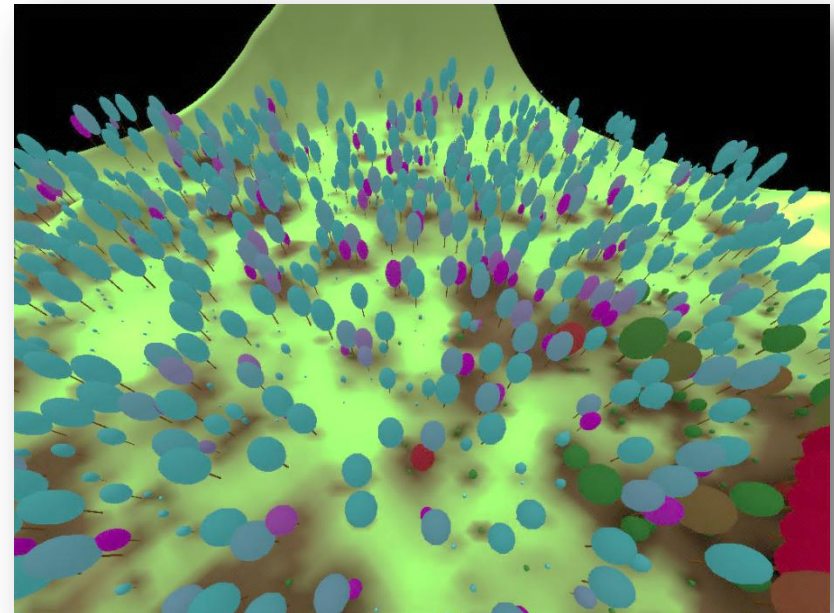


Fazit & Ausblick

- ≡ Modell ausreichend für Einsatz in Lernprogramm
- ≡ Schwächen
 - ≡ Stark einschränkende Hypothesen
 - ≡ Behandlung von Wahrscheinlichkeiten
 - ≡ Keine Validierung durch Statistiken oder Fachpersonen
- ≡ Ausblick
 - ≡ Automatisches Testen von Strategien der Durchforstung

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

- ≡ Referenzen
- ≡ Anpassung der Gompertzschen Wachstumsfunktion an reelle Daten
- ≡ Andere Formen der Gompertzschen Wachstumsfunktion
- ≡ Kollisionsberechnung
- ≡ Wasser und Mineralien
- ≡ Optimierungen
- ≡ Architektur
- ≡ Monokultur: Birke
- ≡ Monokultur: Fichte
- ≡ Monokultur: Statistiken
- ≡ Mischwald
- ≡ Weitere Videos



Referenzen

- ≡ Deutschman, Levin, Devine, Buttel. Scaling from trees to forests: analysis of a complex simulation model. *Science*, 277:1688, 1997.
- ≡ Deutschman, Devine, Buttel. The role of visualization in understanding a complex forest simulation model. In: *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 34:1, 2000, Seiten 51 - 55.
- ≡ Govindarajan, Dietze, Agarwal, Clark. A Scalable Simulator for Forest Dynamics. In: *Annual Symposium on Computational Geometry*. Brooklyn, New York, ACM, SIGACT, SIGGRAPH, 2004.
- ≡ Handstanger, Schantl, Schwarz, Krondorfer. *Zeitgemäße Waldwirtschaft*. Leopold Stocker Verlag, 6. Auflage, Graz, 2006.
- ≡ Nowak. Wie wachsen Bäume? Mathematische Modelle für das Waldwachstum. In: *Wiss. Nachr. d. BM Bi.Wiss.Ku.*, 120, 2002, Seiten 27 - 32.
- ≡ TU Dresden - Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Lehrstuhl Waldwachstum und Holzmesskunde. Waldwachstumssimulator BWIN Pro-S. 5. Juni 2010.
<http://www.forst.tu-dresden.de/Waldwachstum/simulator_ww.htm>

Anpassung der Gompertzschen Wachstumsfunktion an reelle Daten

☰ Sandbirke:

Alter	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Höhe	16	22	26	28	30	31	31.5	32	32.5	33

☰ Näherungswerte:

$$\beta = \frac{1}{60 - 20} * \ln\left(\frac{\ln\left(\frac{16}{30}\right)}{\ln\left(\frac{30}{32.5}\right)}\right) \quad \alpha = \frac{-\ln\left(\frac{16}{30}\right)}{e^{-20\beta} - e^{-60\beta}} \quad l_{\infty} = \frac{16}{e^{-\alpha e^{-20\beta}}}$$

☰ Numerische Anpassung in Matlab: (Minimierung des quadratischen Fehler)

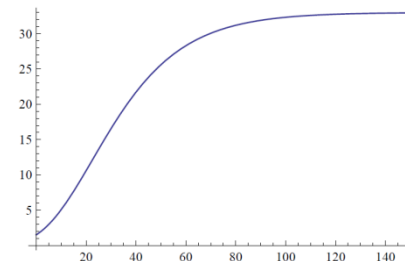
```
% returns fitting error (squared)
function error = growth_error( params, input, actualOutput )
alpha = params(1);
beta = params(2);
lInf = params(3);
fittedCurve = lInf * exp(-alpha * exp(-beta * input));
errorVector = fittedCurve - actualOutput;
error = sum(errorVector .^ 2);
end
% prompt:
input = 20:10:110;
input = input(:);
output = [16 22 26 28 30 31 31.5 32 32.5 33];
output = output(:);

start = [2.018650642, 0.051523714, 32.88180063];
options = optimset('Display','iter');
estimates = fminsearch(@growth_error, start, options, input, output);
```

