

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/272788035>

# Inventur von Biomasse- und Nährstoffvorräten in Waldbeständen

Technical Report · January 2002

---

CITATIONS

0

READS

1,377

3 authors, including:



Hans-Peter Dietrich  
Bavarian State Institute of Forestry

41 PUBLICATIONS 579 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Stephan Raspe  
Bavarian State Institute of Forestry

41 PUBLICATIONS 556 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



UNECE ICP Forests: Pan European forest monitoring programme [View project](#)

# Forstliche Forschungsberichte

ISSN 0174-1810

München

## Inventur von Biomasse- und Nährstoffvorräten in Waldbeständen

186/2002

Seminar  
der Bayer. Landesanstalt  
für Wald und Forstwirtschaft

veranstaltet von  
Hans-Peter Dietrich  
Stephan Raspe  
Teja Preuhsler

Schriftenreihe des Wissenschaftszentrums Weihenstephan für Ernährung,  
Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München und  
der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Forstliche Forschungsberichte München

Nr. 186

2002

---

Schriftenreihe des Wissenschaftszentrums Weihenstephan für  
Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München  
und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

INVENTUR VON BIOMASSE- UND NÄHRSTOFFVORRÄTEN IN WALDBESTÄNDEN

Seminar der  
Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

veranstaltet von  
Hans-Peter Dietrich, Stephan Raspe, Teja Preuhsler

Sachgebiet Standort und Umwelt  
der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Am Hochanger 11  
D-85354 Freising

ISSN-0174-1810  
ISBN-3-933506-17-4

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Herausgeber:

Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt  
der Technischen Universität München und  
Bayerische Landesanstalt für Wald und  
Forstwirtschaft

Schriftleitung:

Prof. Dr. Egon Gundermann  
Fachgebiet für Raumordnung und Umweltrecht  
der Technischen Universität München  
und Präsident Olaf Schmidt  
Bayerische Landesanstalt für Wald und  
Forstwirtschaft

Anschrift der Seminarveranstalter:

Prof. Dr. Teja Preuhsler, Hans-Peter Dietrich,  
Dr. Stephan Raspe  
Sachgebiet Standort und Umwelt  
Bayerische Landesanstalt für Wald  
und Forstwirtschaft  
Am Hochanger 11, 85354 Freising

Dokumentation:

Forstl. Forschungsber. München  
Nr. 186, 2002, 210 S.

Zu beziehen über die Universitätsbuchhandlung

Heinrich Frank, Schellingstr. 3, D-80799 München  
Tel: 089/284151 Fax: 089/2809636 email: [info@heinrich-frank.de](mailto:info@heinrich-frank.de)  
Internet: [www.heinrich-frank.de](http://www.heinrich-frank.de)

## Vorwort

Die nachhaltige Sicherung der vielfältigen Funktionen unserer Wälder gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dabei gehört zum erweiterten forstlichen Nachhaltigkeitsbegriff neben der Stetigkeit der Holzerträge auch die Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Waldstandorte. Dazu bedarf es jedoch umfangreicher Kenntnisse über ökosystemare Prozesse, insbesondere zu Bedarf, Verbrauch und Verfügbarkeit von Nährstoffen in Waldökosystemen.

Eine wichtige Poolgröße stellt die ober- und unterirdische Biomasse in den Waldökosystemen dar. Neben ältere Arbeiten, die i.d.R. auf eine Erfassung der Leistungsfähigkeit der Standorte zielten, treten in jüngerer Vergangenheit zunehmend Untersuchungen zu den Biomasse- und Elementvorräten von Waldökosystemen.

Wegen des hohen Erhebungsaufwandes liegen jedoch bislang vor allem aus dem Kronen- und Wurzelbereich noch zu wenig vergleichbare Untersuchungen vor, um die Bioelementvorräte verschiedener Baumarten und Baumkompartimente in Abhängigkeit von Standortsverhältnissen und dem Bestandesalter sicher abschätzen zu können. Um verlässliche Schätzfunktionen standortübergreifend formulieren zu können, werden detaillierte und vergleichbare Grundlagendaten von Beständen auf unterschiedlichen Standorten benötigt. Der Nutzung aller verfügbaren Daten kommt also ebenso wie der Konzipierung künftiger Forschungsarbeiten eine grundlegende Bedeutung zu. Dabei steckt in einer grundlegenden Harmonisierung von Planung und Methodik der zukünftigen Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet ein erhebliches Potential sowohl zur Reduktion des Arbeits- und damit Mittelbedarfs als auch zur Steigerung der Vergleichbarkeit und Aussagekraft über den jeweils untersuchten Standort hinaus.

