

## Modellierung der Baumkronenentwicklung mittels eines ökophysiologischen Prozessmodells

Thomas Rötzer

Im Rahmen des Projekts „Kausalanalytische Beziehungen zwischen Vitalität und Wachstum bei den wesentlichen Wirtschaftsbaumarten auf ausgewählten Level I- und Level II-Beobachtungsflächen“ sollen die ursächlichen Beziehungen zwischen Vitalitäts- und Zuwachsreaktionen unter Einbeziehung äußerer Einflussgrößen dargestellt und das Zusammenwirken von Standortbedingungen, Vitalität und Wachstum beurteilt werden. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse der kausalanalytischen Untersuchungen von den Level II-Flächen auf die Vitalitätsbefunde der Level I Ebene soll geprüft werden.

Die Simulation des Wachstums von Waldbeständen basiert auf dem ökophysiologischen Einzelbaumwachstumsmodell BALANCE (Grote und Pretzsch 2002), dessen schematisierter Ablauf in Abbildung 1 dargestellt ist.

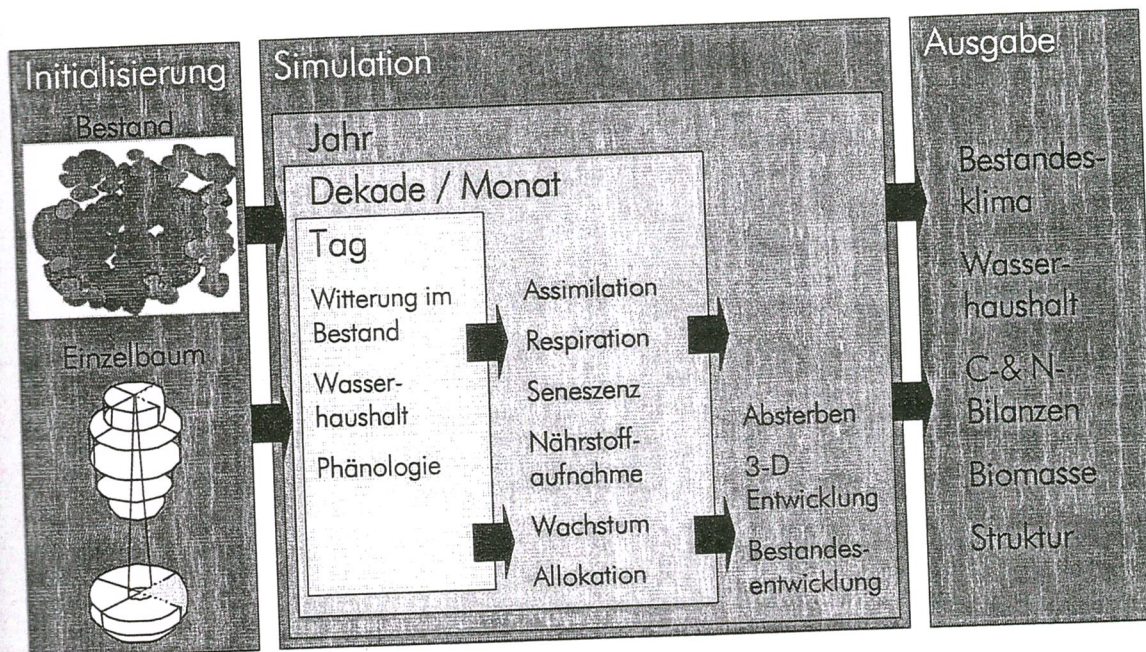
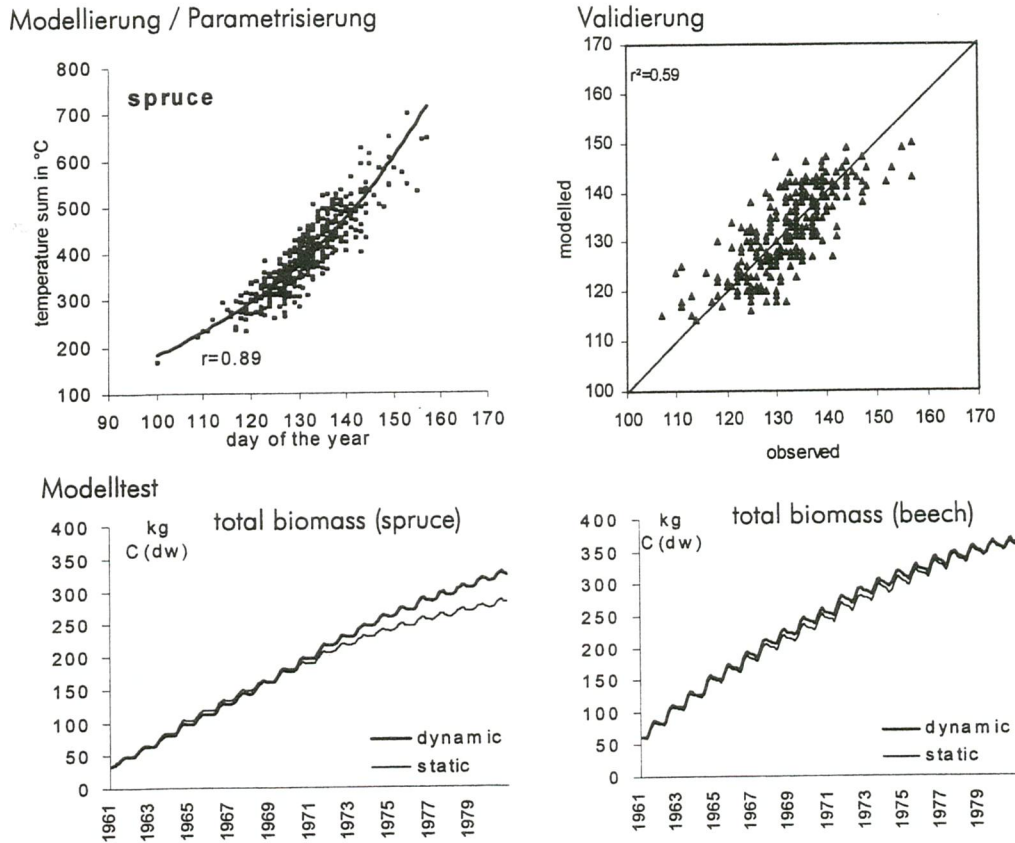


