

## Holz- und Biomassenaufkommensstudie für Österreich – Bedeutung der Baumkrone für die Abschätzung von Zuwachs, Ast- und Nadelmasse

Thomas Ledermann

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Wien  
Institut für Waldwachstum und Waldbau

### Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen der Holz- und Biomassenaufkommensstudie für Österreich<sup>1</sup> soll mit Hilfe des Waldwachstums-simulators PROGNAUS (LEDERMANN 2006) eine Zuwachsprognose für die nächsten 20 Jahre durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang spielt das Kronenverhältnis (CR) eines Baumes eine wichtige Rolle, da es sowohl in der Zuwachs- und Mortalitätsfunktion von PROGNAUS (MONSERUD und STERBA 1996, 1999), als auch in den Funktionen zur Abschätzung der baumindividuellen Ast- und Nadeltrockenmasse (ANTM) als unabhängige Variable Verwendung findet (vgl. ECKMÜLLNER 2006, GSCHWANTNER und SCHADAUER 2006, HOCHBICHLER ET AL. 2006, LEDERMANN und NEUMANN 2006). Anhand der Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) konnten LEDERMANN und GSCHWANTNER (2006) zeigen, dass Biomassefunktionen, die CR als unabhängige Variable verwenden, wesentlich plausiblere Schätzwerte für ANTM eines Bestandes liefern, als jene Funktionen, die lediglich auf dem BHD basieren. Darüber hinaus lässt sich aus CR die Kronenansatzhöhe (KA) eines Baumes bestimmen, die wiederum ein wichtiges Kriterium für der Ausformung eines Baumes in marktkonforme Sortimente darstellt (STERBA ET AL. 2006). Bisher wurde in PROGNAUS ein statisches Modell verwendet, um CR in einem Wertebereich zwischen 0 und 1 anhand von Baum-, Bestandes- und Standortparametern abzuschätzen (HASENAUER und MONSERUD 1996). Bei dieser Vorgangsweise ist es jedoch möglich, dass KA am Ende einer Zuwachsperiode niedriger ist als zu Beginn der Periode. Dies kann vor allem dann vorkommen, wenn starke Ernte- oder Durchforstungseingriffe stattgefunden haben. Die Verwendung eines speziellen Modellansatzes gewährleistet hingegen, dass KA am Ende einer Zuwachsperiode immer zwischen KA am Beginn der Zuwachsperiode und der Baumhöhe (H) am Ende der Periode liegt. Ein solches Modell wurde für die Holz- und Biomassenaufkommensstudie anhand der Daten der ÖWI entwickelt. In der vorliegenden Arbeit wird dieses Modell in seinen Grundzügen vorgestellt und im Kontext mit anderen Modellkonzepten erläutert. Darüber hinaus wird auf Basis unabhängiger Daten von Dauerversuchsflächen überprüft, ob dieser theoretisch plausiblere Modellansatz auch genauere Schätzungen von KA ergibt.

### Modellkonzepte

Bei der Modellierung von KA kann prinzipiell zwischen einem statischen und einem dynamischen Modellansatz unterschieden werden. Beim statischen Ansatz wird KA entweder direkt, oder über CR geschätzt. Als unabhängige Variable kommen dabei Einzelbaum-, Bestandes- oder Standortparameter in Betracht. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass sich zu jedem beliebigen Zeitpunkt KA eines Baumes errechnen lässt, sofern Messwerte für die benötigten unabhängigen Variablen vorliegen. Informationen über die abhängige Variable selbst (z. B. KA zu einem früheren Zeitpunkt) sind dazu nicht erforderlich. Im Gegensatz dazu wird beim dynamischen Modellansatz die Veränderung von KA ( $\Delta KA$ ) innerhalb einer definierten Zeitperiode geschätzt und zum ursprünglichen Wert von KA addiert. Diese Vorgangsweise setzt jedoch voraus, dass KA zum Ausgangszeitpunkt bekannt ist. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die gebräuchlichsten Modellkonzepte zur Abschätzung von KA. Für die vorliegende Studie wurde der Ansatz von HANN und HANUS (2004) gewählt. Dieser Ansatz besteht aus einer modifizierten Form der logistischen Gleichung, worin der Zähler, bestehend aus der Kronenlänge (KL) zum Ausgangszeitpunkt und dem in der Zuwachsperiode geleisteten Höhenzuwachs (ih), den Maximalwert von  $\Delta KA$  vorgibt. Der Nenner dieser Gleichung bestimmt dann wie viel vom Maximalwert realisiert wird. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass KA am Ende einer Zuwachsperiode immer zwischen KA am Beginn der Zuwachsperiode und H am Ende der Periode liegt.

