

Modellfunktionen und Koeffizienten des Forest Simulators BWINPro Version 7.0

Version - Nordwestdeutschland

Juergen.Nagel@nw-fva.de

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen

EINLEITUNG

Der Wachstumssimulator BWINPro 7.0 baut im Wesentlichen auf den Algorithmen der Version 6 auf (NAGEL 1999, NAGEL et al. 2002). Die Wachstumsfunktionen haben sich zur Version 6.2 kaum geändert, die Herleitung der Mortalität, des Einwuchses und Steuerung von Eingriffen wurden komplett überarbeitet.

Softwaremäßig ist der Simulator eine eigenständige Entwicklung, die von der NFV in dem Projekt TreeGrOSS (Tree Growth Open Source Software) betreut wird (NAGEL, 2002). Der Simulator ist in Java (Sun 2 Platform, Standard Edition 1.5.0) unter der Entwicklungsoberfläche NetBeans 4.0 programmiert. Als Lizenzmodell wird die General Public Licence (GPL) eingesetzt. Dieses Open Source Lizenzmodell ist für Entwickler vorteilhaft, denn es bedeutet weniger Bürokratie, keinen Reklamationsmöglichkeiten und einer schnellere Verbreitung der waldwachstumskundlichen Erkenntnisse. Für die Nutzer bietet das Lizenzmodell den Vorteil, dass die Software kostenfrei ist, sie in den Sourcecode einsehen können und das Programm auch an Ihre speziellen Bedürfnisse anpassen können. Darüber hinaus erleichtert die GPL die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen. Zur Erleichterung der internationalen Zusammenarbeit wurden im Programmcode Klassen und Variablen mit englischen Namen versehen und mit englischen Kommentaren versehen. Die dynamische Benutzeroberfläche wurde mehrsprachig konzipiert.

GÜLTIGKEITSBEREICH UND VERWENDETE DATEN

Bei dem Simulator handelt es sich um ein statistisches positionsunabhängiges Einzelbaumwachstumsmodell. Lediglich für die Simulation von Durchforstungen, der Mortalität und des Einwuchses werden Lagekoordinaten benötigt. Diese werden, wenn sie nicht vorhanden sind, ergänzt. Das Modell schätzt die Waldentwicklung in 5-Jahresschritten. Je länger die Simulation durchgeführt wird, um so weiter kann sich die simulierte Variante von der Realität entfernen. Es wird empfohlen, mit dem Simulator keine Zeiträume von größer als 40 Jahren zu simulieren. Die Simulation läuft unter idealen Bedingungen ab, d.h. der Simulator bildet keine Störungen wie z.B. Windwürfe, Insektenkalamitäten oder Schneebruch ab. Zufallskomponenten führen dazu, dass bei wiederholter Simulation es zu anderen Ergebnissen kommen kann.

Fast alle Modellfunktionen des Simulators bauen auf den ertragskundlichen Versuchsflächendaten der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt auf. Die Versuchsflächen decken den Bereich der Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hamburg, Bremen, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Rheinland-Pfalz und Hessen ab. Für die Parametrisierung wurden unterschiedliche Datenumfänge verwendet. So liegen z.B. Kronenbreiteninformationen in einem wesentlich geringerem Umfang als Durchmessermessungen vor. Für die Zuwachsgleichungen wurden nur die Bäume verwendet, an

denen Höhen und Durchmesser gemessen wurden. Das Einwuchsmodell wurde für den Bereich Norddeutschland aus Daten der Betriebsinventuren hergeleitet.

Da es in dieser Kurzdokumentation unmöglich ist alle Arbeiten ausführlich zu beschreiben, sei an dieser Stelle auf die angegebene Literatur verwiesen.

DATENANFORDERUNGEN UND MÖGLICHKEITEN DER DATENERGÄNZUNG

Der Simulator lässt sich theoretisch nur einsetzen, wenn ein kompletter Datensatz für einen Bestandes zur Verfügung steht. Da ein kompletter Datensatz in den wenigsten Fällen vorhanden ist, wurde der Simulator für den praktischen Einsatz mit einigen Datenergänzungs-routinen und einer Routine zur Erzeugung von Durchmesser-Verteilungen ausgestattet.

Datenanforderungen

Auf der Bestandesebene sind die notwendigen Angaben:

- Flächengröße
- Jahr der Aufnahme
- Anzahl, Namen und Koordinaten der Eckpunkte (entgegen des Urzeigersinns)

Für jeden Einzelbaum müssen folgende Angaben vorliegen:

- Baumart
- Alter
- BHD
- Höhe
- Kronenansatz
- Kronenbreite
- Koordinaten

Erzeugung von Durchmesser-Verteilungen

Java Klasse: treegross.base.DiameterGen

Durch die Eingabe von Baumart, Alter, Höhe und Durchmesser des Kreisflächenmittelstammes (Dg), und des maximalen Durchmessers (Dmax) und der gewünschten Grundfläche kann man nach dem Ansatz von NAGEL und BIGING (1995) eine Durchmesser-Verteilung generieren. Da die Weibull-Funktion für die Bestimmung der Durchmesser nur Werte größer 7cm liefert, wird im Simulator automatisch von der Weibull-Verteilung auf eine Normal-Verteilung umgeschaltet, wenn Dg minus die Differenz von Dmax und Dg einen Wert kleiner als 7.0 ergibt. Mit Hilfe von Zufallszahlen werden über die Funktion so lange Durchmesser erzeugt, bis die gewünschte Grundfläche erreicht ist.

$$BHD = b \cdot \left[\left(\frac{T}{b} \right)^c - \log_e (1 - F_T(x)) \right]^{\frac{1}{c}}$$

Koeffizienten für die Schätzung des Parameters b nach Gleichung (NAGEL und BIGING, 1995)

$$b = p_0 + p_1 \cdot Dg + \varepsilon$$

DV	Baumart	p ₀	p ₁	r ²	St.Error	n
1	Eiche	-1,937	1,082	0,98	2,20	601
2	Roteiche	0,267	1,031	0,99	0,39	199
3	Buche	-4,282	1,132	0,96	2,43	208
4	Fichte	-2,492	1,104	0,98	1,52	819
5	Douglasie	-0,621	1,060	0,99	0,69	223
6	Kiefer	-0,047	1,047	0,99	0,47	192

Koeffizienten für die Schätzung des Parameters c nach Gleichung (NAGEL und BIGING, 1995)

$$c = p_0 + p_1 \cdot Dg + p_2 \cdot D_{\max} + \varepsilon$$

DV	Baumart	p ₀	p ₁	p ₂	r ²	St.Error	n
1	Eiche	4,669	0,366	-0,234	0,71	1,14	601
2	Roteiche	6,122	0,374	-0,258	0,60	0,80	199
3	Buche	4,518	0,317	-0,200	0,70	1,27	208
4	Fichte	3,418	0,353	-0,192	0,71	1,02	819
5	Douglasie	4,380	0,236	-0,141	0,58	0,82	223
6	Kiefer	3,640	0,332	-0,180	0,90	0,50	192

Ergänzung fehlender Höhenwerte

Java Klassen: *treegross.base.HeightCurve*, *treegross.base.UniformHeight*

Der Datensatz wird vom Simulator zuerst auf fehlende Höhenwerte überprüft. Es muß wenigstens eine Höhe gegeben sein.

Sind mehr als 5 Höhen für eine Baumart vorhanden, so wird mit den gemessenen Höhen für die Baumart eine Bestandeshöhenkurve berechnet (SCHMIDT 1968). Welcher Höhenkurventyp dabei bevorzugt wird, ist für die betreffende Baumart in der Datei species.txt voreingestellt. Im Programm sind die folgenden Funktionen integriert.