Andere Formen der Gompertzischen Wachstumsfunktion

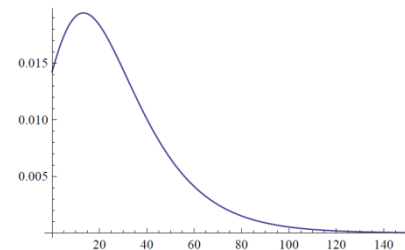
≡ Zeit → Größe

$$l(t) = l_{\infty} e^{-\alpha e^{-\beta t}}$$



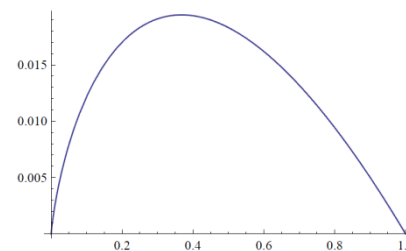
≡ Zeit → Wachstum (Ableitung)

$$l'(t) = \alpha \beta * e^{-\alpha e^{-\beta t} - \beta t}$$



≡ Größe → Wachstum
(Differentialgleichung)

$$l'(l(t)) = -\ln(l(t)) * \beta * l(t)$$



Kollisionsberechnung

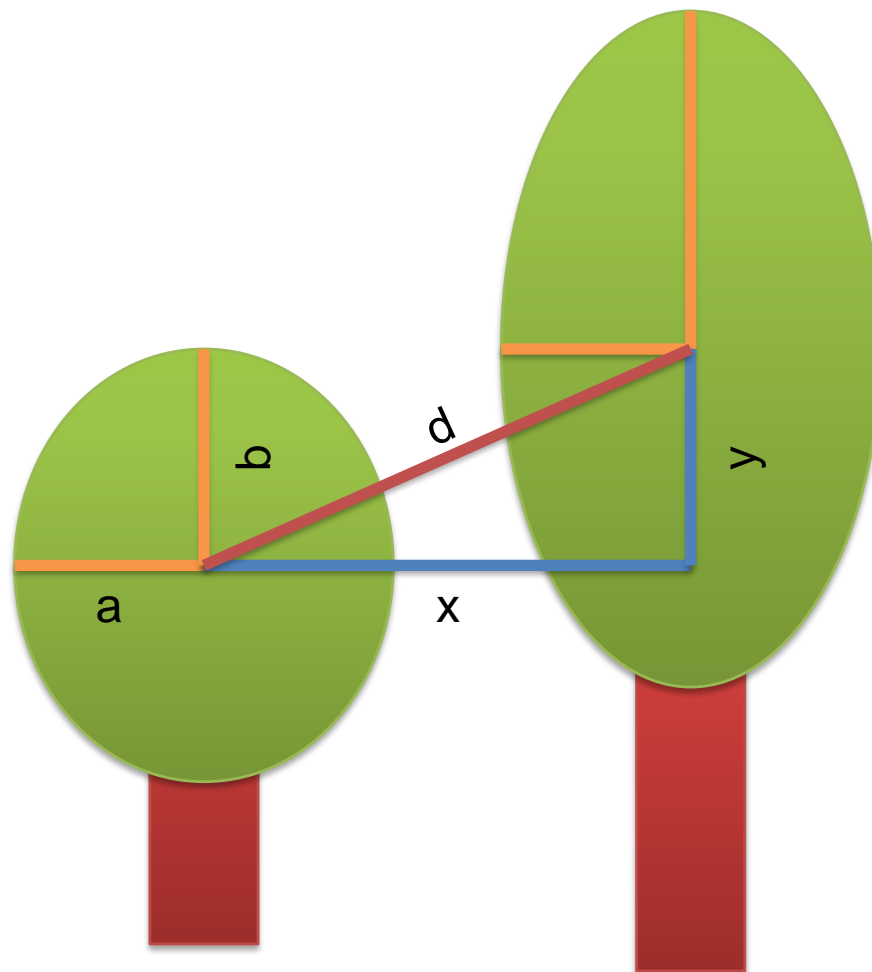
≡ Ellipsengleichung in erster Hauptlage:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$$