<sup>1</sup> Hintergründe, Ausgangssituation und methodische Ansätze zu dieser Studie finden sich bei NEUMANN und SCHADAUER (2007).

**Tabelle 1:** Beispiele für verschiedene Modellansätze zur Schätzung der Kronenansatzhöhe (KA).

| Modellansatz | Gleichung                                                                                                         | Autor(en)                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Statisch     | $KA = h \cdot e^{b_0 \cdot h^{b_1} \cdot (BHD + b_2)^{b_3}}$                                                      | EK und MONSERUD (1974)        |
|              | $KA = h \cdot \left( 1 - e^{-(c_1 + c_2 \cdot \frac{h}{BHD})^2} \right)$                                          | NAGEL (1999)                  |
|              | $KA = h \cdot \left( 1 - e^{-(a_0 + a_1 \cdot \frac{h}{BHD} + a_2 \cdot BHD)} \right)$                            | PRETZSCH (2001)               |
|              | $CR = \frac{1}{1 + e^{a_0 + \sum b_i \cdot SIZE_i + c_1 \cdot BAL + c_2 \cdot \ln(CCF) + \sum s_j \cdot SITE_j}}$ | HASENAUER und MONSERUD (1996) |
| Dynamisch    | $\Delta KA = b_0 \cdot T^{b_5} \cdot h^{b_1} \cdot e^{b_2 \cdot CR^{0.5} + b_3 \cdot CI + b_4 \cdot A}$           | SHORT und BURKHART (1992)     |
|              | $\Delta KA = b_0 \cdot h^{b_1} \cdot e^{b_2 \cdot CR^{0.5} + b_3 \cdot CI + b_4 \cdot A}$                         | HASENAUER (1994)              |
|              | $\Delta KA = \frac{b_1 \cdot KL + b_2 \cdot ih}{1 + e^{b_3 + b_4 \cdot CCCB}}$                                    | KRUMLAND und WENSEL (1981)    |
|              | $\Delta KA = \frac{KL + ih}{1 + e^{b_0 + b_1 \cdot \ln(CR) + b_2 \cdot CR + b_3 \cdot A + b_4 \cdot \ln(CCF)}}$   | HANN und HANUS (2004)         |

KA ... Kronenansatzhöhe, CR ... Kronenverhältnis, h ... Baumhöhe, BHD ... Brusthöhendurchmesser, BAL ... Basal Area in Larger Trees (WYKOFF 1990), CCF ... Crown Competition Factor (KRAJICEK ET AL. 1961), SIZE ... Gruppe von Variablen welche die Baumgröße beschreiben, SITE ... Gruppe von Variablen welche den Standort beschreiben, N ... Stammzahl je Hektar,  $\Delta KA$  ... Veränderung der Kronenansatzhöhe, T ... Variable zur Charakterisierung der Eingriffstärke, CI ... baumindividueller Konkurrenzindex, A ... Baumalter, KL ... Kronenlänge, ih ... Höhenzuwachs, CCCB ... Crown Closure at Crown Base.

### Modellformulierung

Unter Zugrundelegung des Modellansatzes von HANN und HANUS (2004) wurde zunächst folgendes Modell formuliert (Modell 1):

$$\Delta KA = \frac{KL_S + ih}{1 + e^{s_1 \cdot SEEH^2 + b_1 \cdot \ln(BHD_S) + b_2 \cdot h_S + b_3 \cdot \ln(CR_S) + c_1 \cdot KLI_{PDF} \cdot \cos(SL) + c_2 \cdot \frac{BHD_S}{dg_{PDF}} + c_3 \cdot BAI}} \quad (1)$$

mit:  $\Delta KA$  ... Veränderung der Kronenansatzhöhe in 5 Jahren [m], KL ... Kronenlänge [m], ih ... Höhenzuwachs in 5 Jahren [m], SEEH ... Seehöhe [hm], BHD ... Brusthöhendurchmesser [cm], h ... Baumhöhe [m], CR ... Kronenverhältnis, KLI ... ein Index der die Kronenkonkurrenz in vertikaler Richtung beschreibt, SL ... Geländeneigung, dg ... Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm], BAI ... Grundflächenzuwachs des Bestandes in 5 Jahren [m<sup>2</sup>/ha]  
Der Index S weist darauf hin, dass es sich bei den betreffenden Variablen um die Werte zu Beginn der Zuwachsperiode handelt. Der Index PDF bedeutet, dass die jeweilige Variable nach einem etwaigen Nutzungseingriff berechnet wird.