- (1) Parabel
$$h = a_0 + a_1 \cdot d + a_2 \cdot d^2$$

- (2) Prodan
$$h - 1.3 = \frac{d^2}{a_0 + a_1 \cdot d + a_2 \cdot d^2}$$

- (3) Petterson
$$h = 1,3 + \left(\frac{d}{a_0 + a_1 \cdot d} \right)^{3,0}$$

- (4) Korsun
$$h = e^{[a_0 + a_1 \cdot \ln(d) + a_2 \cdot \ln^2(d^2)]}$$

- (5) logarithmisch
$$h = a_0 + a_1 \cdot \ln(d)$$

Sind weniger als 5 Baumhöhen für eine Baumart vorhanden, so wird eine Einheitshöhenkurve verwendet. Für den Einsprung in die Einheitshöhenkurve wird als Dg und Hg der Durchmesser und die Höhe des größten Baumes verwendet.

$$h_i = 1,3 + (Hg - 1,3) \cdot e^{-(a_0 \cdot Dg + a_1) \cdot (\frac{1}{d_i} - \frac{1}{Dg})}$$

NR	Art	Baumart	a ₀	a ₁	r ²	RMSE	n
1	110	Eiche	0,14657227	3,78686023	0,97	1,60	8968
2	113	Roteiche	0,26932445	4,32123002	0,95	2,03	7577
3	211	Buche	0,20213328	5,64023296	0,94	3,41	11589
4	511	Fichte	0,18290951	5,68789430	0,98	1,80	10678
5	611	Douglasie	0,19965100	4,63277655	0,97	1,98	11188
6	711	Kiefer	0,25963741	1,30645374	0,94	2,30	5367
7	811	E.Lärche	0,12931522	4,44234560	0,97	1,06	12779
8	812	J.Lärche	0,53934489	4,16512685	0,98	1,16	10576

Ist für eine Baumart keine Höhenkurve, so verwendet der Datenergänzungsalgorithmus die Höhenkurve, welche nach dem Baumartencode nächstgelegene Art ist.

Variation der Baumhöhen um die Höhenkurve

Java Klasse: *treegross.base.HeightVariation*

Damit für die Simulation nicht alle Bäume bei gleichem Durchmesser dieselbe Höhe haben, wenn die Höhe aus einer Höhen- oder Einheitshöhenkurve hergeleitet wurde, werden folgende Gleichungen und Zufallszahlen verwendet, um die Höhenwerte zu variieren (Albert 2000).

Baumart	Modell	α	β
Buche	$STDABW = \alpha + \beta \cdot \ln(BHD_STD)$	1,1217150	0,2203473
Eiche	$STDABW = \alpha + \beta \cdot \ln(dg)$	-0,1944676	0,3535610
Fichte	$STDABW = \alpha + \beta \cdot \ln(BHD_STD)$	0,1441427	0,5552640
Douglasie	$STDABW = \alpha + \beta \cdot \ln(BHD_STD)$	0,2071047	0,5843520
Kiefer	$STDABW = \alpha + \beta \cdot \ln(dg)$	-1,8315300	0,9701583
E. Lärche	$STDABW = \alpha + \beta \cdot \ln(dg)$	-0,6860345	0,5518030
J. Lärche	$STDABW = \alpha + \beta \cdot \ln(dg)$	-0,6810186	0,5237710

Kronenansatz und Kronenbreite

Fehlende Kronenansatz- und Kronenbreitewerte werden baumartenweise über die Funktion geschätzt, welche unter dem Punkt Wachstums der Einzelbäume beschrieben ist.

Koordinaten

Java Klasse: *treegross.base.GenerateXY*

Fehlende Koordinaten werden über einen einfachen und schnellen Algorithmus bestimmt. In diesem wird eine relativ gleichmäßige Besetzung der Bestandesfläche mit Baumkronen angestrebt. Koordinaten werden für die Bäume nach ihrer Stärke absteigend sortiert bestimmt, in dem über zwei Zufallszahlen eine zufällige Koordinaten bestimmt wird. Einem Baum wird diese Koordinate zugewiesen, wenn sich seine Krone nicht mit der von anderen Bäumen überschneidet. Im anderen Fall wird eine neue Koordinate gezogen. Wenn nach 25 Versuchen noch keine Koordinate gefunden werden konnte, so wird eine gewisse Überschneidung tolleriert

und diese Toleranz mit jedem neuen Versuch erhöht bis dem Baum eine Koordinate zugewiesen ist.

WACHSTUM

Java Klasse: *treegross.base.stand*, *treegross.base.tree*

Wenn der Wachstumsalgorithmus ausgelöst wird und damit der Zustand des Bestandes nach einer 5-jährigen Periode eingeschätzt werden soll, so werden zunächst die Algorithmen zur alters- und konkurrenzbedingten Mortalität aktiviert und die Anzahl der lebenden Bäume gegebenenfalls reduziert. Danach werden die Konkurrenzparameter neu berechnet und es werden der Durchmesser- und Höhenzuwachs in 5 Jahren geschätzt. Anschließend wird das Alter der lebenden Bäume um 5 Jahre erhöht, der Kronenandsatz und die Kronenbreite neu festgelegt, sowie das Volumen für jeden Baum neu berechnet. Darüber hinaus wird, soweit es der Benutzer wünscht der mögliche Einwuchs geschätzt.

Höhenzuwachs

Java Klassen: *treegross.base.Growth*, *treegross.base.Siteindex*

Der Höhenzuwachs der Einzelbäume besteht aus zwei Komponenten. Zuerst wird der potentielle Höhenzuwachs *ihpot* aus Bonitätsfunktionen hergeleitet. Dieser potentielle Zuwachs wird für den Einzelbaum in einem zweiten Schritt korrigiert. Der potentielle Höhenzuwachs wird aus den Bonitätskurven bzw. über Regressionsgleichungen, mit denen die genannten Ertragstafeln ausgeglichen wurden, bestimmt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Verwendete Bonitätskurven

Nr	Baumart	Autor	Jahr	Funktion	Typ
1	Eiche	NAGEL		Chapman-R.	C
2	Roteiche	BAUER	1955	Chapman-R.	C
3	Buche	SCHOBER	1971	Regression	R
4	Esche	VOLQUARDTS	1958	Regression	R
5	Bergahorn	NAGEL	1985	Wolf'sches R.	W
6	Winterlinde	BOCKMANN	1990	Wolf'sches R.	W
7	Kirsche	ROOS	1990	Wolf'sches R.	W
8	Fichte	WIEDEMANN	1942	Regression	R
9	Sitkafichte	SCHOBER	1962	Regression	R
10	Douglasie	BERGEL	1985	Regression	R
11	Kiefer	WIEDEMANN	1948	Regression	R
12	Europäische Lärche	SCHOBER	1949	Regression	R
13	Japanische Lärche	WESTPHAL	1997	Chapman-R.	C
14	Schwarzerle	LOCKOW	1994	Regression Lockow	L

a) Regressionsansatz (Funktion=R)

$$ho = hb0 + hb1 * \ln(Alter) + hb2 * \ln^2(Alter) + hb3 * Hbon + hb4 * Hbon * \ln(Alter)$$

b) Chapman-Richards Funktion (Funktion=C)

$$H100 = hb_0 \cdot Hbon50 \cdot \left(1 - e^{-hb_1 \cdot Alter}\right)^{hb_2}$$

c) Wolf'schen Richtungsfeld (Funktion=W)

$$H100 = hb3 \cdot \left(\frac{Hbon}{hb3}\right)^{e^{\frac{-hb2}{(hb1-1) \cdot 100^{(hb1-1)}} + \frac{hb2}{(hb1-1) \cdot Alter^{(a-1)}}}}$$

d) Regression Lockow (Funktion=L)

$$ho = \frac{Hbon}{4 \cdot e^{hb0 + hb1 \ln(Alter) + hb2 \ln^2(Alter)}}$$

wobei Hbon die Mittel- bzw. die Spitzenhöhe (hg bzw. ho) der absoluten Bonität im Alter 50 oder 100 Jahre ist, hb₁ ..hb₄ = Regressionskoeffizienten

Zur Berechnung des potentiellen Höhenzuwachses werden die in Tabelle 2 eingetragenen Koeffizienten verwendet.