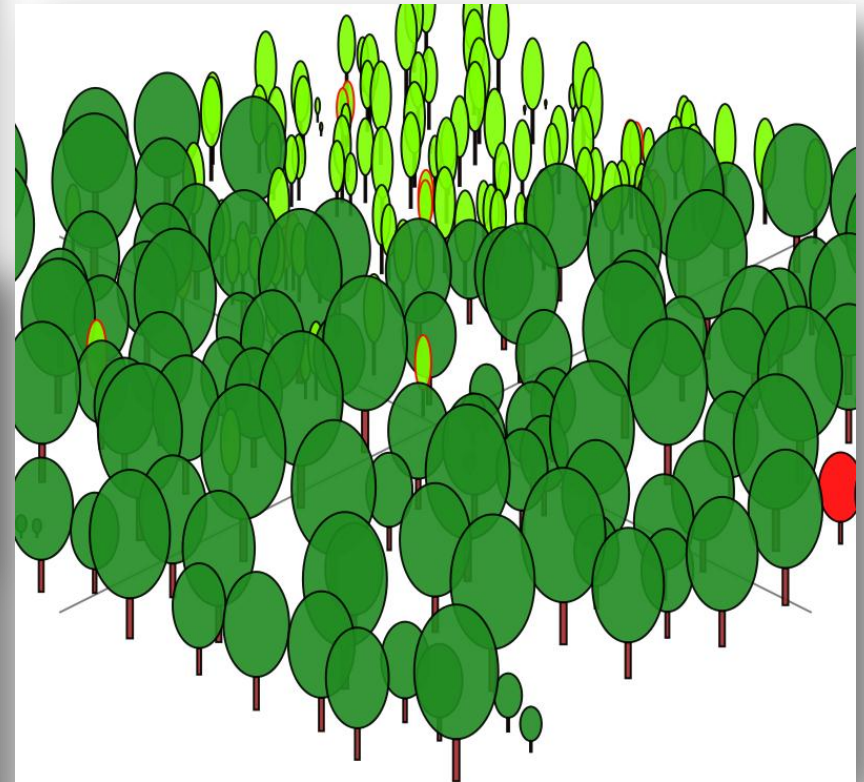
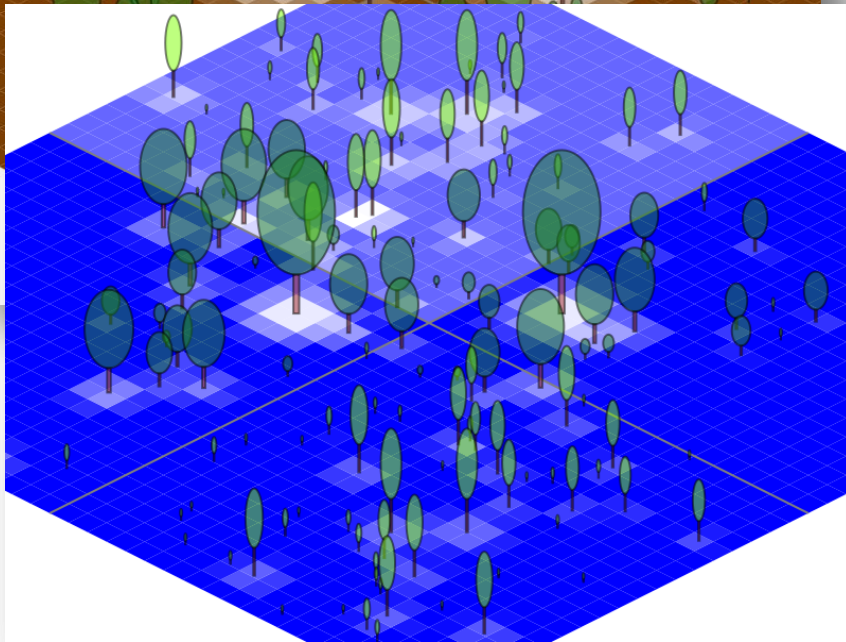
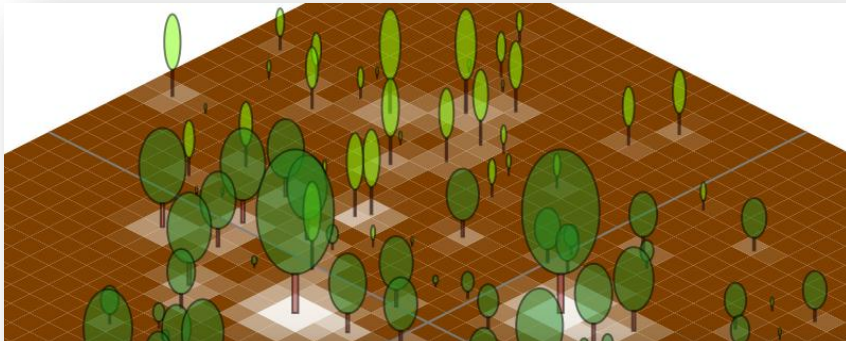
≡ Gleichsetzen mit Steigung der Distanz:

$$\begin{aligned} \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1 &\Leftrightarrow y^2 = \left(1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2\right) b^2 \\ \Leftrightarrow \frac{y^2}{x^2} &= \frac{\left(1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2\right) b^2}{x^2} \end{aligned}$$

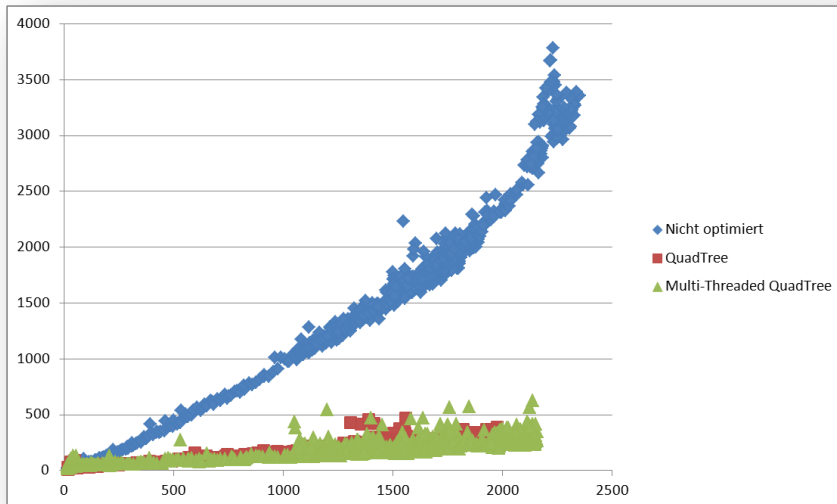
$$m^2 x^2 = \left(1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2\right) b^2 \Leftrightarrow x^2 = \frac{b^2}{\frac{b^2}{a^2} + m^2}$$