Auch die immer häufigere Anwendung von Wasser- und Stoffhaushaltsmodellen setzt die zuverlässige Kenntnis der Verteilung und Dynamik von Biomasse- und Nährlementvorräten in den Waldökosystemen voraus. Dabei ergeben sich spezifische Ansprüche an Eingangsparameter, die standortsunabhängig abgeschätzt werden müssen. Um einen möglichst großen Nutzen aus den arbeitsintensiven Untersuchungen zu den Biomasse- und Elementvorräten in Waldökosystemen zu ziehen, ist daher eine funktionierende Kommunikation zwischen der Datenerhebung und der Modellierung besonders wichtig.

Vor diesem Hintergrund veranstaltete die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft am 21./22. November 2001 einen Workshop zum Thema: "Inventur von Biomasse und Nährstoffvorräten in Waldbeständen". Teilnehmer waren Fachkollegen aus Forstlichen Versuchsanstalten, Forschungseinrichtungen und Institutionen im deutschsprachigen Raum (Bild).

Ziel des Workshops war es die Bedeutung von Biomasseinventuren herauszuarbeiten, ein möglichst umfassendes Bild des derzeitigen Kenntnisstandes auf diesem Gebiet zu erhalten, Wissensdefizite aufzuzeigen sowie zu einer Harmonisierung von Methoden und einer Koordination der zukünftigen Forschungsaktivitäten beizutragen.

Diesem Ziel diente auch ein vorab an alle relevanten Forschungseinrichtungen verschickter Fragebogen, in dem Informationen zu vorhandenen, laufenden und geplanten Biomasseinventuren abgefragt wurden. Ein Schwerpunkt des Workshops lag auf den Methoden der Erhebung und Auswertung von Biomasse- und Elementvorräten in Wäldern. Dabei stand die Frage nach der Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse im Vordergrund des Interesses. In einem weiteren Schwerpunkt wurde die Bedeutung von Biomasse- und Elementvorratsdaten für Wachstums-, Wasser- und Stoffhaushaltsmodelle beleuchtet. In einer abschließenden Plenumsdiskussion wurde der Bedarf an Informationen, Harmonisierungen und künftigen Forschungen systematisch herausgearbeitet und dokumentiert.

Der vorliegende Forschungsbericht gibt die auf dem Workshop gehaltenen Vorträge und Posterbeiträge sowie die moderierte Plenumsdiskussionen wieder.



*Teilnehmer des Workshops am 21/22. November 2001 in Freising*

Wir danken allen Teilnehmern für die fachkundigen Vorträge, die inhaltsreichen Poster und die engagierten und zielführenden Diskussionsbeiträge. Wir glauben, dass damit nicht nur im deutschsprachigen Raum sondern auch für die Kooperationen auf europäischer Ebene z.B. im Bereich des Level II Monitorings ein guter Schritt vorwärts gelang.

Freising, Januar 2002

Prof. Dr. T. Preuhsler

Hans-Peter Dietrich

Dr. Stephan Raspe

# Inhaltsverzeichnis

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Vorwort .....            | I   |
| Inhaltsverzeichnis ..... | III |
| Autorenverzeichnis ..... | V   |

## **Einführungsvorträge**

|                                                                                                                                                         |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Biomasse- und Nährstoffinventuren für die Bewertung und Prognose von Einflußgrößen im Nährstoffhaushalt von Waldbeständen. <i>Teja Preuhlsler</i> ..... | 3 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                                                                |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Historische Aspekte von Biomasserhebungen und Bioelementinventuren. <i>Karl Kreutzer</i> ..... | 9 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

