

Bilanzierung von Biomassen, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.1.¹

Markus Meschederu

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde
Ludwig-Maximilians-Universität München

1. Einleitung

Die Abschätzung der Größen Biomasse, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt in Beständen liefert eine wichtige Informationsgrundlage für Ökosystemüberlegungen. Unterscheidet man die Gehalte in einzelnen Baumkompartimenten, kann man die Verteilung und den Fluß von Material bestimmen und die Dynamik dieser Systeme besser verstehen. Man erhält zudem Startwerte für physiologische Prozeßmodelle und hat die Möglichkeit, Szenariorechnungen durchzuführen, die Beurteilungsgrundlagen für z.B. folgende Fragestellungen liefern: Wie wirken sich verschiedene Baumarten und Baumartenmischungen, verschiedene Durchforstungsstrategien oder verschiedene Verjüngungsgänge auf die Entwicklung der Biomasse- und Nährstoffgehalte aus?

2. Datengrundlage

Die Biomassen- und Nährstoffgehalte werden aus Schätzfunktionen bestimmt. Diese Funktionen sollen als Eingabeparameter die einfach zu messenden Größen Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe besitzen. Zur Funktionsparametrisierung benötigt man Biomassenerhebungen und Nährstoffbestimmungen an Einzelbäumen. Die Daten hierfür wurden aus der Literatur entnommen, wichtige Quellen sind:

- Arbeiten von BURGER (1953) zum Thema Holz, Blattmenge und Zuwachs,
- die Ergebnisse aus dem Sollingprojekt (ELLENBERG 1986), einem Pilotprojekt des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Schwerpunktprogramms "Experimentelle Ökologie". Hier wurden unter anderem an Fichten und Buchen Biomasseerhebungen und Elementgehaltbestimmungen durchgeführt,
- die Dissertation von PELLINEN (1986) liefert zusätzlich Daten über Biomasseuntersuchungen, die in mehreren Kompartimenten durchgeführt wurden und
- SANTANTONIO ET AL. (1977) liefert eine Übersicht über Biomasse- und Nährstoffuntersuchungen an den Wurzeln verschiedener Baumarten (Abb. 1).

1. Jahrestagung der Sektion Ertragskunde (DVFFA) in Grünberg, 12.-14. 5. 1997, S. 35 - 44.

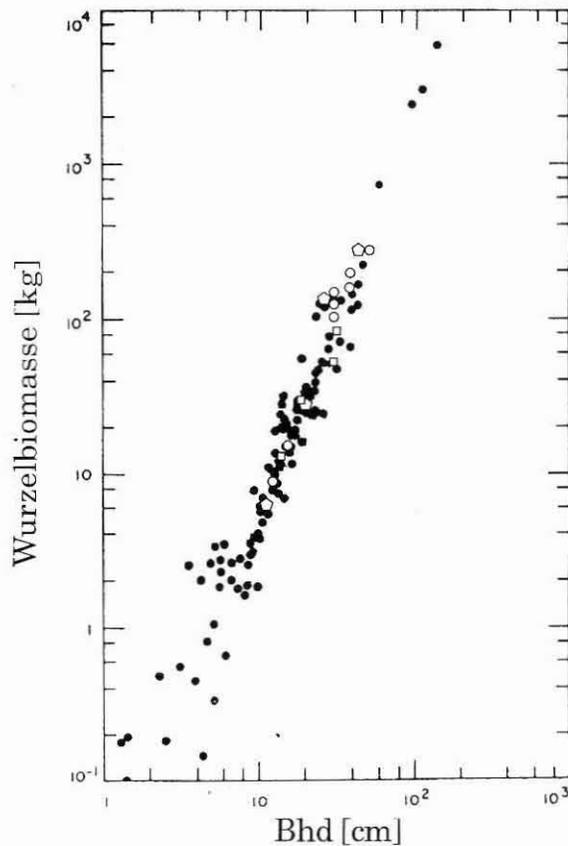


Abbildung 1. Wurzelbiomassen verschiedener Baumarten in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser nach SANTANTONIO (1977). Die Messungen von PELLINEN (1986) sind als Kreise, die aus dem Solling Projekt (ELLENBERG 1986) als Fünfecke (Fichte) und als Quadrate (Buche) eingezeichnet.