Wasser und Mineralien



Optimierungen

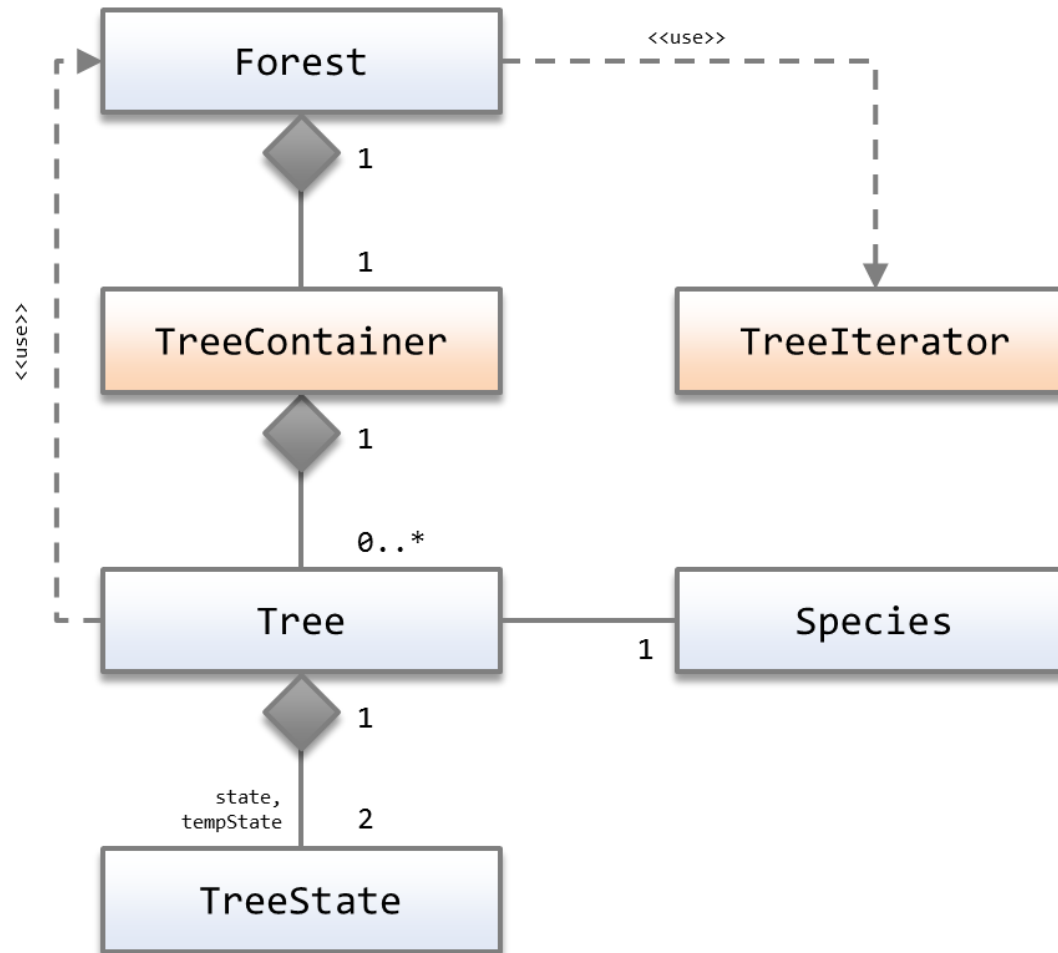


	leafMaxSize	1024	512	256	128	64	32
leafMinWidth							
512		203,8s	203,8s	203,8s	203,8s	203,8s	203,8s
256		99,7s	79,8s	83s	73s	84,6s	82,1s
128		98,9s	67,8s	53,1s	41,6s	53,85s	51,1s
64		92,8s	62,6s	48,8s	38,1s	37,6s	36,5s
32		102,9s	68,1s	50,8s	39,3s	37,3s	36,5s
16		90,7s	71,3s	48,9s	41s	40,1s	39,6s

Optimierungen (2)