## **Themenschwerpunkt: Methoden**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ermittlung der Ernährungssituation, der Biomasseproduktion und der Nährelementakkumulation mit Hilfe von Inventurverfahren sowie Quantifizierung der Entzugsgrößen auf Umtriebsebene in forstlich genutzten Beständen. <i>Peter Rademacher, Henning Meesenburg, Karl Josef Meiwas</i> ..... | 21 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Vorläufige Ergebnisse von Biomasseninventuren in Buchen- und Mittelwaldbeständen.<br><i>Eduard Hochbichler</i> ..... | 37 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Biomasseuntersuchungen an Level II-Kiefernstandorten in Brandenburg. <i>Reinhard Kallweit</i> ..... | 47 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Biomasse- und Nährstoffinventuren zur Ermittlung von Ernteentzügen an drei bayerischen Fichtenstandorten. <i>Hans-Peter Dietrich, Stephan Raspe, Melanie Schwarzmeyer, Susanne Ilg</i> ..... | 59 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Beispiele zur Erhebung der Biomasse- und Mineralstoffvorräte von Fichtenwurzeln. <i>Stephan Raspe</i> ..... | 73 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quantifizierung der oberirdischen Phytomassekompartimente von Waldökosystemen - Voraussetzung und Bestandteil der Modellierung von Potenzialen, Zuständen und Leistungen von Waldökosystemtypen.<br><i>Wolfgang Beck</i> ..... | 83 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Modellschätzungen zum Trockensubstanz- und Elementvorrat der Waldbodenflora – Verfahren und Anwendung in der waldökologischen Forschung. <i>Andreas Bolte</i> ..... | 93 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Baumbiomasse als Bilanzgröße im N-Haushalt: Fallstudie Waldumbau. <i>Richard. Heitz</i> ..... | 102 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Dendrochemische Untersuchungen zur Rekonstruktion der Bodenversauerung im Schwarzwald.<br><i>Klaus v. Wilpert, Jürgen Schäffer</i> ..... | 109 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **Themenschwerpunkt: Modelle**

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Bestandesparameter für die Modellierung des Wasser- und Stoffhaushalts in Wäldern. <i>Klaus Hammel</i> ..... | 117 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Biomassen und deren Stoffgehalte – wesentliche Eingangsdaten für die Berechnung von Critical Loads und für die dynamische Modellierung des Stoffhaushalts. <i>Rolf Becker</i> ..... | 124 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **Inhaltsverzeichnis**

---

Von der Baumdimension zur Biomasse und wieder zurück – Ein neuer Ansatz zur dynamischen Modellierung von Baum- und Bestandesbiomassen. *Rüdiger Grote* ..... 129

Zuwachsveränderungen: Vergleich von Resultaten des Schweizerischen Landesforstinventars mit Ertragstafeln aus den 60er Jahren. *Edgar Kaufmann* ..... 139

## **Postervorträge**

Nährstoffentzüge durch die Holzernte und ihr Einfluss auf den Nährstoffhaushalt armer Standorte in Rheinland-Pfalz. *Joachim Block und Julius Schuck* ..... 150

COST Action E21 “Contribution of Forests and Forestry to Mitigate Greenhouse Effects”.  
*Marcus Lindner* ..... 152

Einfluss von forstlicher Nutzung auf den Bodenzustand von Wäldern.  
*Henning Meesenburg, Karl Josef Meiwas, Peter Rademacher* ..... 154

Elementvorräte, Stoffflüsse und Nährstoffbilanzen zweier Fichtenbestände in Bayern.  
*Stephan Raspe, Hans-Peter Dietrich, Richard Heitz, Melanie Schwarzmeier, Manfred Schölch* ..... 156

Biomassen- (Blattflächen) Verteilung und Entwicklung auf Verjüngungsflächen (Unterholz) im Mittelwald.  
*Panagoitis Bellos, Brigitte Klug, Eduard Hochbichler* ..... 158

Vergleich von Biomasse, Elementgehalten und Elementvorräten von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) am Standort Höglwald zu Zeiten der Vegetationsruhe.  
*Wendelin Weis, Axel Göttlein* ..... 163