Um die Effekte von Durchforstungseingriffen beschreiben zu können, wurde in einem zweiten Schritt Gleichung 1 um einen Term erweitert, der sich aus der Bestandesgrundfläche vor bzw. nach dem Eingriff ergibt. Das erweiterte Modell lautet folgendermaßen (Modell 2):

$$\Delta KA = \frac{(KL_S + ih) \cdot (G_{PDF} / G_{ADF})^{0.5}}{1 + e^{s_1 \cdot SEEH^2 + b_1 \cdot \ln(BHD_S) + b_2 \cdot h_S + b_3 \cdot \ln(CR_S) + c_1 \cdot KLI_{PDF} \cdot \cos(SL) + c_2 \cdot \frac{BHD_S}{dg_{PDF}} + c_3 \cdot BAI}} \quad (2)$$

wobei:  $G_{PDF}$  ... Grundfläche nach dem Eingriff [m<sup>2</sup>/ha]  
 $G_{ADF}$  ... Grundfläche vor dem Eingriff [m<sup>2</sup>/ha]

In einem dritten Schritt wurde das Modell abermals erweitert, wobei diese Erweiterung sicherstellen sollte, dass sich KA nur dann verändert, wenn es im Bestand Kronenkonkurrenz in vertikaler Richtung gibt. Modell 3 lautet wie folgt:

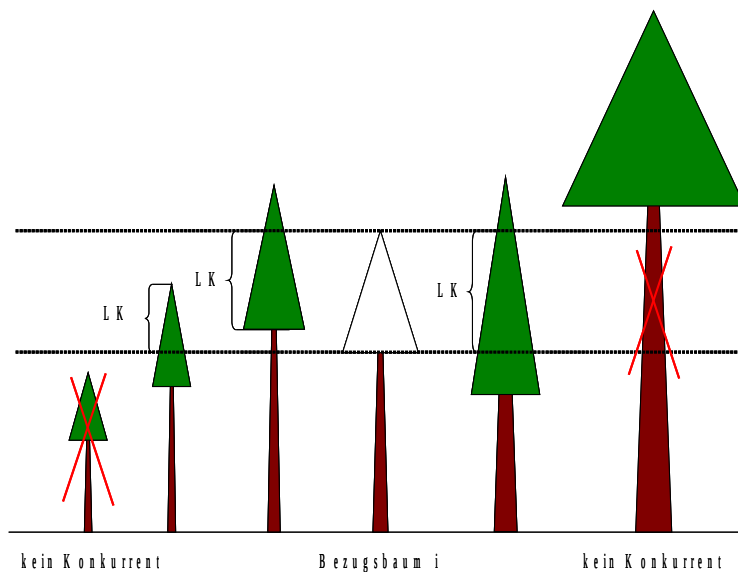
$$\Delta KA = \frac{(KL_S + ih) \cdot (G_{PDF} / G_{ADF})^{0.5} \cdot (1 - e^{c_4 \cdot KLI_{PDF} \cdot \cos(SL)})}{1 + e^{\frac{s_1 \cdot SEEH^2 + b_1 \cdot \ln(BHD_S) + b_2 \cdot h_S + b_3 \cdot \ln(CR_S) + c_1 \cdot KLI_{PDF} \cdot \cos(SL) + c_2 \cdot \frac{BHD_S}{dg_{PDF}} + c_3 \cdot BAI}{}}} \quad (3)$$

Zur Beschreibung der Kronenkonkurrenz in vertikaler Richtung wurde ein Kronenlängenindex (KLI) definiert, der sich folgendermaßen berechnet:

$$KLI_i = \frac{1}{KL_i} \sum_{k=1}^{N_k} LK_k \cdot TM_k \quad (4)$$

mit:  $KLI_i$  ... Kronenlängenindex des Bezugsbaumes  $i$ ,  $KL_i$  ... Kronenlänge des Bezugsbaumes  $i$  [m],  
 $LK_k$  ... Überlappungslänge des Konkurrenten  $k$  [m],  $TM_k$  ... baumartenspezifischer Transmissionskoeffizient (PRETZSCH 2001),  
 $N_k$  ... Anzahl der Konkurrenten

Für die Berechnung von KLI werden nur jene Bäume als Konkurrenten herangezogen, die mit ihrer Krone in den Kronenbereich des Bezugsbaumes hineinragen. Bäume, deren Krone zur Gänze entweder unter dem Kronenansatz oder über der Höhe des Bezugsbaumes liegt, werden in die Berechnung von KLI nicht miteinbezogen (Abb. 1). Im ebenen Gelände ist dieser Index ein einfaches Maß für die vertikale Kronenkonkurrenz. Im steilen Gelände müsste aber über die Geländeneigung und die genaue Position der Bäume der Höhenunterschied zwischen den Baumstandpunkten berücksichtigt werden. Da jedoch die Baumpositionen meist nicht bekannt sind, wird KLI unabhängig von der Geländeneigung so berechnet, als stünden alle Bäume auf gleichem Geländeniveau. Einer dadurch bedingten, verzerrten Abbildung der vertikalen Kronenkonkurrenz im geneigten Gelände wird durch die Multiplikation von KLI mit dem Kosinus der Geländeneigung ( $\cos(SL)$ ) entgegengewirkt. Der Effekt von KLI in den Modellen 1-3 wird daher nur im ebenen Gelände voll wirksam, im steilen Gelände wird sein Einfluss in Abhängigkeit von der Geländeneigung reduziert.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Konkurrentenauswahl zur Berechnung des Kronenlängenindex (KLI).