Insbesondere bei den Wurzelmasseuntersuchungen sind nur jeweils wenige Bäume untersucht worden. Es läßt sich aus diesen Angaben zwar durchaus eine Schätzfunktion finden, allerdings ist deren Aussagekraft fraglich. Unter der Berücksichtigung der Untersuchungen von SANTANTONIO (1977) (Abb. 1) ist die Annahme eines funktionalen Zusammenhangs in Grenzen gerechtfertigt.

Für die Untersuchungen wurden die fünf Baumkompartimente Nadeln/Blätter, Äste, Schaftholz, Rinde und Wurzeln unterschieden. Teilweise sind in den einzelnen Veröffentlichungen mehr Daten verfügbar, diese Auswahl stellt das kleinste gemeinsame Vielfache dar. An Baumarten sind derzeit Fichte und Buche implementiert, die Entwicklung entsprechender Funktionen für die Baumart Kiefer folgt. Als Datengrundlage dienen die Schätztafeln für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung für Kiefer (HEINSDORF 1990).

3. Methodik

Der methodische Ansatz gliedert sich folgendermaßen auf:

- Konstruktion von Schätzfunktionen für Biotrockenmasse aus dem vorhandenem Datenmaterial.

- Ankopplung der in der Literatur angegebenen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte an die Biomasse.
- Einbau der Funktionen samt Benutzerschnittstelle und graphischer Ausgabe in das Wachstumsmodell SILVA (PRETZSCH 1992, 1995).

Die Abschätzung der Biomassen soll aus leicht erhebbaren dendrometrischen Größen erfolgen. Mittels eines allometrischen Ansatzes, in den der logarithmierte Brusthöhendurchmesser $\ln d$, die logarithmierte Höhe $\ln h$, deren Quadrate sowie ein Mischterm eingehen, wurde für jedes Kompartiment einer Baumart ein Parametersatz (a_0, \dots, a_5) ermittelt.

$$y = a_0 + a_1 \ln d + a_2 \ln h + a_3 (\ln d)^2 + a_4 (\ln h)^2 + a_5 \ln d \ln h$$

Der allometrische Ansatz besagt allgemein, daß das Verhältnis der relativen Änderungen zweier Wachstumsgrößen konstant ist (WENK ET AL. 1990).

$$\frac{\dot{y}}{y} / \frac{\dot{x}}{x} = \text{const.}$$

Nach Kürzen des Differentials dt und Integration erhält man:

$$\log y = \log a + b \log x$$

Mit dieser Gleichung ist es leicht möglich, Meßdaten zu überprüfen, da sich die Daten in einem doppelt logarithmischen Koordinatensystem durch eine Gerade ausgleichen lassen. Im hier verwendeten Ansatz, der zudem noch die quadrierten Werte in zwei Dimensionen (Brusthöhendurchmesser und Höhe) hinzunimmt, erhält man eine große Anzahl verschiedener möglicher Ausgleichsfunktionen.

Die so erhaltenen Regressionsgleichungen ergeben erstaunlich gute Übereinstimmungen, was von verschiedenen Autoren bestätigt wird (PELLINEN 1986, HELLER ET AL. 1986)

Bei der Buche wurden die Parametersätze für die Biomassen der Blätter und Äste, des Schaftholzes und der Rinde aus den Erhebungen an 20 Buchen aus der Arbeit von PELLINEN (1986) bestimmt, für die Wurzelmasse aus Untersuchungen von NIHLGÅRD (1972) an 3 Buchen. Bei der Fichte war die Anzahl der gemessenen Bäume größer. Für die Parametersätze der Kompartimente Nadel und Astmasse standen die Daten von BURGER (1953) mit 179 Fichten zu Verfügung. Das Fichtenschaftholz wurde über die Schaftholzformzahl-funktion nach KENNEL (1965) bestimmt. Der Rindenanteil wurde nach Angaben aus dem Sollingprojekt über einen einfachen funktionalen Zusammenhang aus dem Brusthöhendurchmesser abgeleitet. Die Wurzelbiomasse entstammt wie bei der Buche einer Funktion von NIHLGÅRD (1972). Sind die Biomassen in den einzelnen Kompartimenten bekannt, kann man daraus die Elementgehalte ableiten.

4. Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt

Für den Kohlenstoffgehalt in den einzelnen Kompartimenten wurde in Anlehnung an BURSCHEL ET AL. (1993) folgende Beziehung gewählt: Der Kohlenstoffgehalt entspricht in den einzelnen Kompartimenten jeweils der halben Trockenmasse. Der Stickstoffgehalt in den einzelnen Kompartimenten wurde aus in der Literatur veröffentlichten Werten entnommen (ELLENBERG 1993, SANTANTONIO 1977).

5. Vereinfachende Annahmen

Diese Bilanzierung liefert eine statische Beschreibung der Biomassen- und Elementgehalte ohne Flüsse zwischen den Kompartimenten und ohne Wechselwirkungen zwischen dem Baum und seiner Umgebung, insbesondere dem Boden. Bei der Fichte findet vorerst keine Unterscheidung der Elementgehalte in den Nadeljährgängen statt. Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in den einzelnen Kompartimenten werden als konstant und von Baumdimensionen und Standort unabhängig angenommen.

6. Modellrechnungen

Mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.1 wurden exemplarische Modellrechnungen, für einen Fichten-Reinbestand, einen Buchen-Reinbestand und einen Fichten-Buchen-Mischbestand durchgeführt. Die Flächengröße beträgt pro Bestand 0.25 Hektar. Der Modellierungszeitraum erstreckt sich über 30 Perioden á 5 Jahre. Dabei wird in jeder Periode die Biomasse baumweise aus dem jeweiligen BHD und der Höhe berechnet und dann über alle Bäume aufsummiert. Diese ist nach Baumarten und Kompartimenten aufgegliedert. Aus der Biomasse werden dann die Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff abgeleitet. Im folgenden werden einige ausgewählte Berechnungsergebnisse dargestellt.

Fichtenreinbestand: Biotrockenmasse und Vorrat bei zwei verschiedenen Durchforstungsvarianten

In Abb. 2 ist Biomassenentwicklung eines Fichtenreinbestandes bei schwacher Niederdurchforstung, in Abb. 3 die des gleichen Ausgangsbestandes bei starker Auslesedurchforstung mit einem A-Wert von 5 (JOHANN 1982) und 80-prozentiger Grundflächenhaltung nach der vorläufigen Fichtenertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) mit einer Oberhöhenbonität von 36 dargestellt. Die Vorratsentwicklung des Bestandes in Festmetern Derbholz pro Hektar ist in Abb. 4 dargestellt. Die Kohlenstoffvorräte berechnen sich aus der Biomasse durch Halbieren der Werte.

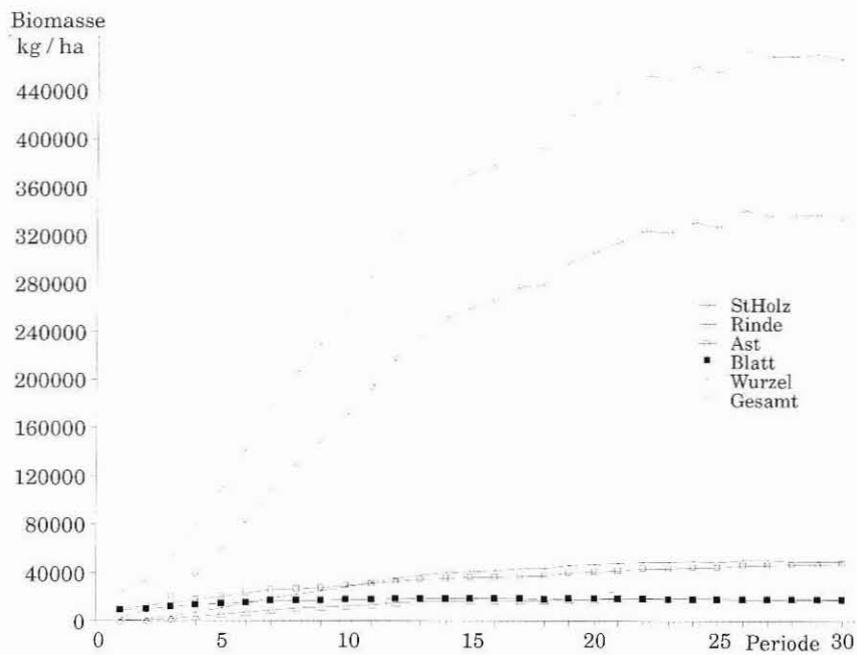


Abbildung 2. Biomassenentwicklung eines Fichtenreinbestandes bei schwacher Niederdurchforstung.