Tabelle 2: Koeffizienten der Bonitätsfunktionen

Nr	Artnr	Art	hb0	hb1	hb2	hb3	hb4
1	110	Ei	1,2164	0,0194	1,1344		
2	113	REi	1,3952	0,0321	1,5033		
3	211	Bu	-75,659	23,19200	-1,46800	0,00000	0,21520
4	311	Es	-46,046	15,81886	-1,33618	0,00000	0,22808
5	321	BAh	0,623880	1,302960	296,042300		
6	342	WLi	0,495586	1,101126	96,173358		
7	354	Kir	0,800089	1,150926	84,185464		
8	511	Fi	-49,87200	7,33090	0,77338	0,52684	0,10542
10	611	Dgl	-47,09070	11,43220	0,00000	0,00000	0,20063
11	711	Ki	-31,67480	11,64500	-1,04989	-0,43221	0,31253
12	811	ELä	-0,53515	0,00000	0,00000	-0,78758	0,38982
13	421	SchwErl	2,733015	-1,668158	0,167998		

Zur Herleitung des Einzelbaumhöhenzuwachses wird zu dem relativen potentiellen Höhenzuwachs noch eine Korrekturkomponente und ein Zufallseffekt e hinzugefügt. Der Zufallseffekt e beträgt 2% des relativen potentiellen Zuwachses.

$$ihrel = (iHpot / H100) + p_1 \cdot (H100 / h)^{p_2} + e$$

Die Koeffizienten für die Korrekturkomponente werden in der Tabelle 3 wiedergegeben. Für die Baumarten Esche, Ahorn, Kiefer und Küstentanne wird auf die Korrekturkomponente verzichtet.

Tabelle 3: Koeffizienten der Höhenzuwachskorrekturkomponente

Nr	Baumart	P1	P2	r	n
110	Eiche*)	0.01676	1.3349	0.46	14062
113	Roteiche	-0.00102	2.6855	0.45	405
211	Buche	0.00159	1.9086	0.43	23006
221	Hainbuche	0.00330	6.412	0.28	830
311	Esche	0.0	1.0		306
321	Ahorn	0.0	1.0		628
511	Fichte	0.00271	2.1725	0.89	20550
521	Ktanne	0.0	1.0		813
611	Douglasie	0.00159	2.5255	0.84	6387
711	Kiefer	0.0	1.0	0.88	4877
811	ELärche	0.0	1.0	0.56	7550
812	JLärche	0.0188	3.5922	0.65	20255

Grundflächenzuwachsfunction

Java Klasse: *treegross.base.Growth*

Die Durchmesseränderung wird über den Grundflächenzuwachs bestimmt. Baumartenweise wurde die direkte Schätzfunktion des logarithmischen Grundflächenzuwachses parametrisiert. Der Grundflächenzuwachs ist abhängig von der Kronenmantelfläche, dem Alter, dem Kronenkonkurrenzindex C66 und dem Freistellungsgrad. Zusätzlich wurde bei der Parametrisierung noch eine Korrekturkomponente adiff für die Länge der Aufnahmeintervalle berücksichtigt. In der Simulation ist adiff=5 konstant. Wird in der Simulation die

Fehlerkomponente e aktiviert, so wird der Wert S_x aus Tabelle 3 normalverteilt bei 1 Sigma addiert bzw. subtrahiert.

$$idd = \frac{\pi}{40000} \cdot (d_n^2 - d_{n-5}^2)$$

$$\ln(idd) = p_0 + p_1 \cdot \ln(km) + p_2 \cdot \ln(alter) + p_3 \cdot C66 + p_4 \cdot C66c + p_5 \cdot \ln(adiff) + e$$

Tabelle 4: Koeffizienten des Grundflächenzuwachses

Baumart	P0	P1 lnkm	P2 lnAlt	P3 C66	P4 C66c	P5 Adiff	R²	Sx	n
Eiche	-6.5350	1.3260	-0.8437	-0.9373	0.1239	-0.1263	0.60	0.617	17606
Roteiche	-6.7960	1.4050	-0.8437	-1.0990	0.8281	-0.2111	0.82	0.569	6401
Buche	-7.4146	1.3491	-0.6985	-0.7835	0.7875	-0.2997	0.67	0.764	28998
Hainbuche	-8.7786	1.1773	-0.3176	-0.5691	2.3263	-0.7319	0.35	0.887	1145
Esche	-6.1407	1.1068	-0.5533	-1.2802	2.1916	-0.5044	0.50	0.685	387
Ahorn	-5.9842	1.3801	-0.7104	-0.7518	0.0	-1.0577	0.63	0.563	173
Fichte	-6.2018	1.2984	-0.9366	-1.2835	0.2962	0.2926	0.56	0.638	26256
Ktanne	-1.9337	1.0273	-1.0335	-1.5453	-1.1735	-1.3228	0.73	0.617	1928
Douglasie	-7.9766	1.5135	-1.0009	-0.4481	0.5099	0.3038	0.51	0.725	8088
Kiefer	-5.0479	0.9508	-0.7835	-0.7639	0.7113	-0.1891	0.31	0.649	6866
ELärche	-7.1927	0.8621	-0.5193	-0.7122	0.3619	0.7316	0.60	0.629	11482
ILärche	-8.1122	1.3016	-0.6979	-0.5081	0.4766	0.3520	0.53	0.570	23494

Kronenansatzveränderung

Java Klasse: *treegross.base.Crownbase*

Nach dem in der Simulation der Höhen- und Durchmesserzuwachs geschätzt sind, wird der Kronenansatz (cb) über die statische Kronenansatzfunktion neu bestimmt. Dazu ist es allerdings zuvor notwendig, die neue baumartenspezifische Bestandesoberhöhe zu berechnen. Bei der Neubestimmung des Kronenansatzes gilt allerdings die Forderung, dass der Kronenansatz nicht kleiner wird. Für den Fall, dass die Funktion einen kleineren Wert liefert, wird der alte Wert beibehalten.

$$cb = h \cdot \left(1 - e^{-abs\left(p_0 + p_1 \cdot \frac{h}{d} + p_2 \cdot d + p_3 \cdot \ln(H100)\right)} \right)$$

Tabelle 5: Koeffizienten der Kronenansatzfunktion

Baumart	P0	P1	P3	P4	R²	Sx	n
Eiche	-0.5268	0.2287	-0.00453	0.4712	0.87	1.9724	12776
Roteiche	0.3652	0.3556	-0.00558	0.1373	0.73		2280
Buche	0.25704	0.11819	-0.0020625	0.13831	0.61	3.2518	23812
Hainbuche	-0.8466	0.1534	-0.01084	0.6002	0.69		639
Esche	-0.3708	0.4211	-0.0030	0.3242	0.87		601
Ahorn	-0.3191	0.0475	-0.0057	0.4066	0.84		191
Birke	-0.3298	0.2577	-0.003778	0.6697	0.90		565
Fichte	2.0417	-0.3335	0.00906	-0.9004	0.93	1.8170	19060
Küstentanne	-3.365	0.0541	-0.01411	1.4014	0.82		1122
Douglasie	-1.8796	0.34056	-0.00610	0.8262	0.92		7404
Kiefer	1.2085	-0.2392	0.00742	-0.7897	0.97	1.1829	7407
Lärche	0.8225	-0.4688	-0.00317	-0.4282	0.86	1.92	3627
ILärche	-1.041	0.4789	-0.00914	0.6266	0.83		10652