Abb. 1: Schema des Modells BALANCE

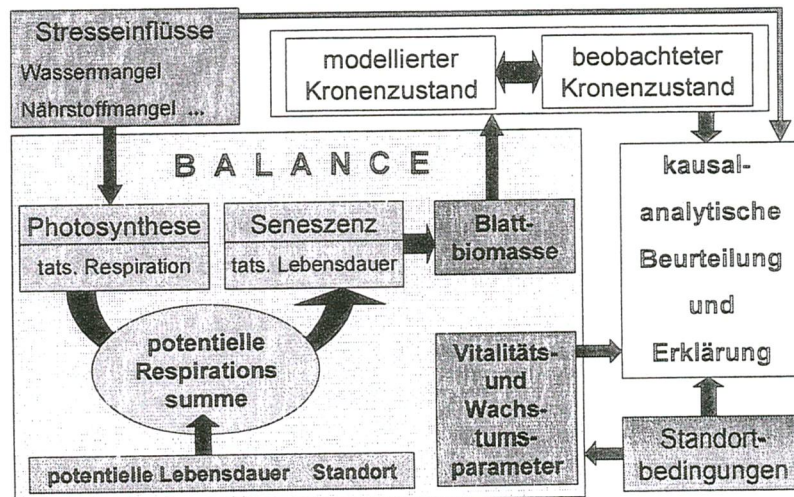
Um den Kronenzustand des Bestandes simulieren zu können, müssen für die Untersuchung entscheidende Module von BALANCE weiterentwickelt bzw. neu programmiert und validiert werden. Das neue Modul ‚Phänologie‘, das den Termin des Blattaustriebs für jede Baumart berechnet, beruht auf dem engen Zusammenhang des Eintritts der phänologischen Phasen im Frühjahr mit der Temperatur (z.B. Chmielewski und Rötzer 2001). Anhand der Tagesmaximumtemperatur konnte ein Verfahren entwickelt und validiert werden (Abbildung 2 oben), das über die Temperatursumme den Beginn des Blattaustriebs berechnet. Modellläufe von BALANCE mit dem eingebauten Modul der dynamisierten Phänologie zeigen z.T. deutliche Unterschiede gegenüber den Ergebnissen von Modellläufen mit den früher verwendeten statischen Phänologiewerten (Abbildung 2 unten).