#### Daten und Methoden

Zur Schätzung der Koeffizienten der Modelle 1-3 standen insgesamt 2422 Fichten aus dem Datenpool der ÖWI zur Verfügung, bei denen wiederholte Messungen von KA vorlagen. Der Zeitraum zwischen den beiden Messungen betrug zwischen 17 und 19 Jahre. Die für diese Zeiträume bestimmte Veränderung von KA wurde proportional auf einen Zeitraum von 5 Jahren umgerechnet, um die Kompatibilität mit den übrigen Schätzfunktionen von PROGNAUS zu gewährleisten. Bei der Berechnung des 5-jährigen Bestandeszuwachs (BAI) wurde in analoger Weise vorgegangen. Die Koeffizientenschätzung erfolgte mittels nicht-linearer Regression in SAS. Die Modellgüte wurde anhand eines Index of Fit, der den durch das Modell erklärten Anteil der Varianz in der abhängigen Variable angibt (SHORT und BURKHART 1992), und auf Basis des Standardfehlers des Schätzwertes ( $S_E$ ) beurteilt.

Für die Validierung der Modelle standen unabhängige Daten von Dauerversuchsflächen aus drei verschiedenen Regionen Österreichs zur Verfügung. Voraussetzung für die Verwendbarkeit dieser Daten war, dass sie zu zwei

aufeinander folgenden Zeitpunkten vollständige Messungen von BHD, Höhe und Kronenansatz aufwiesen. Beim Versuch „Arnoldstein“ handelt es sich um eine Versuchsanlage des Instituts für Waldwachstum und Waldbau des BFW Wien, während die Daten der Versuchsflächen „Hirschlacke“ und „Litschau“ vom Institut für Waldwachstumsforschung der Universität für Bodenkultur (BOKU) zur Verfügung gestellt wurden. Weitere Informationen über diese Versuchsanlagen finden sich in Tabelle 2.

**Tabelle 2:** Übersicht über die zur Validierung herangezogenen Datensätze.

| Versuch       | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| „Arnoldstein“ | Fichtenreinbestand, Alter 30 Jahre, Fläche 0.2 ha<br>Versuchsziel: Langfristige Untersuchung des Wachstums von Aufforstungen von Fichte unter räumlich und zeitlich unterschiedlichen Immissionsbedingungen.<br>Beobachtungszeitraum für Validierung: 7 Jahre<br>Datenhalter: Institut für Waldwachstum und Waldbau (BFW)     |
| „Hirschlacke“ | Fichtendominierter Mischbestand, Alter 110 Jahre (1977), Fläche 3.5 ha<br>Versuchsziel: Überführung von Altersklassenwäldern in Plenterwälder durch Zielstärkennutzung.<br>Beobachtungszeitraum für Validierung: 10 Jahre<br>Datenhalter: Institut für Waldwachstumsforschung (BOKU)                                          |
| „Litschau“    | 13 Probeflächen in Fichten-Kiefern-Mischbeständen,<br>Alter: 30 – 110 Jahre (1977), Flächengröße: 0.04 – 0.1225 ha<br>Versuchsziel: Beobachtung des Einzelbaumwachstums bei unterschiedlich starker Freistellung<br>Beobachtungszeitraum für Validierung: 10 Jahre<br>Datenhalter: Institut für Waldwachstumsforschung (BOKU) |

### Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Koeffizientenschätzung sind in Tabelle 3 angeführt. Mit Ausnahme von  $c_2$  in den Modellen 1 und 2 waren alle Koeffizienten signifikant verschieden von 0 ( $\alpha = 0.05$ ). Zu beachten ist, dass der Koeffizient  $c_4$  nur im Modell 3 getestet wurde. Der Index of Fit betrug 0.29 bei den Modellen 1 und 2 bzw. 0.31 bei Modell 3. Ähnlich verhält es sich beim Standardfehler des Schätzwertes ( $S_E$ ). Dieser lag bei den Modellen 1 und 2 bei 0.77, beim Modell 3 betrug er 0.76. All diese Werte liegen durchaus im Bereich von vergleichbaren Untersuchungen. Das Modell von HASENAUER (1994) wies zum Beispiel einen Index of Fit von 0.37 ( $S_E = 0.9$ ) auf. Die Werte bei HANN und HANUS (2004) reichten von 0.25 bis 0.51 ( $S_E$  von 1.39 bis 1.73). Bei SHORT und BURKHART (1992) lagen sie zwischen 0.15 und 0.22 ( $S_E$  von 0.88 bis 0.97).