Schätzfunktion der Kronenbreite

Java Klasse: *treegross.base.Crownwidth*

Nach dem in der Simulation der Höhen- und Durchmesserzuwachs geschätzt sind, wird die Kronenbreite (cw) neu aus dem Durchmesser bestimmt.

$$cw = (p_0 + p_1 \cdot d_{13}) \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{d_{13}}{p_3}\right)^{p_4}} \right)$$

Tabelle 5: Koeffizienten der Kronenbreitenfunktion

Baumart	p1	p1	p2	p3	R ²	Sx	n
Eiche	2.6618	0.1152	8.3381	1.4083	.84348	1.15	1225
Buche	2.0837	0.1500	5.7292	1.3341	.8084	1.276	8497
Hainbuche	3.002	0.1851	0.000001	1.0	0.59	1.67	75
Esche	17.372	-0.0646	45.371	1.238	0.92		398
Ahorn	2.7916	0.1340	2.7198	0.4197	0.81		191
Birke	0.3234	0.2060	0.000001	1.0			
Vogelbeere	1.792	0.1154	5.3637	0.867	.817		
Fichte	1.2644	0.1072	0.000001	1.0	.7953	0.7694	959
Küstentanne	7.1764	-0.0149	23.2663	1.390	0.53		335
Douglasie	2.919	0.0939	10.0161	1.362	.7899	0.8593	2126
Kiefer	1.2783	0.11388	8.705220	1.33944	.8261	0.6789	636
Europäische Lärche	3.6962	0.0762	21.8046	1.530	.6550	1.0160	1201
Japan Lärche	2.3805	0.1073	0.000001	1.0			

Mortalität

Java Klassen: *treegross.base.Mortality*, *treegross.base.Competition*

In der Simulation werden zwei Mortalitätsursachen geprüft. Die erste ist eine altersbedingte Mortalität und die zweite ist die konkurrenzbedingte Mortalität.

Altersbedingte Mortalität

Bei der altersbedingten Mortalität handelt es sich für jede Baumart um eine gutachterliche Einschätzung des Zeitpunktes, ab dem mit einer altersbedingten Mortalität zu rechnen ist. Bäume die das für die Baumarten angegebene Alter (s. Datei *speciest.txt*) überschritten haben, sterben mit einer Wahrscheinlichkeit von 10%. Im Algorithmus wird eine Zufallszahl zwischen 0 und 1 gezogen. Der Baum stirbt, wenn diese Zufallszahl kleiner oder gleich 0.1 ist.

Dichtebedingte Mortalität

Aus der Datenbank der Versuchsflächenaufnahmen wurden die maximalen Werte für den Kronenkonkurrenzindex C66 gefiltert. Der C66 läßt sich auch als Kronenschlussgrad in einer bestimmten Höhe beschreiben. In der Tabelle 7 sind die Werte angegeben, die 90%, 95% und 99% der Bäume der betreffenden Art unterschreiten. In der Datei *species.txt* sind die Werte für 95% als kritischer Kronenschlussgrad voreingestellt.

Der Algorithmus der dichtebedingten Mortalität ist nun so aufgebaut, dass so lange jeweils der Baum, dessen lageabhängiger Kronenkonkurrenzindex (*c66xy*) den vorgegeben kritischen Kronenschlussgrad am meisten überschreitet, stirbt, bis kein Baum mehr den kritischen Kronenschlussgrad überschreitet. Der *c66xy* wird nach jedem abgestorbenen Baum neu berechnet.

Tabelle 7: Werte des kritischen Kronenschlußgrades

Baumart	90%	95%	99%	n
Eiche	1.40	1.55	1.85	64635
Roteiche	1.75	1.88	2.24	49568
Buche	1.78	2.06	2.40	135487
Hainbuche	1.98	2.05	2.11	6020
Esche	1.15	1.24	1.41	685
Ahorn	1.34	1.98	2.27	548

Fichte	1.23	1.39	1.65	166758
Ktanne	1.33	1.41	1.50	9965
Douglasie	1.49	1.61	2.08	35089
Kiefer	0.85	0.90	0.96	32700
ELärche	0.54	0.58	0.75	62093
JLärche	2.28	2.50	2.74	96375

BERECHNUNG VON ZUSTANDSVARIABLEN

Formzahl- und Volumenfunktion

Java Klasse: *treegross.base.VolumeByNFV*

FZ	BAUMART	FUNKTION	AUTHOR	JAHR
1	Eiche Derbholz	$fd=0.4786-(1.011176/d)+(2.10428/h)-(203.1997/(d*h*h))$	BERGEL, D.	1974
2	Buche Derbholz	$fd=0.4039+0.0017335*h+1.1267/h-118.188/(d*d*d)+0.0000042*d*d$	BERGEL, D.	1973
3	Fichte Schafth.	$fs=0.5848+3.34262/(h*h)-1.73375/(h*d)-0.26215*log(d)/log(10.0)+0.18736*log(h)/log(10.0)+11.34436/(d*h*h)$	BERGEL, D.	1973
4	Kiefer Schafth.	$fs=0.35096+0.93964/d+1.5464/h-2.0482/(d*d)-5.7305/(d*h)+17.444/(h*d*d)$	BERGEL, D.	1974
5	Roteiche Derbh.	$fs=0.4237+0.039178/d-4.69154/(d*d)+38.5469/(h*d)-335.8731/(h*d*d)$	BERGEL, D.	1974
7	Douglasie Schaftholz	$fs=0.10798+0.71858/(log(d*10.0)/log(10.0))+0.04065*(h/d)$	BERGEL, D.	1971
9	Eur. Lärche Schaftholz	$fs=0.583+4.52132/(h*h)-5.59827/(h*d)-0.2101*log(d)/log(10.0)+0.12363*log(h)/log(10.0)+21.92938/(d*h*h)$	BERGEL, D.	1974
10	Jap. Lärche Schaftholz	$fs=0.5073+7.41736/(h*h)-7.57701/(h*d)-0.32268*log(d)/log(10.0)+0.30583*log(h)/log(10.0)+20.75427/(d*h*h)$	BERGEL, D.	1973
12	Douglasie Derbholz	$fd=-200.31914/(h*d*d)+0.8734/d-0.0052*log(d*d)+7.3594/(h*d)+0.46155$	BERGEL, D.	1974
13	Fichte Derbholz	$fd=0.04016-27.56211/(d*d)+1.36195/log(d)+0.057654*h/d$	BERGEL, D.	1974
14	Kiefer Derbholz	$fd=0.40804-318.3342/(h*d*d)+36.90522/(h*d)-4.05292/(d*d)$	BERGEL, D.	1974
15	Europäische Lärche Derbholz	$fd=0.69196+38.64556/(h*d*d)-0.01724*log2(d)-20.77608/(d*d)-0.41727/h$	BERGEL, D.	1974
16	Gr.Küstentanne Derbholz	$vd=\exp(1.64134*log(d)+0.84522*log(h-1.3)+0.45253*(1.0-(7.0/d)))-8.45379)$	NAGEL, J.	1988
17	Gr.Küstentanne Schaftholz	$vs=\exp(1.86089*log(d)+0.85685*log(h-1.3)-9.31895)$	NAGEL, J.	1988
18	Lebensbaum Derbholz	$vd=\exp(1.35860*log(d)+1.10900*log(h-1.3)+0.50829*log(1.0-(7.0/d)))-8.32778)$	NAGEL, J.	1988
19	Lebensbaum Schaftholz	$vs=\exp(1.67590*log(d)+1.05313*log(h-1.3)-9.32861)$	NAGEL, J.	1988
20	Hemlock Derbholz	$vd=\exp(1.78913*log(d)+1.03195*log(h-1.3)+0.29581*log(1.0-(7.0/d)))-9.41554)$	NAGEL, J.	1988