## **Fragebogenauswertung**

Biomasse und Nährstoffinventuren an forstlichen Forschungseinrichtungen im deutschsprachigen Raum  
Ergebnisse der Fragebogenauswertung.  
*Edgar Herbst, Valerie Kantelberg, Hans-Peter Dietrich* ..... 170

## **Diskussionen**

Biomasse- und Nährstoffinventuren aus dem Blickwinkel integrierender Auswertungen eines forstlichen Monitoringprogrammes. *Evert Vel* ..... 183

Ergebnisse der Plenumsdiskussion zum Workshop. *Stephan Raspe, Hans-Peter Dietrich; Teja Preuhlsler* ..... 186

## Autorenverzeichnis

|                                |                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DR. WOLFGANG BECK</b>       | Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) Institut für Forstökologie und Walderfassung, Alfred-Möller-Straße 1, D-16225 Eberswalde.                        |
| <b>DR. ROLF BECKER</b>         | ÖKO-DATA GmbH, Niederlassung Nordrhein-Westfalen, In der Schlade 29, D-57392 Schmallenberg.                                                                                  |
| <b>PANAGOITIS BELLOS</b>       | Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur Wien, Peter - Jordanstr. 70, A-1190 Wien;                                                                               |
| <b>DR. JOACHIM BLOCK</b>       | Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Schloß – Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt.                                              |
| <b>DR. ANDREAS BOLTE</b>       | Institut für Waldbau, Büsgenweg 1, D-37077 Göttingen.                                                                                                                        |
| <b>HANS-PETER DIETRICH</b>     | Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Umwelt, Am Hochanger 11, D-85354 Freising                                                         |
| <b>PROF. DR. AXEL GÖTTLEIN</b> | Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt Department für Ökologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TU München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising-Weihenstephan. |
| <b>DR. RÜDIGER GROTE</b>       | Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Department für Ökologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TU München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising-Weihenstephan.                  |
| <b>DR. KLAUS HAMMEL</b>        | Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Umwelt, Am Hochanger 11, D-85354 Freising.                                                        |
| <b>DR. RICHARD HEITZ</b>       | Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Umwelt, Am Hochanger 11, D-85354 Freising.                                                        |
| <b>EDGAR HERBST</b>            | Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Umwelt, Am Hochanger 11, D-85354 Freising.                                                        |
| <b>DR. EDUARD HOCHBICHLER</b>  | Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur Wien, Peter - Jordanstr. 70, A-1190 Wien.                                                                               |
| <b>SUSANNE ILG</b>             | Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Wald und Forstwirtschaft, Am Hofgarten 4, D-85350 Freising.                                                                        |
| <b>DR. REINHARD KALLWEIT</b>   | Landesforstanstalt Eberswalde, Alfred-Möller-Str. 1, D-16225 Eberswalde.                                                                                                     |
| <b>VALERI KANTELBERG</b>       | Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Umwelt, Am Hochanger 11, D-85354 Freising.                                                        |
| <b>DR. EDGAR KAUFMANN</b>      | Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf.                                                                                               |
| <b>DR. BRIGITTE KLUG</b>       | Institut für Botanik, Gregor-Mendelstr. 33; A-1180 Wien.                                                                                                                     |
| <b>PROF. DR. KARL KREUTZER</b> | Lehrbereich für Waldernährung und Wasserhaushalt, TU München, Am Hochanger 13, 85354 Freising.                                                                               |
| <b>DR. MARCUS LINDNER</b>      | Potsdam Institute for Climate Impact Research, Telegrafenberg, P.O. Box 601203, D- 14412 Potsdam.                                                                            |
| <b>DR. HENNING MEESENBURG</b>  | Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen                                                                                                  |