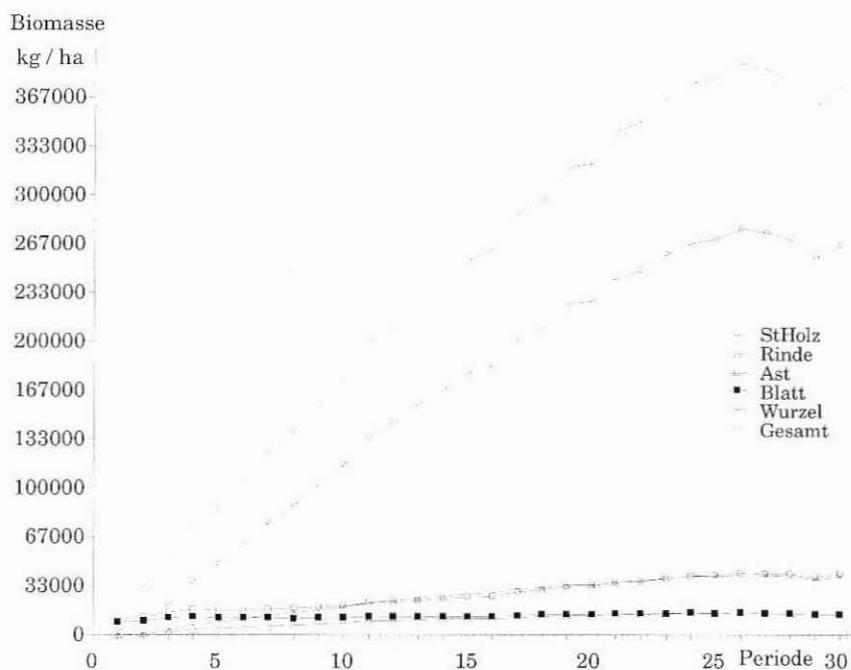


Abbildung 3. Biotrockenmassenentwicklung eines Fichtenreinbestandes bei starker Auslesedurchforstung mit einem A-Wert von 5 (JOHANN 1982) und 80-prozentiger Grundflächenhaltung nach der vorläufigen Fichtenertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) mit einer Oberhöhenbonität von 36.

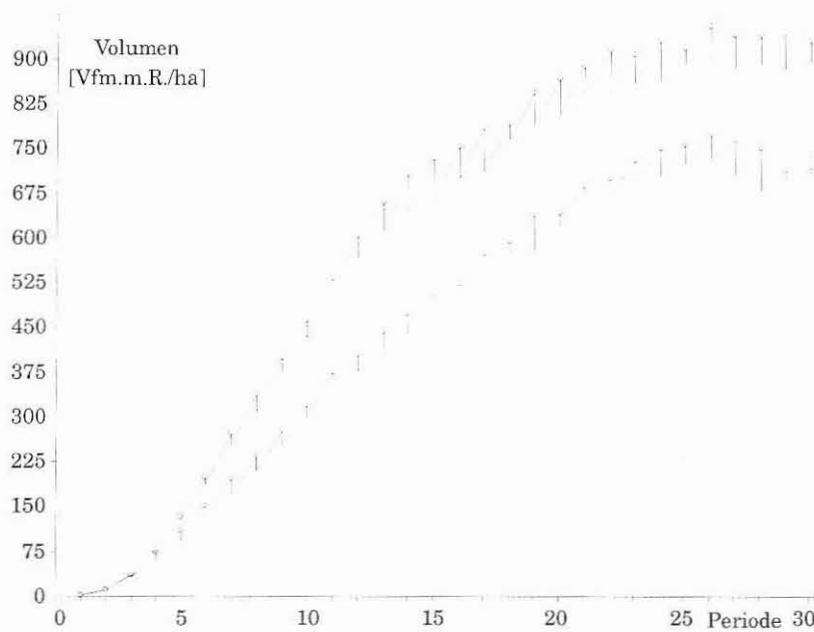


Abbildung 4. Volumenentwicklung des Fichtenreinbestandes bei schwacher Niederdurchforstung (obere Kurve) und starker Auslesedurchforstung (untere Kurve).