21	Hemlock Schaftholz	$vs = \exp(1.83933 \cdot \log(d) + 1.07109 \cdot \log(h-1.3) - 9.78039)$	NAGEL, J.	1988
22	Scheinzypresse Derbholz	$vd = \exp(1.69307 \cdot \log(d) + 0.96994 \cdot \log(h-1.3) + 0.39987 \cdot \log(1.0 - (7.0/d)) - 8.82697)$	NAGEL, J.	1988
23	Scheinzypresse Schaftholz	$vs = \exp(1.83305 \cdot \log(d) + 0.96514 \cdot \log(h-1.3) - 9.41531)$	NAGEL, J.	1988
25	Edeltanne Schaftholz	$v = \exp(1.85352 \cdot \log(d) + 1.07417 \cdot \log(h-1.3) - 9.76928)$	SCHÜBELER, D. ET AL.	1990
26	SchwErle	$v = \exp(-10.262754 + 2.155525 \cdot \log(d) + 0.976678 \cdot \log(h) - 0.043148 \cdot \log(d)^2 + 0.010716 \cdot \log(h)^2 \cdot (1.811999 - 7.382763 \cdot (1.0/d) - 0.032335 \cdot d + 0.0005276708 \cdot d^2) - 0.00000246995 \cdot d^3.0)$	LOCKOW	1994

fs=Formzahl Schaftholz, fd=Formzahl Derbholz, vs= Volumen Schaftholz

vd= Volumen Derbholz

Kronenmantelfläche

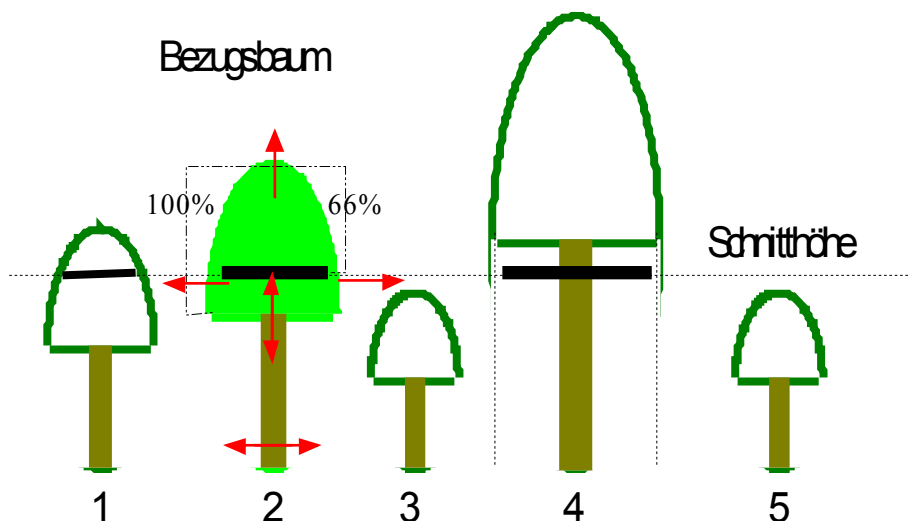
Zur Berechnung der Kronenmantelfläche wird ein Paraboloid unterstellt (KRAMER u. AKCA 1982).

$$km = \frac{\pi \cdot kr}{6 \cdot kl^2} \cdot \left[\left(4 \cdot kl^2 + kr^2 \right)^{\frac{3}{2}} - kr^3 \right]$$

Kronenkonkurrenzindex C66

Java Klasse: *treegross.base.Competition*

Der Kronenkonkurrenzindex C66 wurde im Anhalt an WENSEL et al. (1987) definiert. Zu seiner Berechnung wird eine Schnitthöhe in einer Höhe von 66 Prozent der Kronenlänge gewählt.



Der C66 eines Einzelbaumes ist die Summe der Kronenschnittflächen (ks) aller Bäume, wenn sie in einer Höhe von 66 Prozent der Kronenlänge des Bezugsbaumes (Baum 2) geschnitten werden. Der C66 ergibt sich dann als:

$$C66_i = \frac{\sum_{i=1}^N ks66_i}{A}$$

wobei A = Flächengröße [m²]

Der C66 läßt sich als Kronenschlußgrad in einer bestimmten Höhe interpretieren.

Kronenkonkurrenzindex C66xy

Java Klasse: treegross.base.Competition

Der lageabhängige Kronenkonkurrenzindex c66xy wird im Prinzip wie der C66 berechnet. Allerdings werden die die Berechnung nur alle Bäume eingeschlossen, deren Krone in einen Einflusskreis mit einem Radius des doppelten Kronenradius des Zentralbaumes ragt. Kronenteile, welche diesen Einflusskreis überragen, werden abgeschnitten. Das gilt auch für Bereiche die ausserhalb der durch die Eckpunkte definierten Bestandesfläche liegen. Die Flächen bzw. Flächenanteile werden im Programm näherungsweise über Raster ermittelt.

Schaftformfunktionen

Java Klasse: treegross.base.TaperByBrink

Für die Sortimentierung werden die Schaftformfunktionen von SCHMIDT (2001) verwendet.

Modifizierte Brinkfunktion (Laubholzarten)

Buche:

Koeffizient	Wert	Std. Fehler	t-Wert
<i>k</i>	0.6946140	0.00975345	71.2173
<i>p</i>	0.0862735	0.00427386	20.1863
<i>q</i>	0.1359840	0.00304893	44.6007
Residual Std. Fehler (mm)		0.683244 bei 6331 Freiheitsgraden	

Eiche:

Koeffizient	Wert	Std. Fehler	t-Wert
<i>k</i>	0.5698770	0.01181670	48.2263
<i>p</i>	0.0450652	0.00354560	12.7102
<i>q</i>	0.2452940	0.00724047	33.8782
Residual Std. Fehler (mm)		0.504138 bei 9421 Freiheitsgraden	

Painfunktion (Nadelholzarten)

Fichte:

Koeffizient	Wert	Std. Fehler	t-Wert	Pr(> t)
<i>a</i> ₀	-0.223	0.0615	-3.632	0.0003
<i>a</i> ₁	1.595	0.0138	115.608	0.0000
<i>a</i> ₂	-3.155	0.0667	-47.307	0.0000
<i>b</i> ₀	0.512	0.0333	15.386	0.0000
<i>b</i> ₁	-0.158	0.0075	-21.042	0.0000
<i>b</i> ₂	-0.502	0.0362	-13.847	0.0000
Residual Std. Fehler (mm)		0.504 bei 9763 Freiheitsgraden		
Multiples Bestimmtheitsmaß		0.997		

F-Statistik	591400 bei 6 und 9763 Freiheitsgraden, p -Wert = 0
-------------	--

Douglasie:

Koeffizient	Wert	Std. Fehler	t-Wert	Pr(> t)
a_0	-0.5828	0.0251	-23.2380	0.0000
a_1	1.4423	0.0046	315.5793	0.0000
a_2	-2.1807	0.0301	-72.4895	0.0000
b_0	0.4369	0.0135	32.2455	0.0000
b_1	-0.2008	0.0025	-79.1233	0.0000
b_2	-0.2836	0.0167	-17.0032	0.0000
Residual Std. Fehler (mm)		0.5274 bei 28350 Freiheitsgraden		
Multiples Bestimmtheitsmaß		0.9970		
F-Statistik		1575000 bei 6 und 28350 Freiheitsgr., p -Wert = 0		