|                                  |                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DR. KARL JOSEF MEIWES</b>     | Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen                                                                                                  |
| <b>PROF. DR. TEJA PREUHSLER</b>  | Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Umwelt, Am Hochanger 11, D-85354 Freising.                                                        |
| <b>DR. PETER RADEMACHER</b>      | Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen.                                                                                                 |
| <b>DR. STEPHAN RASPE</b>         | Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Umwelt, Am Hochanger 11, D-85354 Freising.                                                        |
| <b>JÜRGEN SCHÄFFER</b>           | Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Baden-Württemberg, Wohnhaldestr. 4, D-79100 Freiburg.                                                                            |
| <b>JULIUS SCHUCK</b>             | Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Schloß – Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt                                               |
| <b>PROF. DR. MANFRED SCHÖLCH</b> | Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Wald und Forstwirtschaft, Am Hofgarten 4, D-85350 Freising.                                                                        |
| <b>MELANIE SCHWARZMEIER</b>      | Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Wald und Forstwirtschaft, Am Hofgarten 4, D-85350 Freising.                                                                        |
| <b>IR EVERT VEL</b>              | FIMCI / Oranjewoud, P.O.Box 24, NL-8440 AA Heerenveen, The Netherlands.                                                                                                      |
| <b>DR. WENDELIN WEIS</b>         | Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt Department für Ökologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TU München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising-Weihenstephan. |
| <b>DR. KLAUS VON WILPERT</b>     | Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Baden-Württemberg, Wohnhaldestr. 4, D-79100 Freiburg.                                                                            |

# Einführungsvorträge

T. Preuhsler 3

K. Kreutzer 9



# Biomasse- und Nährstoffinventuren für die Bewertung und Prognose von Einflußgrößen im Nährstoffhaushalt von Waldbeständen

Teja Preuhsler

## 1. Nachhaltigkeit - eine forstliche Verpflichtung

Es sind beinahe 190 Jahre her, daß CARL VON CARLOWITZ das Konzept einer forstlichen Nachhaltigkeit in Worte fasste: "Hinsichtlich Standort, d.h. Klima und Boden (Wasser- und Nährstoffhaushalt), Flächengröße, Holzvorrat und -zuwachs ist eine nachhaltig möglichst unverminderte Leistung des Waldes und seiner Bestände zu erzielen" wie PETER MATHÉ (2001) vor einem Jahr aus diesem frühen Werk *Sylvicultura oeconomica* von 1713 treffend darlegte.

Forstliche Nachhaltigkeit ist heute eine nachdrückliche moderne politische Forderung, zu der sich eine Vielzahl europäischer Länder in Ministerkonferenzen und Handlungsverpflichtungen bekennt. Ihre Ziele betreffen nicht nur eine traditionelle Holzproduktion und -versorgung sondern umfassen mit zunehmender Priorität die vielfältigen sog. Wohlfahrtsfunktionen des Waldes in Verbund mit unserem gesamten Lebensraum.

Die Grundlagen der Nachhaltigkeit von Waldökosystemen beruhen wie vor 200 Jahren immer noch auf Klima, auf Boden mit Wasser- und Nährstoffhaushalt, auf Waldflächengröße, auf Zuwachs und Nutzungsstrategien. Allerdings haben sich viele Schwerpunkte verlagert und es zeichnen sich Veränderungen der Einflußfaktoren so deutlich ab wie wohl kaum jemals zuvor.

Für die Forstverwaltungen ergeben sich daraus besondere Verpflichtungen, die sowohl eine vorbildliche Bewirtschaftung der eigenen Wälder betreffen, wie auch hoheitliches und fachbehördliches Handeln: Die Forstverwaltung ist Partner für Interessensgruppen und Umweltschutzverbände; sie ist Anwalt des Waldes mit seinen vielfältigen Funktionen aber auch Gefährdungen gegenüber der Öffentlichkeit, sie verfolgt auch in Verantwortung für den privaten und kommunalen Waldbesitz die Nachhaltigkeit der Einkommensfunktion des Waldes und ist Promotor für erneuerbare Energien und nachwachsende Rohstoffe.

Die Aufgabenbereiche der Forstverwaltungen weiteten sich laufend aus und umfassen heute u.a.