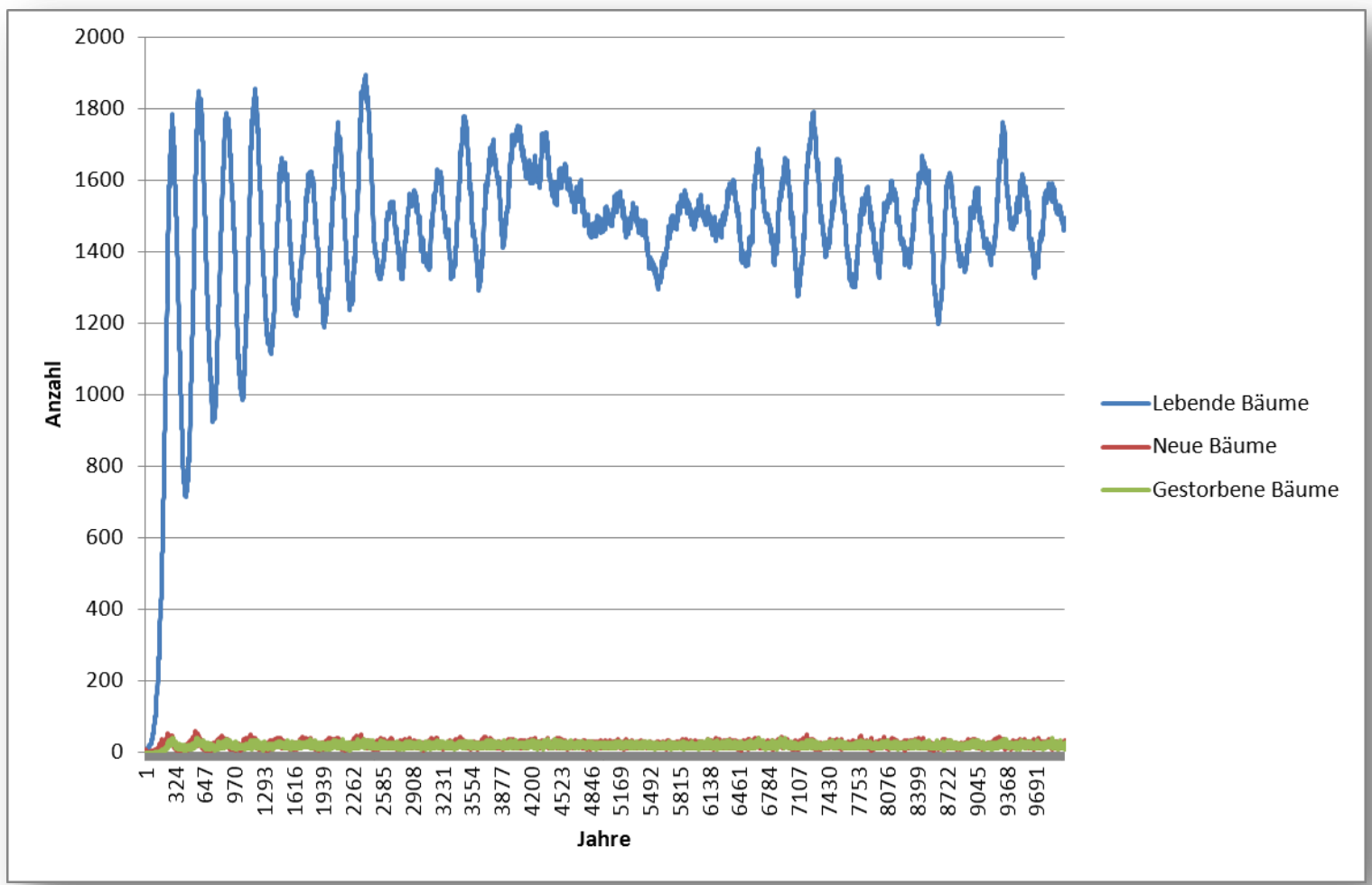
Architektur



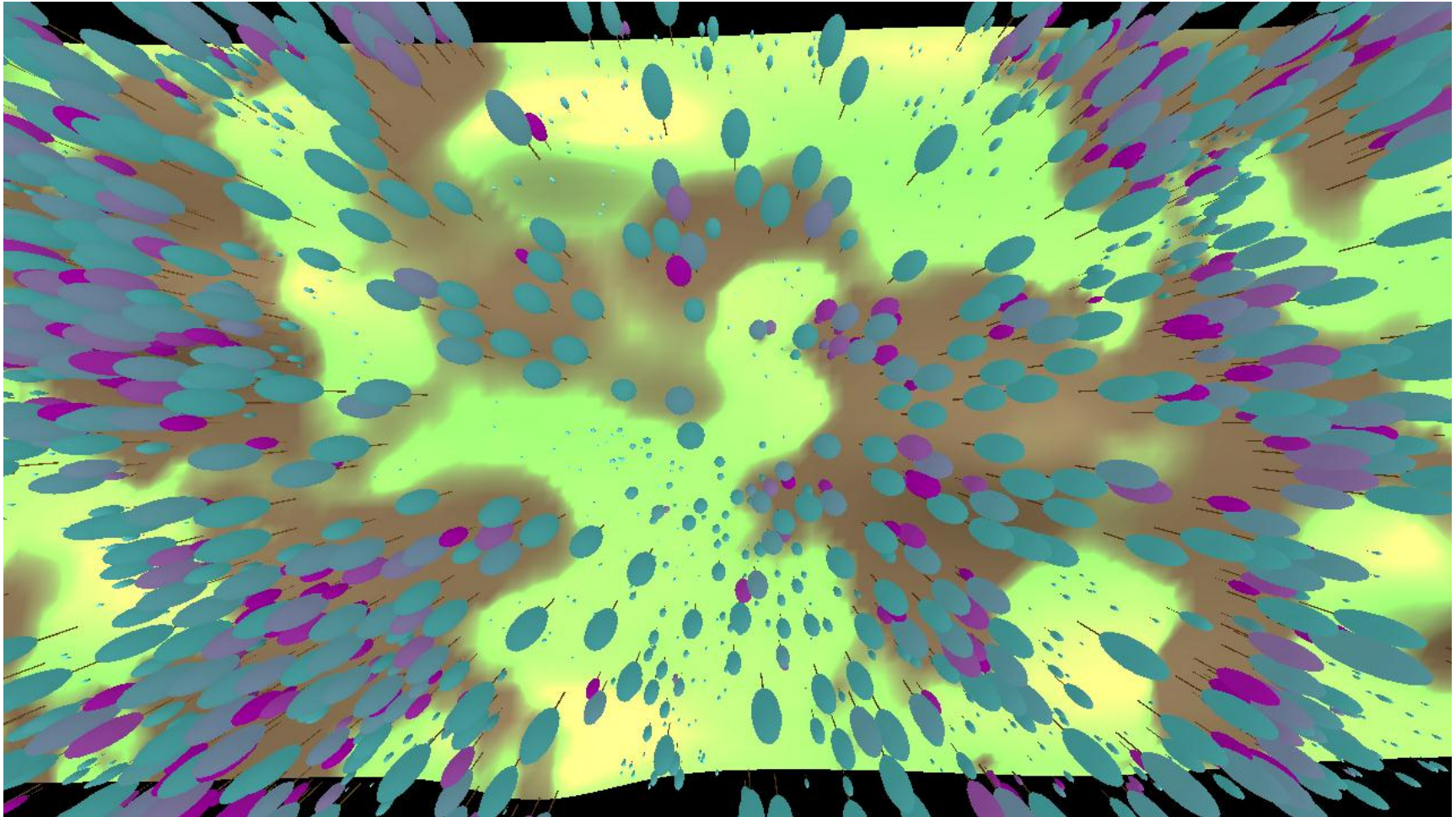
Parameter der Baumarten

	Fichte	Birke
α	2,79	2,5
β	0,035	0,09
Lichtdurchlässigkeit der Krone	0,2	0,1
Mannbarkeit	50	20
Periode der Mastjahre	2	1
Standardabweichung der zurückgelegten Distanz der Samen	40m	80m
Keimwahrscheinlichkeit trockener Boden	2%	0%
Keimwahrscheinlichkeit halbtrockener Boden	40%	0%
Keimwahrscheinlichkeit Gras	10%	20%
Faktor Wachstumshinderung – Schatten	0,01	0,3
Faktor Wachstumshinderung – Kollision	0,9	1
Faktor Mortalität – Schatten	0,02	0,5
Faktor Mortalität – Kollision	0,05	0,1
Lebensdauer	400	120
Ausgewachsene Dimensionen (Höhe, Stammbreite, Kronendurchmesser, Kronenhöhe)	42m; 1,5m; 32m; 20m	25m; 0,5m; 17m; 8m