Fichtenreinbestand: relative C- und N-Vorräte

Trägt man die Kohlenstoffgehalte oder die Biomasse relativ zur Gesamtmasse auf, so werden die prozentualen Anteile sichtbar, man erhält ein integriertes Produktionsspektrum (siehe Abb. 5). Kohlenstoff und Biomasse verhalten sich ob des konstanten Verhältnisses zueinander gleich.

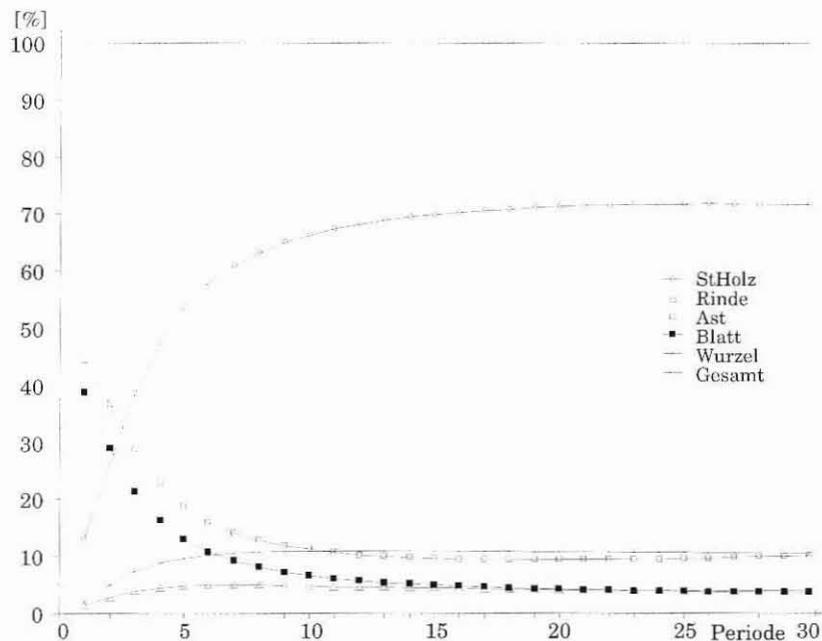


Abbildung 5. Relativer Kohlenstoffgehalt eines Fichtenreinbestandes in den einzelnen Kompartimenten.

Der relative Stickstoffgehalt ist aufgrund der unterschiedlichen Stickstoffgehalte in den Kompartimenten anders verteilt.

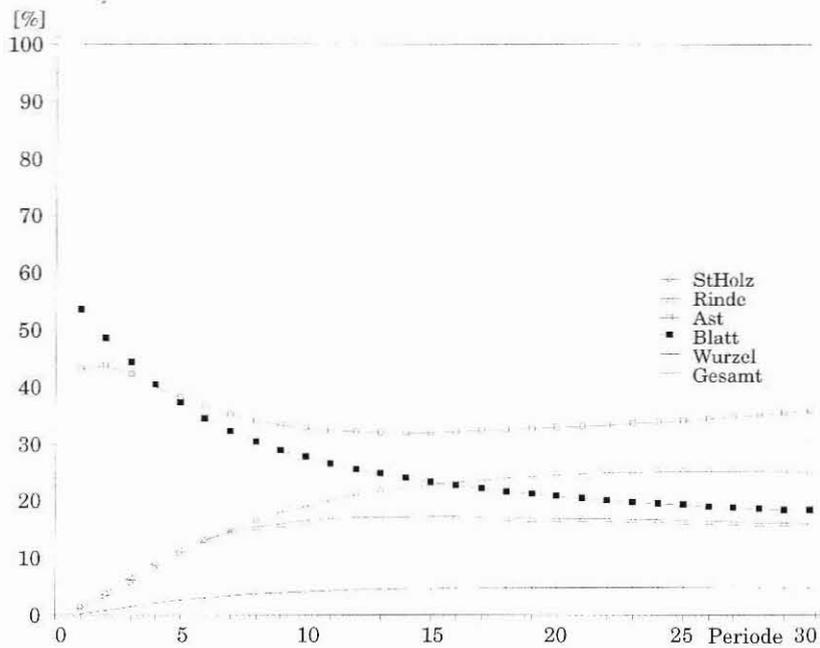


Abbildung 6. Relativer Stickstoffgehalt eines Fichtenreinbestandes in den einzelnen Kompartimenten.