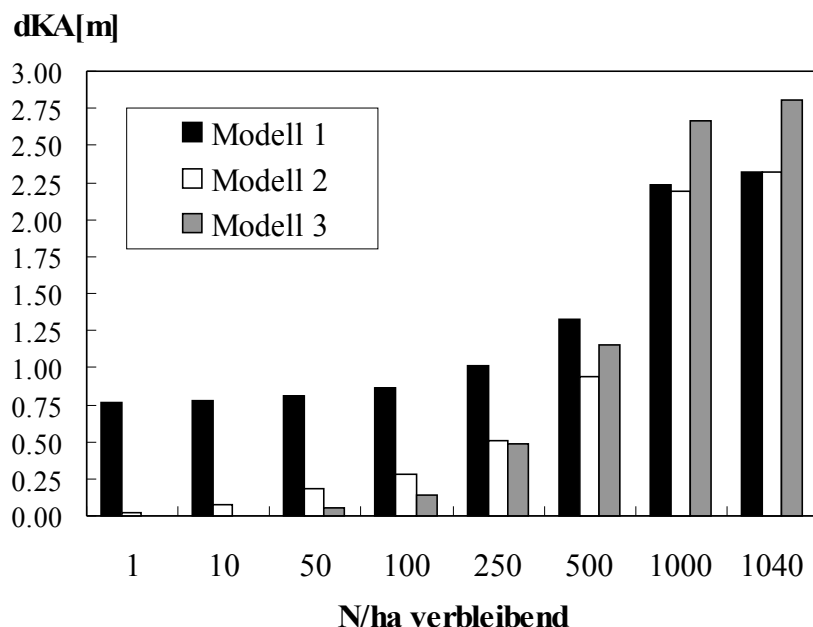
**Tabelle 3:** Ergebnisse der Koeffizientenschätzung.

| Koeffizient  | Modell 1  | Modell 2  | Modell 3  |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| $s_1$        | 0.004160  | 0.004280  | 0.004190  |
| $b_1$        | 0.893500  | 0.873920  | 0.655080  |
| $b_2$        | -0.021160 | -0.019699 | -0.030040 |
| $b_3$        | -0.622426 | -0.604434 | -0.965108 |
| $c_1$        | -0.000409 | -0.000434 | -0.000228 |
| $c_2$        |           |           | 0.207120  |
| $c_3$        | -0.040998 | -0.037854 | -0.036984 |
| $c_4$        |           |           | -0.004262 |
| Index of Fit | 0.29      | 0.29      | 0.31      |
| $S_E$        | 0.77      | 0.77      | 0.76      |

Anhand der Versuchsfläche „Arnoldstein“ wurde das Modellverhalten der drei neuen Modelle bei verschiedenen starken Durchforstungseingriffen überprüft. Die Versuchsfläche wies eine Grundfläche von 40.3 m<sup>2</sup>/ha und eine Stammzahl von 1040 Bäumen je Hektar auf. Auf dieser Probefläche wurde zunächst ein Baum ausgewählt, der in etwa den Mittelstamm des Bestandes repräsentierte. Danach wurde die Ausgangsstammzahl rechnerisch auf verschiedene Stammzahlen abgesenkt und die Veränderung der Kronenansatzhöhe (dKA) für den ausgewählten Baum mit jedem der drei neuen Modelle abgeschätzt (Abb. 2). Bei der Anwendung von Modell 1 zeigte sich, dass sich der Kronenansatz des Baumes in den nächsten 5 Jahren selbst dann um ca. 0.75 m nach oben verschiebt, wenn dieser Baum als einziger auf einer Fläche von einem Hektar belassen wird. Bei Modell 3 kommt es in diesem Fall zu keiner, bei Modell 2 nur zu einer sehr geringen Verlagerung des Kronenansatzes. Zu einer von der Größenordnung in etwa vergleichbaren Verschiebung des Kronenansatzes kommt es bei Modell 2 erst dann, wenn in diesem Bestand 500 Stämme je Hektar verbleiben. Zu der stärksten Verschiebung des Kronenansatzes kommt es beim Modell 3 unter der Annahme, dass in den Bestand nicht oder nur sehr schwach eingegriffen wird.