Kiefer:

Koeffizient	Wert	Std. Fehler	t-Wert	Pr(> t)
a_0	-1.7258	0.0194	-88.9947	0.0000
a_1	1.3311	0.0072	185.5373	0.0000
a_2	-0.7016	0.0350	-20.0722	0.0000
b_0 n. signifikant				
b_1	-0.2142	0.0035	-60.5993	0.0000
b_2	0.1306	0.0188	6.9432	0.0000
Residual Std. Fehler (mm)		0.4822 bei 10723 Freiheitsgraden		
Multiples Bestimmtheitsmaß		0.9976		
F-Statistik		882000 bei 5 und 10723 Freiheitsgraden, p -Wert = 0		

Einwuchsmodell

Java Klasse: *treegross.base.Ingrowth2*

Die Bestandesfläche wird mit einem Raster mit 500 m² großen quadratischen Rasterflächen überzogen. Zunächst wird für jede Rasterfläche geschätzt, ob eine Wahrscheinlichkeit (pE) besteht, dass Einwuchs vorkommt. Die Wahrscheinlichkeit wird in Abhängigkeit von der führenden Hauptbaumart und der c66-Klasse (c66kL) – dem Lichtangebot - geschätzt. Für die Berechnung von c66kl wird die Kronenschirmfläche aller Bäume, die die Rasterfläche bedecken, berücksichtigt. Die Klassenbreite der c66kl-Werte beträgt 0.2 und der höchste Klassenwert 2.5.

$$pE = p0 \cdot c66kl^{p1}$$

Führende Baumart	p0	p1
Eiche	0.237	-0.6551
Buche	0.2551	-0.5288
ALH/ALN	0.2446	-0.4435
Fichte	0.1659	-0.6086
Douglasie	0.1800	-0.8022
Kiefer	0.2946	-0.2795
Lärche	0.2829	-0.7482

Ist eine gezogene Zufallszahl zwischen 0 und 1 größer als pE, so die Anzahl der Einwachser geschätzt. Im anderen Fall wird die Einwuchsroutine für die Rasterfläche abgebrochen.

Anzahl der einwachsenden Bäume nE ($BHD \geq 7\text{cm}$) wird für jede 500m^2 große Rasterfläche in Abhängigkeit vom Lichtangebot berechnet. Das Lichtangebot wird durch die C66-Klasse ausgedrückt. Im Programm wird nE in eine ganze Zahl (Integer) konvertiert. Die Funktion gibt damit ganze Bäume zurück.

$$nE = e^{p0 + p1 \cdot c66Kl}$$

Führende Baumart	p0	p1
Eiche	3.2874	-1.1275
Buche	3.14664	-0.94789
ALH/ALN	2.80772	-0.87383
Fichte	2.7331	-0.7096
Douglasie	2.7331	-0.7096
Kiefer	2.9338	-1.1701
Lärche	2.5012	-0.4793

Im nächsten Schritt werden nun nE -Bäume für die 500m^2 große Rasterfläche erzeugt. Dabei wird für jeden Baum die Baumart, das Alter und die Starthöhe in Abhängigkeit der führenden Baumart und des $c66kl$ zufällig festgelegt. Die folgenden Tabellen sind dabei, wie an einem 2 Beispielen erläutert wird, zu nutzen:

- 1) Es soll ein Baum auf einer Rasterfläche einwachsen. Die führende Baumart ist Fichte und der C66-Klassenwert beträgt $c66kl=0.5$. Es wird eine Zufallszahl zwischen 0 und 1 gezogen, ihr Wert sei 0.45. In der Tabelle „Führende Baumart Fichte Teil 1“ sucht man nun die Spalte $c66kl=0.5$ und liest nach rechts die p-Werte bis 0.45 überschritten wird. Dies ist in der Tabelle „Teil 1“ nicht der Fall, daher geht man in die Tabelle „Führende Baumart Fichte Teil 2“ und liest weiter. Der erste Wert der Spalte Art=511 überschreitet den Wert der Zufallszahl. Somit ist die Baumart 511=Fichte für den Einwachser festgelegt. Das Startalter von 20 Jahren steht unter dem p-Wert. Die Starthöhe von 6.7m wird unterhalb der Baumart abgelesen. Sie ist vom $c66kl$ unabhängig. Der Einwachser bekommt einen Durchmesser von 7.0 cm.
- 2) Es soll ein weiterer Baum auf der Rasterfläche (führende Baumart = Fichte, $c66kl=0.5$) einwachsen. Es wird eine neue Zufallszahl gezogen, ihr Wert sei diesmal 0.1. In der Tabelle „Führende Baumart Fichte Teil 1“ sucht man nun wieder die Spalte $c66kl=0.5$ und liest nach rechts die p-Werte bis 0.1 überschritten wird. Der Wert 0.134 der Spalte Art=211 überschreitet den Wert der Zufallszahl. Somit ist die Baumart 211=Buche für den Einwachser festgelegt. Das Startalter beträgt 29 Jahre steht und die Starthöhe von 8.0 m. Die einwachsende Buche bekommt einen Durchmesser von 7.0 cm.

Die Tabellen sind in der Einwachsroutine hinterlegt.

Führende Baumart Eiche

c66kl	Art	111	112	211	221	321	342	411	411	431	451	511	711	731	811
	Höhe	7.0	7.2	7.4	4.6	6.8	6.0	7.2	4.5	5.0	6.4	5.6	6.5	3.1	8.7
0.1	p	0.254	0.724	0.752	0.752	0.752	0.752	0.921	0.970	0.970	0.985	1.00	1.0	1.0	1.0
	Alter	18	11	22	22	22	22	10	10	10	10	20	20	20	20
0.3	p	0.203	0.811	0.849	0.862	0.862	0.862	0.875	0.875	0.888	0.901	0.964	0.989	1.000	1.000
	Alter	18	23	25	14	14	14	23	23	15	19	24	22	25	25
0.5	p	0.177	0.673	0.786	0.821	0.821	0.821	0.835	0.870	0.870	0.898	0.990	0.997	0.997	0.997
	Alter	19	20	23	10	10	10	20	23	23	14	19	26	26	26
0.7	p	0.169	0.662	0.859	0.887	0.887	0.887	0.901	0.901	0.901	0.915	0.985	0.985	0.985	0.999
	Alter	20	22	21	16	16	16	15	15	15	24	25	25	25	15
0.9	p	0.04	0.53	0.76	0.78	0.78	0.78	0.80	0.80	0.80	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00

		3	2	6	7	7	7	8	8	8	1	0	0	0	0
	Alter	22	22	38	25	25	25	19	19	19	22	17	17	17	17
1.1	p	0.21 7	0.60 8	0.84 7	0.89 0	0.89 0	0.93 3	0.93 3	0.93 3	0.93 3	0.95 5	0.99 8	0.99 8	0.99 8	0.99 8
	Alter	18	20	31	23	23	18	18	18	18	20	21	21	21	21
1.3	p	0.00 0	0.33 3	0.66 6	0.66 6	0.66 6	0.77 7	0.77 7	0.77 7	0.77 7	0.99 9	0.99 9	0.99 9	0.99 9	0.99 9
	Alter	0	22	33	23	23	18	18	18	18	28	28	28	28	28
1.5+ >	p	0.00 0	0.25 0	0.62 5	0.75 0	0.87 5	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0	1.00 0
	Alter	0	21	20	23	15	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Führende Baumart Buche (Teil 1)

c66kl	Art	111	112	211	221	311	321	331	342	365
	Höhe	7.4	7.8	7.3	5.5	15.3	9.3	9.2	8.1	8.3
0.1	p	0.007	0.007	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918
	Alter	24	24	18	18	18	18	18	18	18
0.3	p	0.008	0.008	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942
	Alter	22	22	20	20	20	20	20	20	20
0.5	p	0.000	0.008	0.919	0.919	0.919	0.919	0.919	0.919	0.923
	Alter	0	20	22	22	22	22	22	22	19
0.7	p	0.030	0.060	0.872	0.872	0.872	0.885	0.889	0.893	0.893
	Alter	25	26	30	30	30	16	17	18	18
0.9	p	0.046	0.059	0.934	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954
	Alter	26	21	30	16	16	16	16	16	16
1.1	p	0.008	0.008	0.969	0.969	0.969	0.969	0.969	0.969	0.969
	Alter	30	30	33	33	33	33	33	33	33
1.3	p	0.000	0.000	0.961	0.961	0.969	0.969	0.969	0.977	0.977
	Alter	0	0	33	33	37	37	37	24	24
1.5 + >	p	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Alter	0	0	42	42	42	42	42	42	42