**Abb. 2:** Modellierung, Parametrisierung, Validierung und Modelltest des Moduls Phänologie (aus Rötzer et al. 2003)

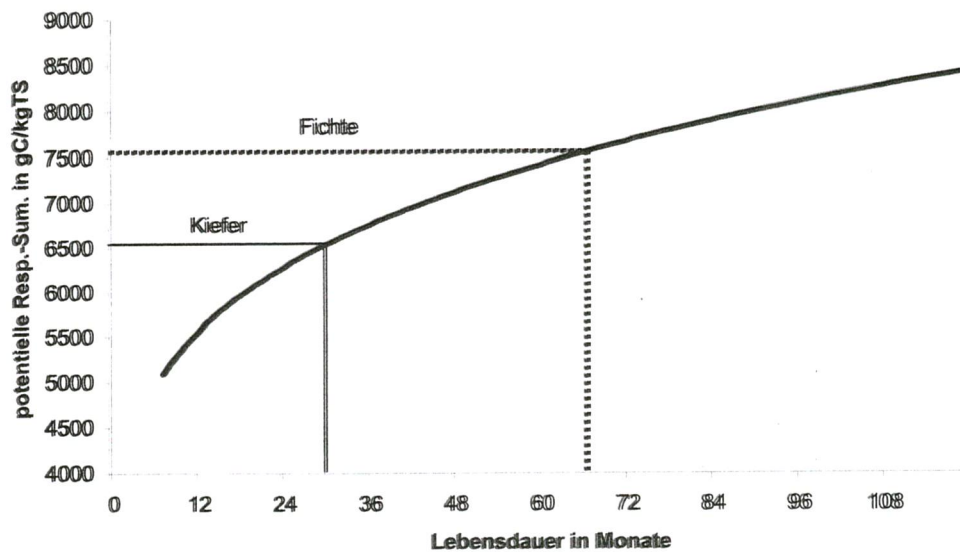
Ob Fichte, Buche, Kiefer oder Eiche von der dynamisierten Phänologie, d.h. von dem witterungsbedingten, zeitlich variablen Austreiben der Blätter oder Nadeln in ihrem Wachstum profitieren, hängt von der Bestandesdichte, dem Mischungsverhältnis, den Baumarten sowie dem zeitlichen Abstand der Austriebstermine der Baumarten in den einzelnen Jahren ab.

Die Modellierung bzw. Parametrisierung sowie die Ergebnisse der Validierung des Phänologie-Moduls erbrachten befriedigende Ergebnisse für die Simulation des Austriebs der Baumarten Fichte, Buche, Kiefer und Eiche, auch gegenüber Ergebnissen aus der Literatur (Rötzer et al. 2003). Im Rahmen der Modellierung des Kronenzustands mittels des ökophysiologischen Prozessmodells BALANCE wurde ein Konzept erarbeitet (Abbildung 3), das auf der Basis der Regressionsbeziehungen nach REICH (2001) das Absterben der einzelnen Blatt- bzw. Nadeljahrgänge an die Respiration koppelt (Abbildung 4).



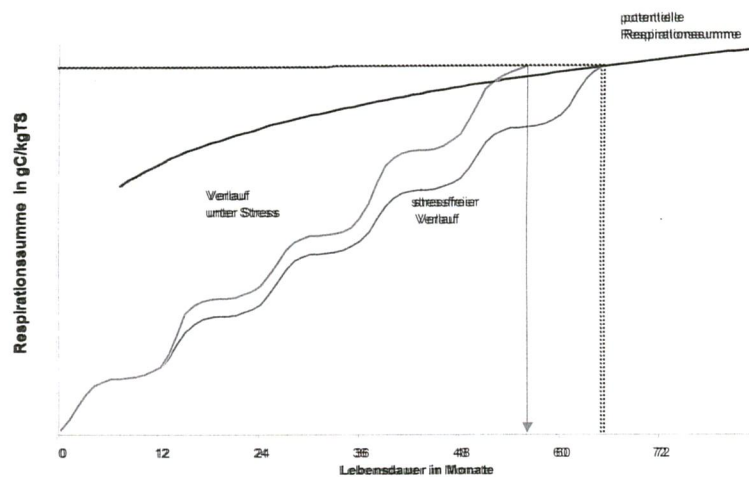
**Abb. 3:** Konzept zur Berechnung der Blatt- bzw. der Nadelseneszenz und Beurteilung des Kronenzustands