Vorrat und Biomasse eines Fichtenreinbestandes, eines Buchenreinbestandes und eines Fichten-Buchen Mischbestandes

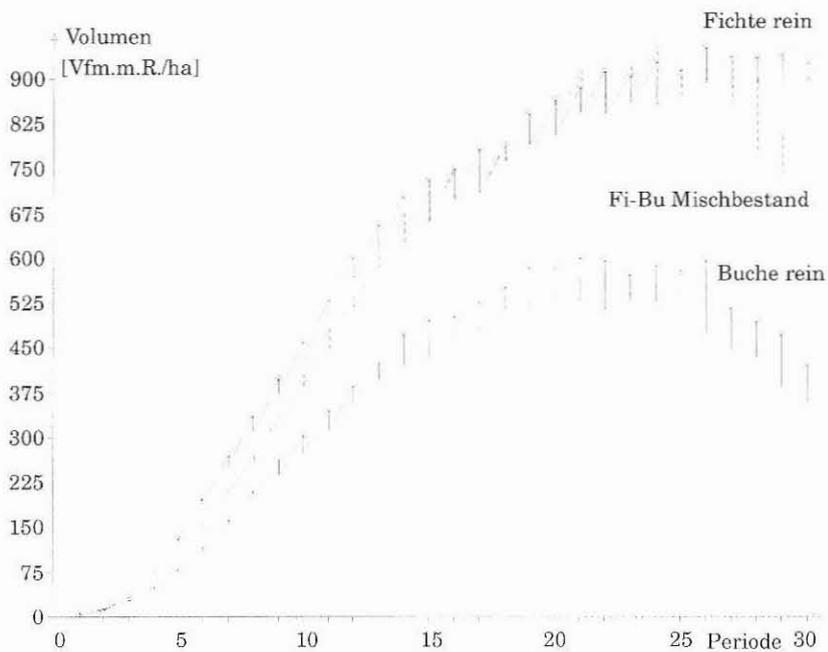


Abbildung 7. Vorrat der drei Bestandestypen in Volumenfestmetern mit Rinde.

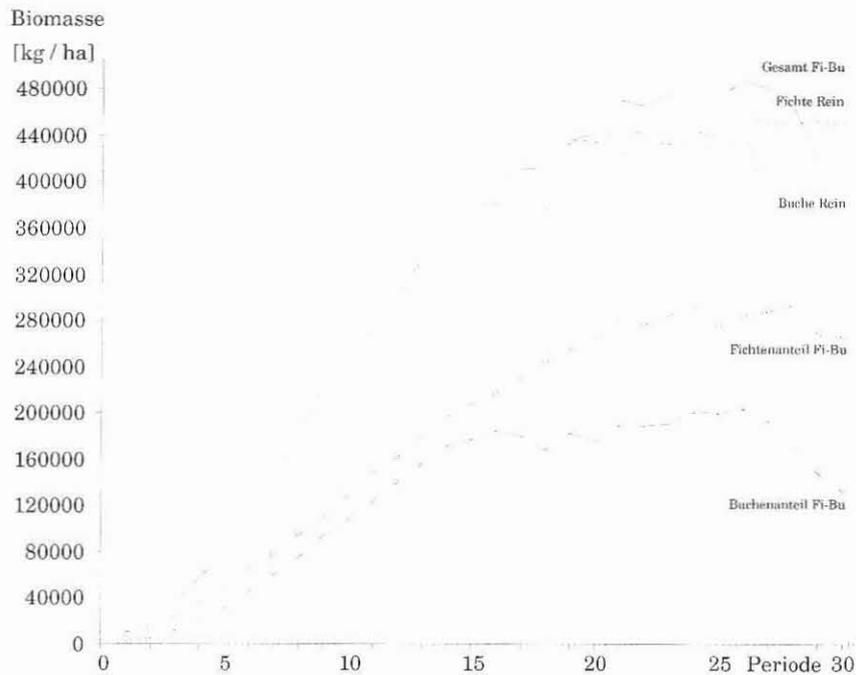


Abbildung 8. Biomassenentwicklung der drei Bestandestypen.