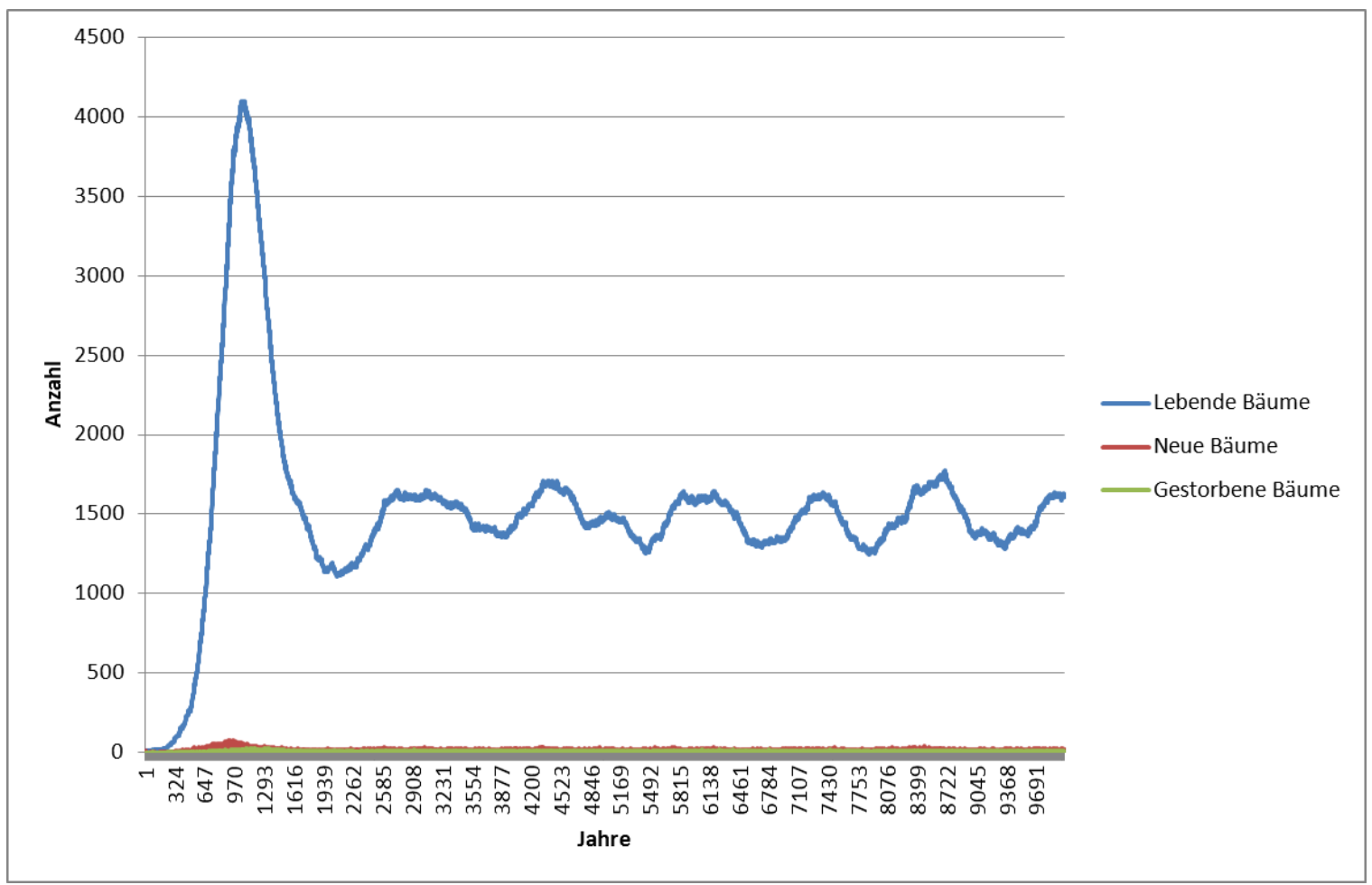
Monokultur: Birke



Monokultur: Birke (2)



Monokultur: Fichte



Monokultur: Fichte (2)