- Wahrnehmung fortfachlicher Kompetenz
  - z.B. als Fachbehörde im Behördenverbund
    - (Bodenschutz, Immisionsschutz, Umweltsicherung)
- Vorbereitung politischer Entscheidungshilfen
  - z.B. Definition von Umweltqualitätszielen und -standards
    - (Erkundung ökosystemarer Abläufe und Gefährdungen)
    - (Umweltmonitoring, Ermittlung von Indikatoren)
- Bestimmung „guter fachlicher Praxis“
  - (ökologische Auswirkung wirtschaftlichen Handelns)
- Forstbetriebliches Resourcenmanagement, z.B.
  - Auswirkung heutiger Umwelteinflüsse auf die Produktion

- Verträglichkeit der Nutzung von Rohstoffpotentialen
- Veränderte Nachfragen und Nutzungstechnologien

**Wir haben es heute mit einen neuen erweiterten Begriff der Nachhaltigkeit im forstlichen Aufgabenfeld zu tun**

## 2. Sind wir auf diese neuen Aufgaben und Herausforderungen vorbereitet?

Die wissenschaftlichen Grundlagen belegen bereits im 18. und 19. Jahrhundert eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Waldes, wenn auch fokussiert auf Wachstums- und Leistungsprozesse der Wälder.

Heute sind Forschungen mit ökosystemarem Ansätzen weltweit verbreitet und zeigen Schwerpunkte z.B. in Fragen zu

- Gefährdungen durch Immissionen (lokal, diffus, global)
- Empfindlichkeit von Waldböden und Waldbeständen
- Veränderung des Waldwachstums
- Auswirkungen der Holzernte auf Wasser- und Stoffkreisläufe
- Bedingungen nachhaltiger Flächennutzung
- Anforderung der Öffentlichkeit an die Stabilität von Waldökosystemen

Darüber hinaus werden moderne Inventuren und langfristige Monitoringprogramme mit oft großem Aufwand realisiert, z.B. zur

- Zustands- und Veränderungsdokumentation
- Erfassung komplexer Abläufe, Ökosystemkreisläufe
- Ermittlung und Überwachung von Indikatoren

Der praktische Forstbetrieb vor Ort wird bereits besonders gefordert durch

- Umstellung von Wirtschaftszielen und –techniken
- erweiterte Aufgaben, z.B. für Naturschutz und Waldpädagogik
- Fortbildungsmaßnahmen für sich ändernde Anforderungen
- Neue Beratungsschwerpunkte (z.B. für Waldbesitzer, Industrie, Kommunen)

**Wir können festhalten:**

- **Ökosystemares Bewußtsein und Verantwortung nimmt zu**
- **Die Bereitschaft zu entsprechendem Handeln nimmt zu**
- **Die Forschungsinfrastrukturen sind so gut wie nie zuvor**
- **Langfristige Monitoringaufgaben sind auch politisch vorgegeben**

### 3. Offene Herausforderungen

Allerdings stoßen wir auf eine Vielzahl offener Herausforderungen sowohl für die forstwissenschaftlichen wie auch forstbetrieblichen Bereiche. Sie betreffen insbesondere:

- Unübersehbare Datenmengen aus modernen Forschungsprogrammen und eine Vielzahl sektoraler Einzelergebnisse, die in eine Gesamtschau zusammenzuführen sind.
- Forstliche Forschungsplanungen müssen eingedenk sich verknappender Ressourcen abgestimmt werden; wo immer möglich sind Arbeitsteilungen zu vereinbaren.
- Szenarien, Trendaussagen und Prognosen zu ökosystemaren Kreisläufen werden gefordert; sie sind ohne Modellanwendung nicht möglich.
- Die geographisch/zeitliche Resourcenverteilung muß abgeschätzt und dargestellt werden
- Belastungen und Gefährdungen der Waldökosysteme sind zu lokalisieren und zu quantifizieren.
- Weitergehende forstliche Nutzungsmöglichkeiten und die Konsequenzen daraus sind zu erkunden und aufzuzeigen.
- Bei zunehmendem Umweltbewusstsein muß die Forstverwaltung ihre Fachkompetenz aktiv wahrnehmen und verantworten.
- Waldökosysteme sind als Teil der gesamten Umwelt zu verstehen, auch im globalen Zusammenhang.
- Technologien forstlicher Nutzung sind weiterzuentwickeln und Veränderungen der Nachfrage zu berücksichtigen.