Führende Baumart Buche (Teil 2)

c66kl	Art	411	441	451	452	511	513	521	611	711	811
	Höhe	7.0	7.6	6.6	3.2	6.2	6.9	4.5	6.6	6.0	7.1
0.1	p	0.940	0.944	0.944	0.944	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	1.000
	Alter	19	19	19	19	17	17	17	17	17	9
0.3	p	0.965	0.965	0.965	0.965	0.988	0.988	0.988	0.992	0.992	1.000
	Alter	20	20	20	20	18	18	18	10	10	28
0.5	p	0.935	0.935	0.951	0.951	0.991	0.995	0.995	0.995	0.995	1.000
	Alter	39	39	18	18	22	35	35	35	35	23
0.7	p	0.906	0.906	0.906	0.906	0.974	0.974	0.974	0.983	0.992	1.000
	Alter	16	16	16	16	17	17	17	9	17	7
0.9	p	0.954	0.954	0.954	0.954	0.980	0.980	1.000	1.000	1.000	1.000
	Alter	16	16	16	16	22	22	12	12	12	12
1.1	p	0.969	0.969	0.977	0.977	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Alter	33	33	34	34	32	32	32	32	32	32
1.3	p	0.977	0.977	0.985	0.985	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Alter	24	24	37	37	126	126	126	126	126	126
1.5 + >	p	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Alter	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42

Führende Baumarten Alh oder Aln (Teil 1)

c66kl	Art	111	112	211	221	311	321	342	354	411	412	421
	Höhe	7.6	8.1	7.3	3.7	9.3	8.1	8.9	7.3	7.8	8.7	18.6
0.1	p	0.000	0.051	0.229	0.229	0.229	0.263	0.263	0.271	0.618	0.643	0.685
	Alter	0	16	20	20	20	12	12	10	15	33	14
0.3	p	0.116	0.195	0.256	0.262	0.268	0.268	0.268	0.268	0.628	0.701	0.738
	Alter	15	17	20	11	28	28	28	28	17	14	12
0.5	p	0.016	0.016	0.154	0.154	0.154	0.178	0.194	0.194	0.560	0.576	0.592
	Alter	20	20	21	21	21	18	28	28	17	23	28
0.7	p	0.021	0.032	0.117	0.117	0.213	0.266	0.266	0.266	0.745	0.745	0.766
	Alter	40	20	22	22	17	17	17	17	20	20	16
0.9	p	0.000	0.028	0.334	0.334	0.334	0.445	0.445	0.445	0.528	0.528	0.556
	Alter	0	13	21	21	21	32	32	32	33	33	23
1.1	p	0.107	0.107	0.357	0.357	0.393	0.429	0.429	0.429	0.608	0.608	0.679
	Alter	25	25	35	35	52	34	34	34	25	25	18
1.3 + >	p	0.053	0.053	0.421	0.421	0.421	0.474	0.474	0.474	0.579	0.579	0.579
	Alter	25	25	37	37	37	23	23	23	18	18	18

Führende Baumart Buche(Teil 2)

c66kl	Art	430	431	441	451	452	511	513	611	711	811
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Höhe	4.4	9.8	7.5	6.5	5.7	6.3	9.8	7.2	7.5	9.8
0.1	p	0.685	0.685	0.710	0.752	0.752	0.769	0.769	0.769	0.989	0.997
	Alter	14	14	10	11	11	21	21	21	12	17
0.3	p	0.744	0.750	0.768	0.835	0.835	0.939	0.939	0.939	1.000	1.000
	Alter	10	11	9	13	13	14	14	14	16	16
0.5	p	0.592	0.592	0.600	0.706	0.706	0.885	0.893	0.893	0.991	0.999
	Alter	28	28	18	16	16	22	28	28	16	15
0.7	p	0.766	0.766	0.766	0.830	0.830	0.936	0.936	0.957	1.000	1.000
	Alter	16	16	16	19	19	20	20	17	20	20
0.9	p	0.556	0.556	0.556	0.723	0.723	0.890	0.890	0.946	1.000	1.000
	Alter	23	23	23	13	13	22	22	19	33	33
1.1	p	0.679	0.679	0.679	0.715	0.751	0.965	0.965	0.965	1.000	1.000
	Alter	18	18	18	20	15	20	20	20	26	26
1.3 + >	p	0.579	0.579	0.579	0.737	0.737	0.948	0.948	0.948	0.948	1.001
	Alter	18	18	18	22	22	15	15	15	15	15

Führende Baumart Fichte (Teil 1)

c66kl	Art	112	113	211	321	411	412	421	441	451
	Höhe	6.9	8.4	8.0	6.2	7.7	6.8	7.6	7.2	7.6
0.1	p	0.000	0.000	0.065	0.065	0.102	0.102	0.102	0.107	0.107
	Alter	0	0	20	20	14	14	14	19	19
0.3	p	0.031	0.031	0.080	0.080	0.127	0.127	0.132	0.135	0.148
	Alter	22	22	27	27	18	18	12	10	18
0.5	p	0.016	0.020	0.134	0.134	0.250	0.259	0.259	0.259	0.270
	Alter	22	15	27	27	18	20	20	20	17
0.7	p	0.003	0.003	0.152	0.169	0.218	0.218	0.218	0.218	0.256
	Alter	11	11	29	14	22	22	22	22	22
0.9	p	0.000	0.000	0.101	0.101	0.163	0.163	0.163	0.163	0.192
	Alter	0	0	46	46	21	21	21	21	23
1.1	p	0.000	0.000	0.254	0.254	0.282	0.296	0.296	0.296	0.352
	Alter	0	0	43	43	18	18	18	18	22
1.3	p	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Alter	0	0	34	34	34	34	34	34	34
1.5	p	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	Alter	0	0	66	66	66	66	66	66	66

Führende Baumart Fichte (Teil 2)

c66kl	Art	511	512	525	551	611	711	811	812
	Höhe	6.7	5.6	4.2	7.4	5.9	7.9	7.9	10.5
0.1	p	0.986	0.986	0.986	0.986	0.986	1.000	1.000	1.000
	Alter	15	15	15	15	15	15	15	15
0.3	p	0.964	0.967	0.967	0.967	0.972	0.995	1.000	1.000
	Alter	18	29	29	29	11	19	16	16
0.5	p	0.964	0.964	0.964	0.966	0.982	0.995	0.997	1.000
	Alter	20	20	20	5	15	17	15	10
0.7	p	0.950	0.950	0.953	0.953	0.960	0.995	0.998	1.000
	Alter	25	25	15	15	21	22	22	22
0.9	p	0.966	0.966	0.966	0.966	0.980	0.999	0.999	1.000
	Alter	26	26	26	26	29	29	29	29
1.1	p	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Alter	24	24	24	24	24	24	24	24
1.3	p	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Alter	27	27	27	27	27	27	27	27
1.5 + >	p	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Alter	31	31	31	31	31	31	31	31