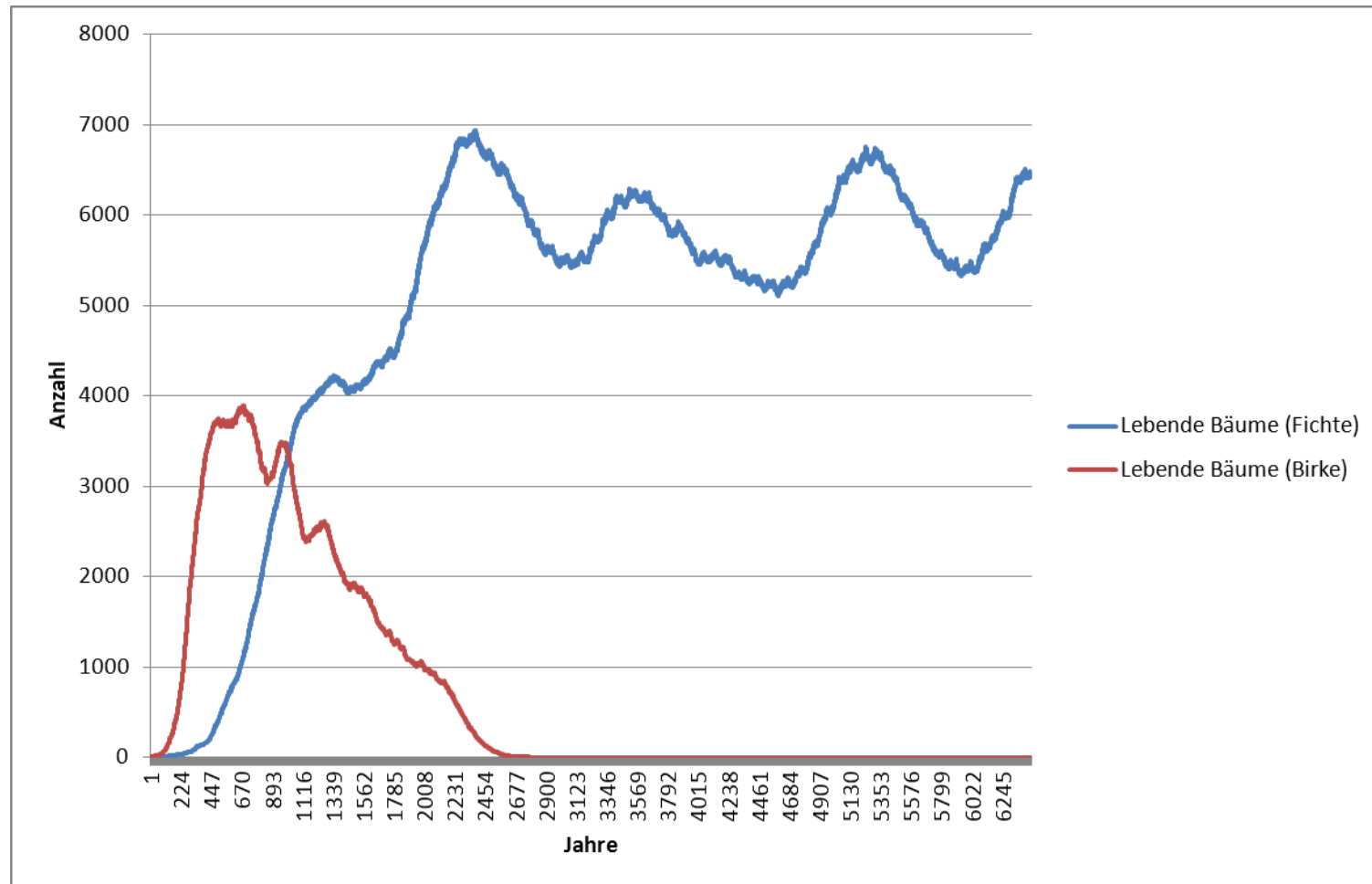
Monokultur - Statistiken

☰ Größe des Waldes: 512m × 256m

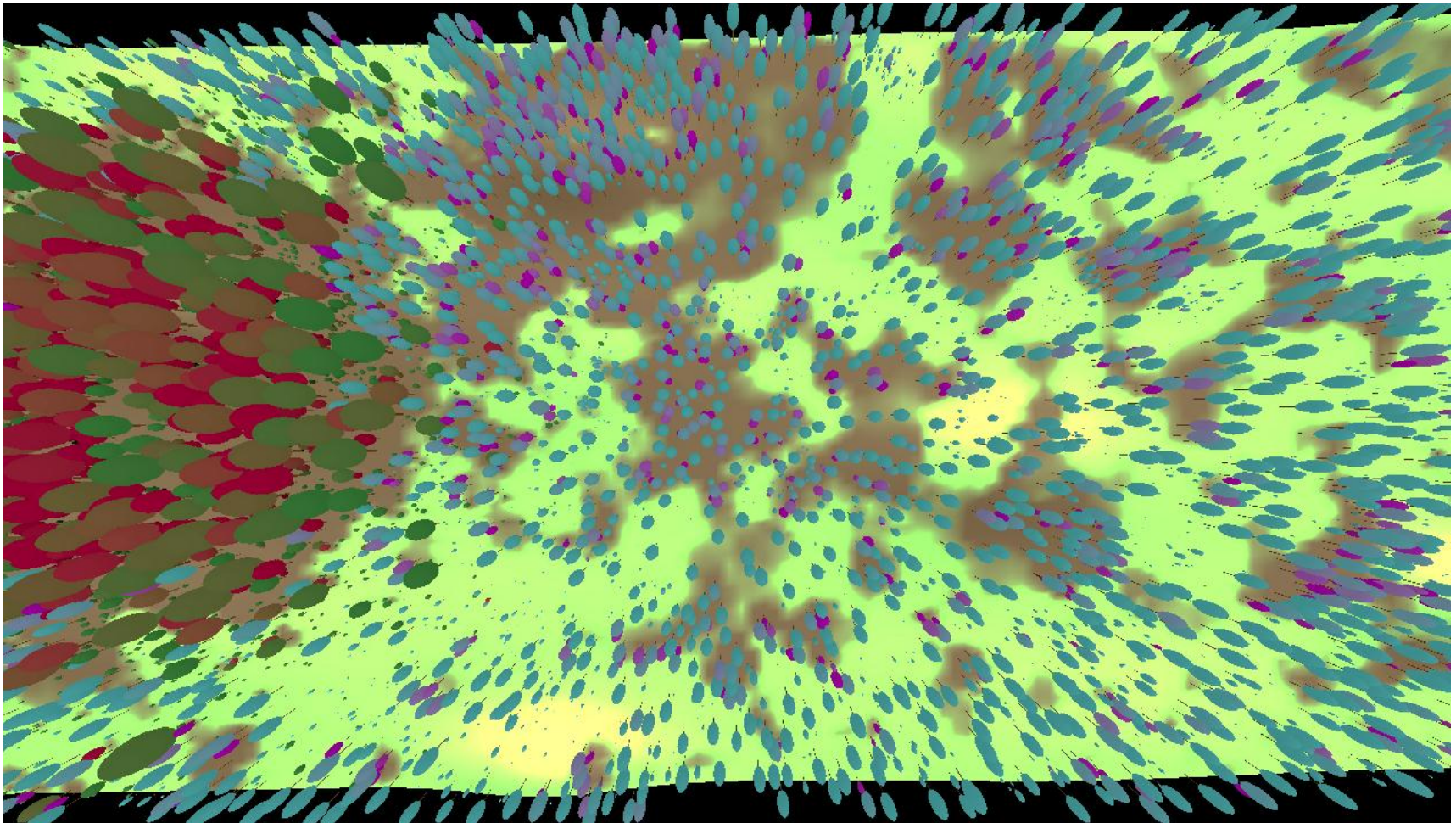
☰ Werte gemittelt von 2.000 bis 10.000 Jahren