**Ohne geeignete Initiativen werden wir diese Herausforderungen nicht bestehen**

### 4. Warum brauchen wir Biomasse- und Nährstoffinventuren?

Biomasse- und Nährstoffinventuren in Wäldern zielen in erster Linie auf die Verfügbarkeit von Rohstoffen und der darin enthaltenen Nährstoffen ab und damit auf die Nachhaltigkeit von Stoffkreisläufen in Waldökosystemen. Aus dem breiten Aufgabenfeld werden als Beispiel zwei aktuelle Schwerpunkte herausgegriffen:

Mechanismen und Auswirkungen der Umweltbelastungen. Erforderlich sind Kenntnisse über

- Grundsätze von Stoffhaushalt und –kreislauf
- Stoffeinträge (Nähr- und Schadstoffe)
- Reaktionen von Boden, Wasser und Pflanze
  - eine monokausale Betrachtung genügt nicht
  - sektorale Untersuchungen erlauben jeweils Tiefgang
  - aber erst ökosystemar komplexe Betrachtung erlaubt eine Bewertung

**Biomasseuntersuchungen füllen einen bedeutenden Sektor**

Wahrnehmung der forstlichen Fachkompetenz, z.B.

- Bewertung und Prognose von Umweltveränderungen  
(Versauerung, Eutrophierung, Klimaänderung, C-Haushalt)
- Beurteilung lokaler/regionaler Zusatzbelastungen  
(Emmissionen aus Massentierhaltung, Industrie, Straßenverkehr)
- Erfassung, Planung, Beratung von Resourcenbereitstellung  
(nachwachsende Rohstoffe, erneuerbare Energien, C-Bindung)
- Landnutzungsplanung und Waldfunktionen  
(Aspekte von Luftreinhaltung, Wasser- und Bodenschutz, Naturschutz, Biomasseproduktion, ökosystemare Stabilität)

**Biomasseuntersuchungen weisen Fakten nach**

## **5. Rahmen und Ziel des Workshops**

### **Faktenrahmen**

Wir haben bereits eine lange Tradition von Biomasse- und Nährstofferhebungen

**Sind alte Ergebnisse heute noch nutzbar?**

Wir sind heute konfrontiert mit vielen aktuellen Anforderungen hinsichtlich z.B. Umweltberatung, Ökosystemstabilität, Biodiversität, Nachhaltigkeit, Nutzungsintensität, Rohstoffbereitstellung (Holz, Biomasse), Wasserspende

**Wie kommen wir zu einheitlichen Aussagen?**

Wir stehen vor konkreten Fragen zur Anwendung der Ergebnisse:

- Übertragung auf andere Standorte, Baumarten, Alter?
- Voraussetzungen für Modellierung?
- Weiterentwicklung/Validierung vorhandener Modelle?
- Abschätzung von Standorts-Risikopotentialen?
- Modifizierung von Wirtschaftszielen und -maßnahmen?
- Baumarten- und standortsspezifische Erntestrategien?

**Welche Biomasse- und Nährstoffinformationen benötigen wir?**

**Unsere Ziele für den Workshop sind:**

- Können vorhandene Datengrundlagen genutzt werden?
- Brauchen wir neue/ergänzende Erhebungen?
- Wo sind Defizite, wie können sie gefüllt werden?
- Können wir die Methoden harmonisieren?
- Welche Kooperationen und Arbeitsteilungen sind möglich?

**Schwerpunkte dieses Workshops sind die Inventuren von Biomasse und Elementen**

nicht: Diskussionen um Stoffhaushalt und Stoffbilanz an sich.

Ein einfaches Beispiel aus der forstlichen und forstwissenschaftlichen Praxis zeigt uns das Foto aus dem Bestand der Bayerischen Waldklimastation Zusmarshausen nach dem Sturm Lothar vom 26. Dezember 1999:



*Bayerische Waldklimastation Zusmarshausen nach Sturm Lothar vom 26.12.1999*

### Viel „Biomasse“ liegt am Boden

- Können und sollen wir **ALLES** nutzen?
- Wieviel und welche Nährstoffe werden dadurch dem System entzogen?
- Wie reagieren Boden, Wasser, Vegetation, Lokalklima, Weltklima darauf?
- Wie weit unterbrechen wir damit den ökosystemaren Kreislauf – oder schaden ihm?
- Kann sich das der Standort leisten, können **wir** uns das **dort** leisten?
- Warum war der Bestand so instabil? Haben wir zuviel Produktion gefordert?
- Wie weit hängen Bodenchemie und Bodenphysik, Bestandesernährung und Bestandestabilität zusammen?