Führende Baumart Douglasie

c66kl	Art	111	112	211	411	511	611	711
	Höhe	9.5	6.6	7.4	7.4	5.5	7.2	8.7
0.1	p	0	0	0	0	0	1	1
	Alter	0	0	0	0	0	8	8
0.3	p	0.000	0.000	0.018	0.036	0.179	1.000	1.000
	Alter	0	0	12	9	10	8	8
0.5	p	0.000	0.071	0.071	0.071	0.214	0.928	0.999
	Alter	0	18	18	18	20	11	15
0.7	p	0.048	0.048	0.096	0.191	0.381	1.000	1.000
	Alter	15	15	30	15	32	16	16
0.9 + >	p	0	0	0	0	0	1	1
	Alter	0	0	0	0	0	18	18

Führende Baumart Kiefer (Teil 1)

c66kl	Art	111	112	113	211	311	411	412	421	431	441	451
	Höhe	7.4	7.0	6.7	6.9	7.0	7.4	9.4	6.9	2.2	5.9	6.9

0.1	p	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153
	Alter	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20
0.3	p	0.010	0.074	0.074	0.077	0.080	0.202	0.202	0.202	0.202	0.205	0.205
	Alter	20	21	21	20	35	17	17	17	17	15	15
0.5	p	0.005	0.012	0.015	0.024	0.024	0.135	0.154	0.154	0.154	0.154	0.163
	Alter	17	20	12	13	13	20	13	13	13	13	18
0.7	p	0.002	0.007	0.007	0.042	0.042	0.194	0.203	0.205	0.207	0.207	0.230
	Alter	25	22	22	17	17	18	18	20	20	20	21
0.9	p	0.006	0.006	0.006	0.031	0.031	0.156	0.162	0.168	0.168	0.168	0.180
	Alter	25	25	25	14	14	24	15	15	15	15	25
1.1	p	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	Alter	25	25	25	25	25	22	22	22	22	22	22
1.3 + >	p	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Alter	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20

Führende Baumart Kiefer (Teil 2)

c66kl	Art	511	513	531	611	711	811	812
	Höhe	6.1	4.9	3.6	6.2	7.8	7.5	4.4
0.1	p	0.167	0.167	0.167	0.167	1.000	1.000	1.000
	Alter	20	20	20	20	14	14	14
0.3	p	0.384	0.384	0.384	0.387	0.995	0.998	0.998
	Alter	21	21	21	11	18	15	15
0.5	p	0.413	0.415	0.417	0.451	0.996	0.999	1.001
	Alter	22	25	25	14	23	12	10
0.7	p	0.580	0.580	0.580	0.594	0.994	0.999	0.999
	Alter	24	24	24	22	23	18	18
0.9	p	0.680	0.680	0.680	0.711	0.999	0.999	0.999
	Alter	23	23	23	20	25	25	25
1.1	p	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00
	Alter	25	25	25	25	29	29	29
1.3 + >	p	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Alter	20	20	20	20	20	20	20

Führende Baumart Lärche

c66kl	Art	112	211	321	411	421	422	441	451	511	611	711	811	812
	Höhe	6.7	8.3	6.1	7.6	7.1	6.0	9.6	7.1	6.7	7.2	7.6	7.7	8.3
0.1	p	0.083	0.500	0.500	0.750	0.750	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.916	0.999	0.999
	Alter	11	19	19	12	12	12	12	12	12	12	16	16	16
0.3	p	0.022	0.435	0.435	0.522	0.522	0.522	0.544	0.544	0.587	0.739	0.782	0.999	0.999
	Alter	10	20	20	17	17	17	9	9	30	11	20	19	19
0.5	p	0.014	0.405	0.434	0.535	0.564	0.564	0.564	0.636	0.882	0.896	0.925	0.997	0.997
	Alter	23	27	12	18	12	12	12	16	24	20	8	19	19
0.7	p	0.000	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852	0.868	0.901	0.950	0.966	0.982	0.998
	Alter	0	34	34	34	34	34	34	23	28	12	20	22	27
0.9	p	0.000	0.824	0.824	0.883	0.883	0.883	0.883	0.912	0.971	0.971	0.971	1.000	1.000
	Alter	0	32	32	21	21	21	21	15	20	20	20	10	10
1.1+ >	p	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Alter	0	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

Literatur:

- ALBERT, M., 2000: Ein funktionalisierter Höhenenergänzungsalgorithmus für Einzelbaumwachstumsmodelle. Jahrestagung des DVFFA -Sektion Ertragskunde- in Kaiserslautern.
- BAUER 1955: Die Roteiche. J.D.Sauerländer, Frankfurt a.M.
- BERGEL, D. 1985: Douglasienenertragstafel für Nordwestdeutschland. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt.
- BÖCKMANN, T. 1990: Wachstum und Ertrag der Winterlinde (Tilia cordata Mill) in Nordwestdeutschland. Dissertation Univ. Göttingen
- KRAMER, H.; AKÇA; A. 1982: Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.

- Lockow, K.W. (1994): Aufstellung einer neuen Ertragstafel für im Hochwaldbetrieb bewirtschaftete Roterlenbestände (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.). Abschlußbericht Forstliche Forschungsanstalt Eberswalde e.V.
- NAGEL, J. 1985: Wachstumsmodell für Bergahorn in Schleswig-Holstein. Dissertation Univ. Göttingen
- NAGEL, J.; BIGING, G.S. 1995: Schätzung der Parameter der Weibullfunktion zur Generierung von Durchmesserverteilungen. Allg. Forst- u. J. Ztg. 166 (9/10): 185-189
- Nagel, J. (1999): Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, Band 128, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., S.122
- Nagel, J. (2002): Das Open Source Entwicklungsmodell - eine Chance für Waldwachstumssimulatoren. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung Schwarzburg 13-15. Mai 2002, S. 1-6
- Nagel, J.; Albert, M.; Schmidt, M. (2002): Das waldbauliche Prognose- und Entscheidungsmodell BWINPro 6.1. Forst u. Holz 57, (15/16) 486-493
- RÖÖS, M. 1990: Zum Wachstum der Vogelkirsche (*Prunus avium* L.) in Nordrhein-Westfalen und angrenzenden Gebieten. Dissertation Univ. Göttingen
- SCHMIDT, A. 1968: Der rechnerische Ausgleich der Bestandeshöhenkurven. Forstwissenschaftl. Centralblatt, 370-382
- SCHMIDT, M. 2001: Prognosemodelle für ausgewählte Holzqualitätsmerkmale wichtiger Baumarten. Dissertation Univ. Göttingen. S.302 (<http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2002/schmidt/index.html>)
- SCHÖBER, R. 1949: Die Lärche. Schaper, Hannover
- SCHÖBER, R. 1962 Die Sitka-Fichte. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt a.M.
- SCHÖBER, R. 1971: Die Rotbuche. J.D.Sauerländer Frankfurt a.M.
- VOLQUARDTS, G. 1958: Die Esche in Schleswig-Holstein. Dissertation Univ. Göttingen
- Wensel, L., Meerschaert, W.; Biging, G.S. 1987: Tree Height and Diameter Growth Models for Northern California Conifers. Hilgardia, University of California, Volume 55, No. 8
- WESTPHAL, B. 1998: Beschreibung und Modellierung des Wachstums von Japan-Lärchen (*Larix kaempferi*) im Reinbestand. Dissertation Universität Göttingen.
- WIEDEMANN, E.1942: Eine Korrektur an der Fichtenertragstafel von 1936. Mitt.aus Forstwirt. u. Forstwiss. 287-294
- WIEDEMANN, E.1948: Die Kiefer. Schaper Hannover