Demnach verfügt jeder Blatt- bzw. Nadeljahrgang über eine potentielle Respirationssumme (Abbildung 4), nach deren Überschreiten der jeweilige Jahrgang abstirbt.



**Abb. 4:** Zusammenhang zwischen Lebensdauer und potentieller Respirationssumme für Koniferen (nach Reich 2001)

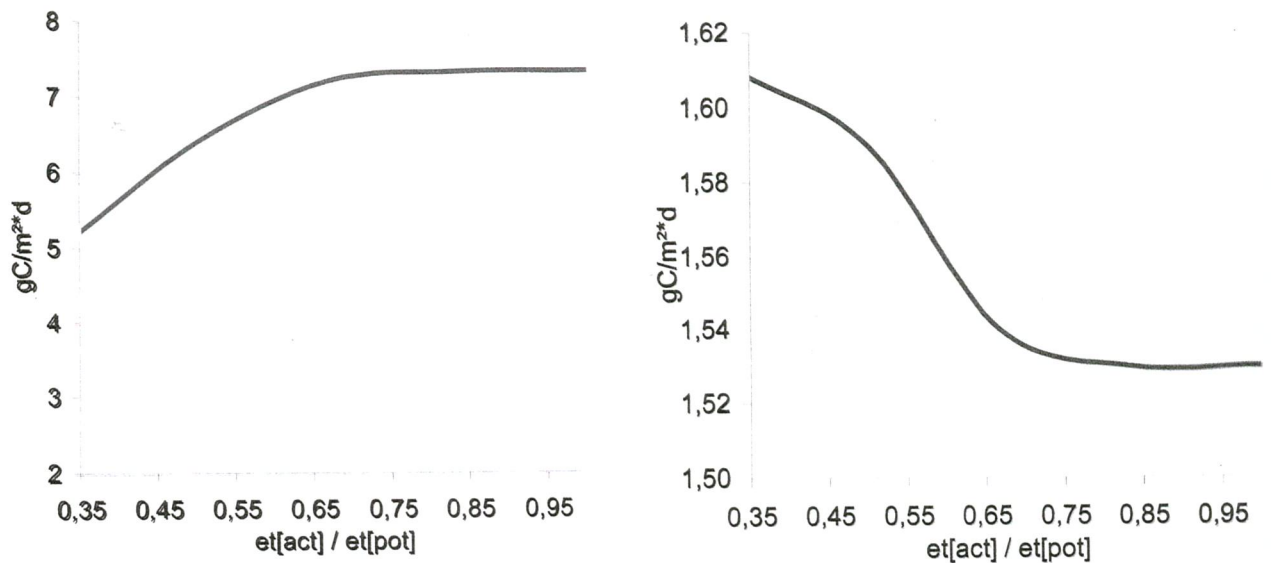
Ohne äußere Einflüsse entspricht die tatsächliche Lebensdauer eines Blattes der potentiellen Lebensdauer. Stresseinflüsse wie Wassermangel, Schadstoffeintrag oder Nährstoffmangel erhöhen jedoch die Respiration, wodurch die potentielle Respirationssumme früher erreicht wird. Die Blätter bzw. Nadeln dieses Jahrgangs werden demnach früher abgeworfen (Abbildung 5).