Die Ergebnisse der Modellvalidierung (Tab. 4) zeigen, dass in Arnoldstein die Kronenansatzhöhe im Durchschnitt nach einer siebenjährigen Wachstumsperiode vom Modell 1 geringfügig (3.3 cm) unterschätzt, vom Modell 3

geringfügig (3.5 cm) überschätzt wird. Dagegen fallen bei Modell 2 bzw. beim statischen Modell von HASENAUER und MONSERUD (1996) die Absolutbeträge der systematischen Abweichungen etwas größer aus. So unterschätzt Modell 2 die Kronenansatzhöhe um ca. 26 cm während das Modell von HASENAUER und MONSERUD (1996) die Kronenansatzhöhe um ca. 41 cm überschätzt. In der „Hirschlacke“ kommt es nach einer zehnjährigen Wachstumsperiode bei allen Modellen zu einer systematischen Unterschätzung der Kronenansatzhöhe, die bei den neu entwickelten Modellen zwischen 47 und 69 cm, beim Modell von HASENAUER und MONSERUD (1996) hingegen bei 5.46 m liegt (Tab. 4). Insbesondere dickere Bäume mit einem höheren Kronenansatz werden in der „Hirschlacke“ deutlich unterschätzt (Abb. 3).



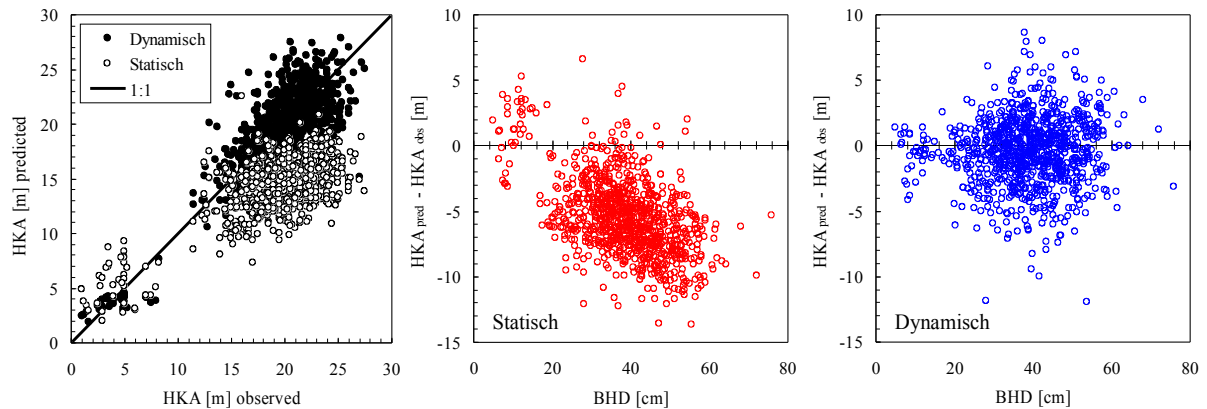
**Abbildung 2:** Veränderung der Kronenansatzhöhe (dKA) nach einer Wachstumsperiode von 5 Jahren für einen Baum mit BHD = 22.2 cm, Höhe = 17.1 m, und CR = 0.62 bei der Absenkung der Ausgangsstammzahl von 1040 auf die auf der X-Achse angeführte verbleibende Stammzahl.

**Tabelle 4:** Statistische Kennzahlen der Modellvalidierung.

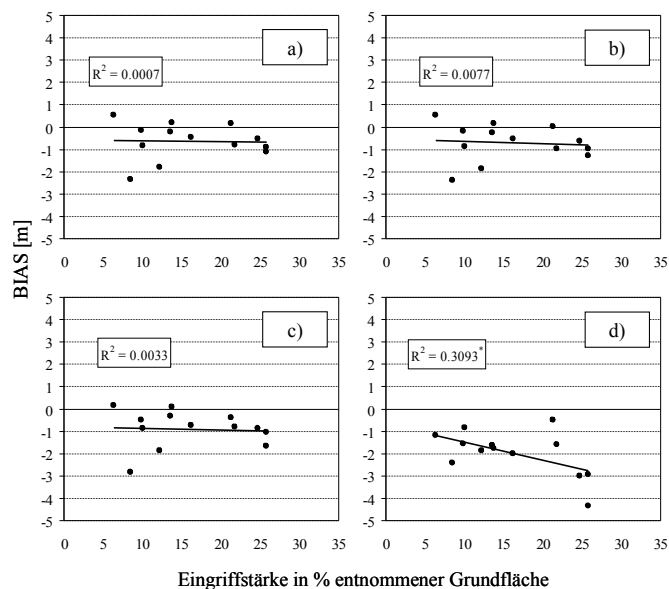
| Datensatz/Modell         | n   | BIAS [m] | Std.  | t-Wert | Prob >  t |
|--------------------------|-----|----------|-------|--------|-----------|
| <b>„Arnoldstein“</b>     |     |          |       |        |           |
| Modell 1                 | 122 | -0.033   | 1.070 | -0.34  | 0.732     |
| Modell 2                 | 122 | -0.263   | 1.074 | -2.70  | 0.008     |
| Modell 3                 | 122 | 0.035    | 1.069 | 0.37   | 0.715     |
| Altes statisches Modell* | 122 | 0.407    | 1.559 | 2.88   | 0.005     |
| <b>„Hirschlacke“</b>     |     |          |       |        |           |
| Modell 1                 | 913 | -0.470   | 2.597 | -5.47  | 0.000     |
| Modell 2                 | 913 | -0.495   | 2.604 | -5.75  | 0.000     |
| Modell 3                 | 913 | -0.686   | 2.636 | -7.86  | 0.000     |
| Altes statisches Modell* | 913 | -5.462   | 2.963 | -55.69 | 0.000     |