	Fichte	Birke
Anzahl der Bäume	1509	1474
Größe - Durchschnitt	33%	51%
Größe - Standardabweichung	26%	35%
Alter - Durchschnitt	55%	72%
Alter - Standardabweichung	35%	54%

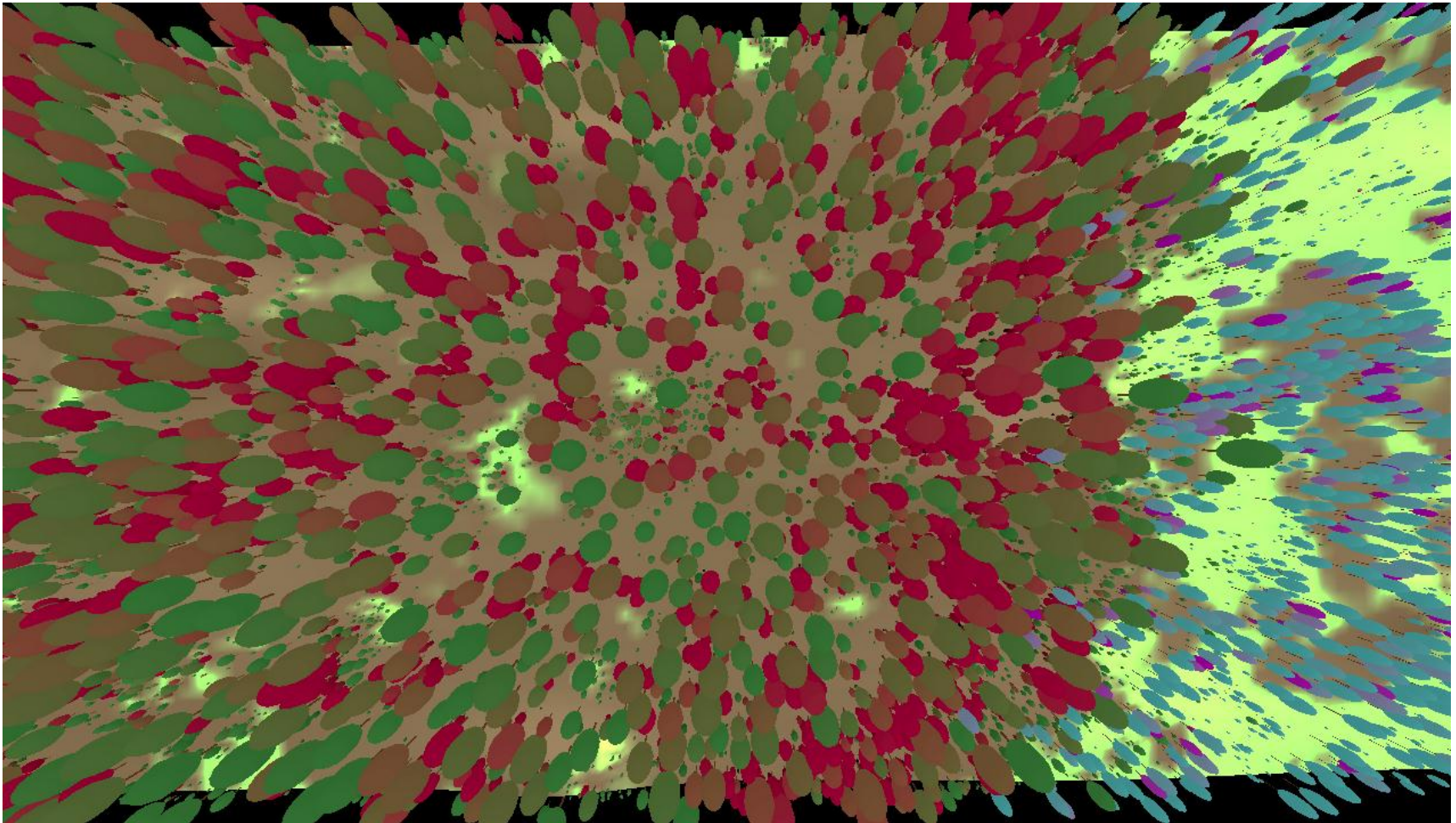
Mischwald



Mischwald (2)



Mischwald (3)



Weitere Videos

- ☰ [Reiner Birkenwald](#)
- ☰ [Reiner Fichtenwald](#)
- ☰ [Birke und Fichte auf 1024m × 512m](#)
- ☰ [Birke und Fichte auf 2048m × 2048m](#)