**Abb. 5:** Schematisierte Darstellung der Nadellebensdauer mit und ohne Stresseinfluss in Abhängigkeit der potentiellen Respirationssumme

Da ein früheres Absterben einzelner Blatt- bzw. Nadeljahrgänge mit einer Veränderung der Blattparameter im Modell einhergeht, die wiederum Grundlage für die Kronenzustandsmodellierung sind, lässt sich auf diese Weise der Kronenzustand in Abhängigkeit von Stresseinflüssen beschreiben. Die Veränderung des Kronenzustands von Jahr zu Jahr sowie von Region zu Region kann damit kausalanalytisch erklärt werden (Abbildung 3).

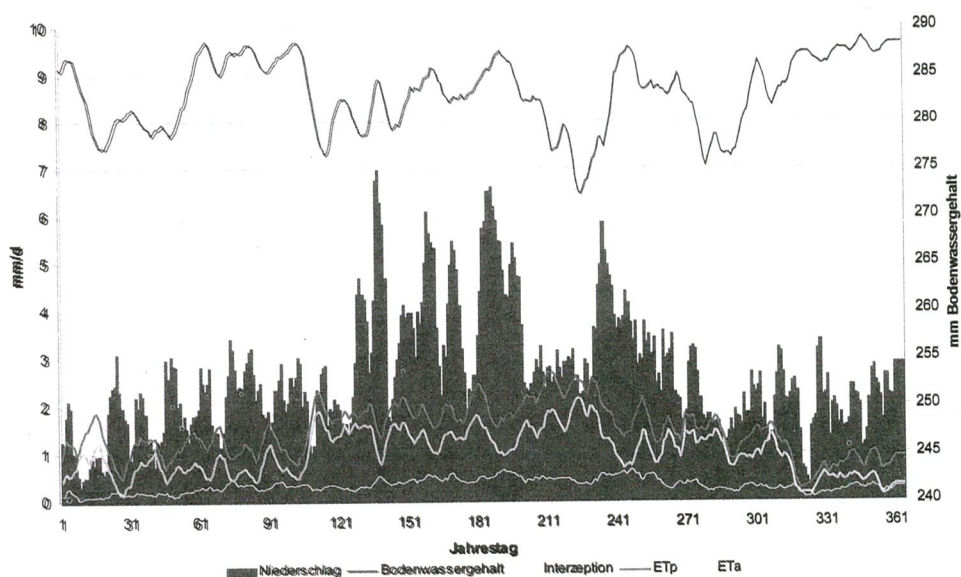
Als Beispiel des Zusammenhangs von Stresseinflüssen auf die Respiration zeigt Abbildung 6 die Auswirkungen von Wassermangel auf die Bruttphotosynthese und die Respiration.



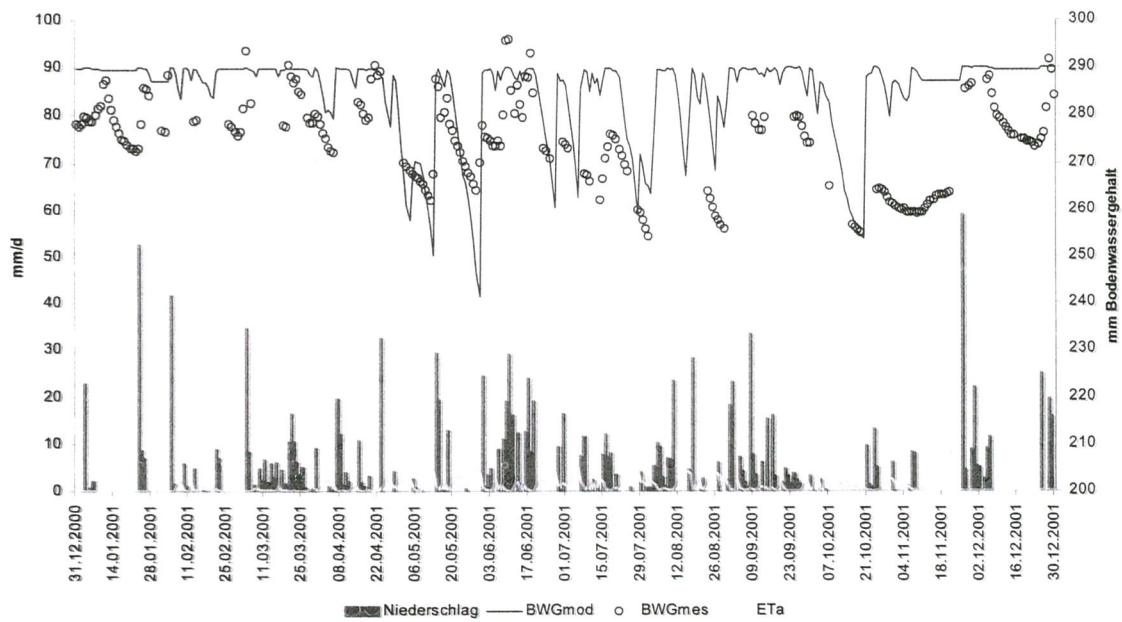
**Abb. 6:** Abhängigkeit der Bruttphotosynthese (links) bzw. der Respiration (rechts) von dem Verhältnis tatsächlicher zu potentieller Verdunstung