\* HASENAUER und MONSERUD (1996)

Auch auf den 13 Probestellen in Litschau zeigte sich grundsätzlich ein ähnliches Bild hinsichtlich der Modellvalidierung, dass nämlich die, gemessen am Absolutbetrag stärksten Unterschätzungen der Kronenansatzhöhe überwiegend beim alten statischen Kronenmodell auftreten. Aufgrund des Versuchsziels dieser Versuchsanlage (Wachstum bei unterschiedlich starker Freistellung) konnte mit Hilfe dieser Daten überprüft werden, ob zwischen dem Modellbias und der Eingriffstärke ein Zusammenhang besteht. Dazu wurde für jede Probestelle das Grundflächenentnahmeprozent (als Maß für die Eingriffstärke) ermittelt, und im Anschluss daran der Modellbias über der Eingriffstärke aufgetragen. Dabei zeigte sich, dass zwar bei keinem der drei neuen Modelle, jedoch beim statischen Modell ein signifikanter ( $\alpha = 0.05$ ) Zusammenhang zwischen dem Modellbias und der Eingriffstärke besteht (Abb. 4).



**Abbildung 3:** Vergleich eines neuen dynamischen Modells (Modell 1) mit dem statischen Modell von HASENAUER und MONSERUD (1996) in der „Hirschlacke“ nach einer 10-jährigen Wachstumsperiode.



**Abbildung 4:** Zusammenhang zwischen Modellbias und Eingriffstärke anhand der Versuchsreihe „Litschau“. a) Modell 1, b) Modell 2, c) Modell 3, und d) statisches Modell von HASENAUER und MONSERUD (1996).

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass das im Waldwachstumssimulator PROGNAUS bisher verwendete statische Kronenmodell von HASENAUER und MONSERUD (1996) die Kronenansatzhöhen in fast allen Fällen systematisch unterschätzt, mit einer Ausnahme („Arnoldstein“) auch systematisch überschätzt. Die Unterschätzungen fallen dabei umso größer aus, je dicker die Bäume und umso stärker die Eingriffe in den Bestand sind. Die im Rahmen der Holz- und Biomassenaufkommensstudie neu entwickelten dynamischen Kronenmodelle ergeben zum Teil ebenfalls systematische Unterschätzungen der Kronenansatzhöhe, der Absolutbetrag dieser Unterschätzungen ist jedoch in jedem Falle beträchtlich kleiner als beim statischen Modell, und wesentlich seltener signifikant verschieden von 0. In Bezug auf extreme Eingriffstärken scheinen die neuen Modelle 2 und 3 gegenüber dem Modell 1 ein plausibleres Modellverhalten zu zeigen, was allerdings einen geringfügig größeren BIAS bei schwachen bis mittelstarken Eingriffen bzw. in strukturierten, mehrschichtigen Beständen zur Folge haben dürfte. Ob diese Folgerung tatsächlich richtig ist, muss jedoch noch an besser geeigneten Daten überprüft werden. Darüber hinaus wäre auch noch zu quantifizieren, welche Auswirkungen die dynamischen Kronenmodelle auf die Schätzung der Ast- und Nadel trockenmasse bzw. auf die Zuwachsschätzung in PROGNAUS haben.