Beachtenswert ist hier, daß sich, die Biomasse (Abb. 8) des Fichtenreinbestandes wenig von der Biomasse des Buchenreinbestandes und der des Mischbestandes unterscheidet. Die Bestandesvorräte (Abb. 7) hingegen weichen deutlich voneinander ab.

7. Diskussion

Die Bilanzierung von Biomasse und Elementgehalten bringt einige Schwierigkeiten mit sich. Die Homogenität des verwendeten Datenmaterials könnte besser sein. Da bei einigen Kompartimenten die Meßwerte nur in geringer Anzahl vorliegen, kann bei diesen die Biomasse nur sehr ungenau abgeschätzt werden. Somit sind Kohlenstoffgehalt und Stickstoffgehalt ebenfalls mit größeren Schwankungen behaftet, da sie direkt aus der Biomasse bestimmt werden. Bei der Bestimmung der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte wurden starke Vereinfachungen getroffen, die Größen sind von Baumdimensionen unabhängig. Ebenfalls werden die unterschiedlichen Gehalte in den einzelnen Nadeljahrgängen nicht unterschieden.

Trotz dieser Einschränkungen erhält man mit dieser Bilanzierung einen Überblick über die Größenordnung der gebundenen Stoffe im Bestand und in den einzelnen Kompartimenten. Als Bestätigung des Ansatzes kann gesehen werden, daß die auf den Beständen produzierte Biomasse unabhängig von der Baumart, Fichte oder Buche, in der selben Größenordnung liegt.

aus 441!

8. Zusammenfassung

Um die Größen Biomasse, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt abschätzen zu können, wurden auf der Basis von in der Literatur veröffentlichten Daten Schätzfunktionen konstruiert. Diese wurden in das Wachstumsmodell SILVA 2.1 samt Benutzerschnittstelle und graphischer Ausgabe eingebaut. Man erhält damit ein Werkzeug zur Gewinnung von Informationsgrundlagen für Ökosystemüberlegungen und zur Darstellung von Produktionsspektren. Für physiologische Prozeßmodelle kann man Startwerte ermitteln und Szenariorechnungen zu verschiedenen Fragestellungen durchführen.

9. Literatur

Assmann E. und Franz F.: Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern, Selbstverlag des Institutes für Ertragskunde, 1963

Burger H.: Holz, Blattmenge und Zuwachs (XIII). Fichten im gleichaltrigen Hochwald, Mitteilungen der Schweiz. forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 29 (1), 1953

Burschel P., Kürsten E., Larson B. C.: Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt — Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 126, 1993

Ellenberg H. (Hrsg.): Ökosystemforschung, Ergebnisse des Sollingprojekts 1966 - 1986, Stuttgart 1986

Heinsdorf D., Krauß H. H.: Schätztafel für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung von Kiefernbeständen. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung Nr. 18, Eberswalde 1990

Heller H., Göttsche D.: Biomasse-Messungen an Buche und Fichte, In: Ellenberg H. (Hrsg.): Ökosystemforschung, Ergebnisse des Sollingprojekts 1966 - 1986, Stuttgart, S. 109-127, 1986

Johann K.: Der "A-Wert" — ein objektiver Parameter zur Bestimmung der Freistellungsstärke von Zentralbäumen, Bericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde, Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten, Weibersbrunn, 1982

Kennel R.: Formzahl aus dem EDV-Programm VOLUM entnommen, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Ludwigs-Maximilians-Universität München, 1965

Nihlgård B.: Plant Biomass, primary production and distribution of chemical elements in a beech and a planted spruce forest in South Sweden, Oikos 23, S. 69-81, 1972

Pellinen P.: Biomasseuntersuchungen im Kalkbuchenwald, Dissertation, Göttingen, 1986

Pretzsch, H.: Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 115, 1992

Pretzsch, H.: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs, Allgemeine Forst und Jagdzeitung, Heft 9/10, S. 190-201, 1995

Santantonio D., Hermann R. K., Overton W. S.: Root biomass studies in forest ecosystems, Pedobiologia, Bd 17, S. 1-31, 1977

Wenk G., Antanaitis V., Smelko S.: Waldertragslehre, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1990