Als Indikator von Wasserstress wurde das Verhältnis zwischen tatsächlicher und potentieller Evapotranspiration verwendet. Die Berechnungen wurden mit dem Modell BALANCE für Fichte durchgeführt, wobei sämtliche andere Einflußfaktoren auf die Photosynthese wie Temperatur, PAR, Tageslänge und  $\text{CO}_2$ -Konzentration als konstant angenommen werden. Abbildung 6 zeigt deutlich, dass mit kleiner werdendem Verhältnis von tatsächlicher zu potentieller Verdunstung, d.h. mit zunehmendem Wasserstress, die Respiration ansteigt.

Neben den Strahlungsverhältnissen bildet der Wasserhaushalt (Abbildung 7) die Grundlage der physiologischen Prozesse Transpiration, Assimilation und Respiration. Deshalb wurde zur Validierung des Wachstumsmodells BALANCE zunächst geprüft, ob gemessene und simulierte Bodenwassergehaltswerte übereinstimmen (Abbildung 8).

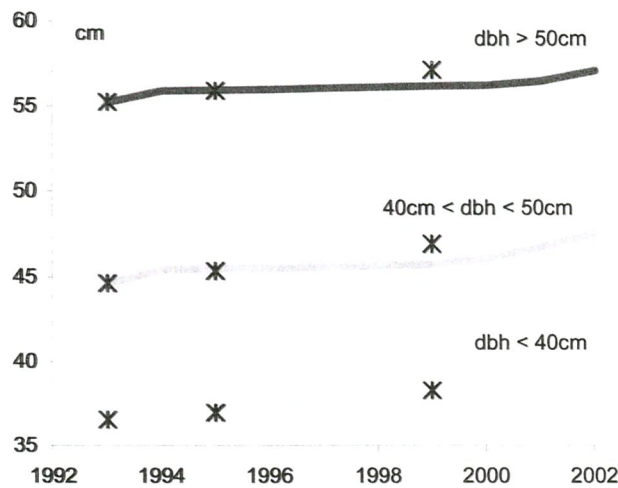


**Abb. 7:** Wasserhaushalt des Level II Standorts Ebersberg (Fichtenreinbestand) im Mittel der Jahre 1993 –2001 (Witterungsdaten: Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft)



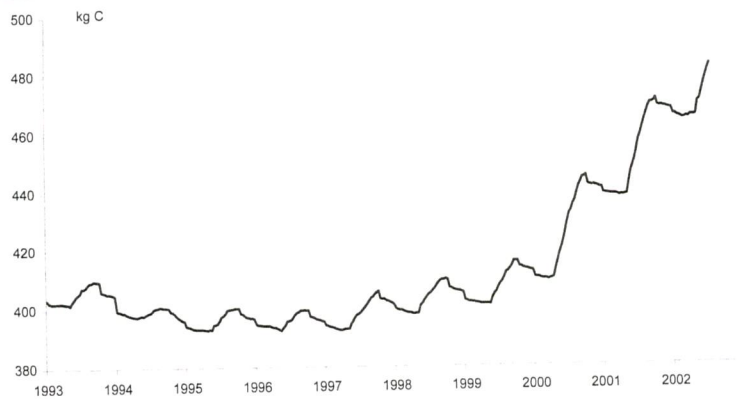
**Abb. 8:** Simulierte und gemessene Werte des Bodenwassergehalts sowie Niederschlagssummen und Werte der tatsächlichen Verdunstung am Level II Standort Ebersberg für das Jahr 2001 (Witterungsdaten und gemessene Bodenwassergehaltswerte: Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft )

In einem weiteren Schritt wurden Mess- und Simulationswerte einzelner Wachstumsparameter wie Baumdurchmesser oder Baumhöhe einander gegenübergestellt (Abbildung 9).