### Zusammenfassung

Im Rahmen der Holz- und Biomassenaufkommensstudie für Österreich soll mit Hilfe des Waldwachstumssimulators PROGNAUS (LEDERMANN 2006) eine Zuwachsprognose für die nächsten 20 Jahre durchgeführt werden. Da für diesen Zweck das Kronenverhältnis (CR) eines Baumes eine wichtige Rolle spielt, wurde das bisher verwendete

statische Kronenmodell von HASENAUER und MONSERUD (1996) einer Evaluierung unterzogen. Gleichzeitig damit wurden drei neue dynamische Kronenmodelle aus den Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) entwickelt und anhand von unabhängigen Daten validiert. Dabei zeigte sich, dass das alte statische Kronenmodell die Kronenansatzhöhen insbesondere bei dicken Bäumen sowie auf Flächen mit starken Durchforstungseingriffen deutlich unterschätzt. Die neuen dynamischen Kronenmodell zeigen diesbezüglich bessere Validierungsergebnisse, allerdings ist das Modellverhalten bei extremen Freistellungen noch zu überprüfen. Ebenfalls noch zu überprüfen sind die Auswirkungen der dynamischen Kronenmodelle auf die Schätzung der Ast- und Nadel trockenmasse bzw. auf die Zuwachsschätzung in PROGNAUS.

### Danksagung

Der Autor dankt dem Institut für Waldwachstumsforschung der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) für die gute Zusammenarbeit im Rahmen dieser Studie, insbesondere O. Univ. Prof. DI Dr. Hubert Sterba für die Überlassung der Daten der Versuchsanlagen „Litschau“ und „Hirschlacke“.

### Literatur

- ECKMÜLLNER, O., 2006. Allometric relations to estimate needle and branch mass of Norway spruce and Scots pine in Austria. *Austrian Journal of Forest Science* 123, 7-16.
- EK, A.R. and MONSERUD, R.A., 1974. FOREST: A computer model for simulating the growth and reproduction of mixed species stands. Res.Rep. R2635, Univ. Wisconsin, College of Agriculture and Life Sciences, 90 p.
- GSCHWANTNER, T., SCHADAUER, K., 2006. Branch biomass functions for broadleaved tree species in Austria. *Austrian Journal of Forest Science* 123, 17-34.
- HANN, D.W., HANUS, M.L., 2004. Evaluation of nonspatial approaches and equation forms used to predict tree crown recession. *Canadian Journal of Forest Research* 34, 1993-2003.
- HASENAUER, H., 1994. Zur Modellierung der Kronenlängenveränderung in verschiedenen dichten Fichtenbeständen. *Allg. Forst- u. Jagdzeitung* 165, 88-93.
- HASENAUER, H., MONSERUD, R.A., 1996. A crown ratio model for Austrian forests. *Forest Ecology and Management* 84, 49-60.
- HOCHBICHLER, E., BELLOS, P., LICK, E., 2006. Biomass functions for estimating needle and branch biomass of spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) and branch biomass of beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur* and *petraea*). *Austrian Journal of Forest Science* 123, 35-46.
- KRUMLAND, B., WENSEL, L.C., 1981. A tree increment model system for north coastal California: design and implementation. University of California, Dept. of Forest Conservation, Berkeley, Calif. Cooperative Redwood Yield Research Project. Res. Note 15.
- LEDERMANN, T., 2006. Description of PrognAus for Windows 2.2. In: H. Hasenauer (Ed.), *Sustainable Forest Management - Growth Models for Europe*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, ISBN 3-540-26098-6, pp. 71-78.
- LEDERMANN, T., GSCHWANTNER, T., 2006. A comparison of selected Austrian biomass equations. *Austrian Journal of Forest Science* 123, 167-183.
- LEDERMANN, T., NEUMANN, M., 2006. Biomass equations from data of old long-term experimental plots. *Austrian Journal of Forest Science* 123, 47-64.
- MONSERUD, R.A., STERBA, H., 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *Forest Ecology and Management* 80, 57-80.
- MONSERUD, R.A., STERBA, H., 1999. Modelling individual tree mortality for Austrian forest species. *Forest Ecology and Management* 113, 109-123.
- NAGEL, J., 1999. Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band 128, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 122 p.
- NEUMANN, M., SCHADAUER, K., 2007. Holz- und Biomassenaufkommensstudie für Österreich – Hintergründe, Ausgangssituation und methodische Ansätze. Tagungsband Sektion Ertragskunde, Alsfeld-Eudorf.
- PRETZSCH, H., 2001. Modellierung des Waldwachstums. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien, 341 p.
- SHORT, E.A., BURKHART, H.E., 1992. Predicting crown-height increment for thinned and unthinned loblolly pine plantations. *Forest Science* 38, 594-610.
- STERBA, H., VOSPERNIK, S., SÖDERBERGH, I. and LEDERMANN, T., 2006. Harvesting Rules and Modules for Predicting Commercial Timber Assortments. In: H. Hasenauer (Ed.), *Sustainable Forest Management - Growth Models for Europe*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, ISBN 3-540-26098-6, pp. 111-129.