**Abb. 9:** Simulierte (Linien) und gemessene Werte (Punkte) des Durchmessers in Brusthöhe dbh von Fichte am Level II-Standort Ebersberg (Bäume eingeteilt in 3 Gruppen entsprechend ihrem Anfangsdurchmesser)

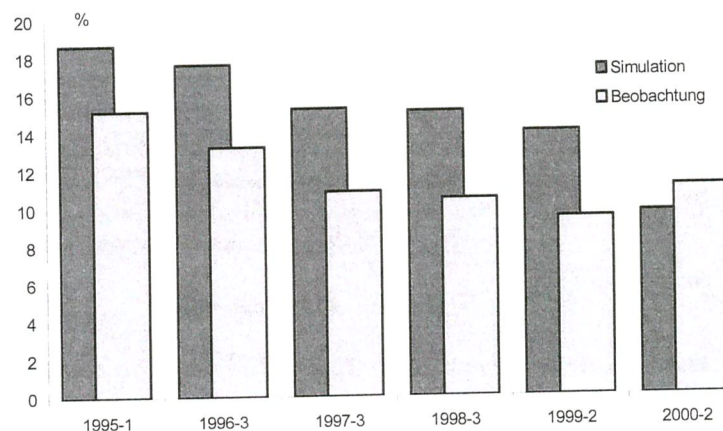
Damit lässt sich eine Validierung des Modells auf mehreren Ebenen durchführen.



**Abb. 10:** Simulation des Verlaufs der gesamten Biomasse von Fichte am Level II Standort Ebersberg

Die Zunahme der gesamten Biomasse im Verlauf der Jahre 1993 bis 2002 am Standort Ebersberg ist in Abbildung 10 dargestellt. Gut zu erkennen ist, dass - nach dem Einbau des Phänologie- und des Seneszenzmoduls - der Austrieb und das Absterben der Nadeln nicht mehr an feste Termine im Frühjahr und Herbst gebunden ist. Vielmehr zeigt sich ein in jedem Jahr zeitlich veränderter Austrieb der Nadeln sowie ein Absterben einzelner Nadeljahrgänge nicht nur am Ende der Vegetationsperiode.

Aus den in Dekadenschritten berechneten Blattparametern lässt sich auf diese Weise die Veränderung der Blattbiomasse, der Blattdichte etc. ableiten, die als Maß für die Schätzung des Kronenzustands verwendet werden können. Abbildung 11 zeigt einen ersten Versuch zur Schätzung des Nadelverlusts aufgrund der Blattdichte mit dem Modell BALANCE.



**Abb. 11:** Simulation und Beobachtung des Nadelverlustprozents von Fichte am Level II-Standort Ebersberg

Die Veränderung des Kronenzustands im Zeitverlauf kann so durch die Triebkräfte, die in das Modell eingehen und die physiologischen Prozesse steuern, sowie durch den Einfluss von ebenfalls in das Modell eingehende Stressfaktoren erklärt werden. Regional unterschiedliche Kronenzustandsverläufe lassen sich damit auf die spezifische Situation an einem Standort zurückführen.

#### Literatur

- Chmielewski FM, Rötzer T (2001) Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agric For Meteorol* 108: 101-112
- Grote R, Pretzsch H (2002) A model for individual tree development based on physiological processes. *Plant Biol* 4: 167-180
- Reich, PB (2001) Body size, geometry, longevity and metabolism: do plant leaves behave like animal bodies? *Trends in Ecology & Evolution* 16/12: 674-680
- Rötzer T, Grote, R, Pretzsch H (2003) The timing of bud burst and its effect on tree growth. Submitted to *Int. J. Biometeorology*