Um auch solche Fragen beantworten zu können haben wir das Monitoring an dieser Waldklimastation fortgesetzt und zusätzliche Biomasseerhebungen durchgeführt.

- Haben wir genug erfaßt, sind unsere Methoden und damit Ergebnisse vergleichbar?
- Und übertragbar? Sind sie auch für andere und für weitere Fragestellungen nutzbar?

# **Historische Aspekte von Biomasserhebungen und Bioelementinventuren**

**Karl Kreutzer**

Zusammenfassung:

In vier Aspekten wird die forstökologische Entwicklung skizziert, soweit Biomasseerhebungen und Bioelementinventuren einbezogen waren. Von alters her existierte ein Erfahrungswissen der Praxis über die wirtschaftlich verwertbaren Koppelprodukte beim Holzeinschlag und bei der Ernte von Feldfrüchten. Mit Erscheinen von Ebermayers Werk über die Waldstreu (1876) setzte die wissenschaftliche Erforschung des Stoffumsatzes in Wäldern ein. Ausgangspunkt waren die außerordentlichen Zuwachseinbußen in streugenutzten Wäldern. Ebermayers Untersuchungen begründeten die Forschungsbereiche der Forstdüngung und der forstlichen Ökosystemforschung, die vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zur Entfaltung kamen. Wichtige Stationen in der Untersuchung von Bioelementvorräten und Bioelementumsätzen waren die Vollbaumnutzung und die Nutzung des Potentials forstlicher Reststoffe zur Rohstoffgewinnung.

## **1. Die Zeit vor Ebermayer**

Über die Mengenanteile wirtschaftlich verwertbarer Koppelprodukte, die beim Holzeinschlag oder bei der Ernte von Feldfrüchten anfallen, wusste man von alters her gut Bescheid. Aufzeichnungen fehlen zwar, doch deuten Ergebnisse der Sprachforschung und Nutzwertbeschreibungen von Flächen in alten Kauf- und Tauschverträgen auf ein umfangreiches Erfahrungswissen hin, das offensichtlich mündlich weitergegeben wurde.

Ein hauptsächlich mündlich tradiertes Erfahrungswissen existierte in der Landwirtschaft auch über das Stoffrecycling: Dass organische Dünger wie Mist oder Waldstreu den Biomasseertrag der Äcker steigerten war allgemein bekannt. Ebenso hatten sich detaillierte Erfahrungen über das Mergeln der Felder herausgebildet: Intervalle und Dosierungen wurden in Abhängigkeit von der Bodenart vorgenommen; denn man hatte gelernt, dass zu hohe oder zu häufige Gaben auf Sandböden zu Humusschwund und Ertragseinbußen führten. Weitere Praktiken waren Aschedüngung und Dreifelderwirtschaft. In allen Fällen waren Intuition und Naturbeobachtung die Quellen dieses Grundwissens für nachhaltige Erträge in der Landwirtschaft.

In der Forstwirtschaft fehlte dieses Grundwissen. Die Waldflächen galten als eine sich selbst erneuernde Ressource. Die Nachhaltigkeit der Erträge schien gewährleistet zu sein durch Rationierung des Flächenabtriebes, geschicktes waldbauliches Management und Beachtung des "Ehernen Gesetzes des Örtlichen". Auch die Waldstreu galt als eine sich selbst erneuernde Ressource. Ihre Entnahme wurde nicht nur von den angeforsteten Bauern als Recht gefordert, sondern auch von den Förstern gefördert; denn die Einnahmen aus den Streuabgaben waren als Akzidentien Teil des Förstersoldes (REBEL 1920).

Das Wissen über Biomassekomponenten und Stoffrecycling erfuhr im 19.Jahrhundert durch die Entwicklung der Agrikulturchemie eine neue Grundlage. Einen Meilenstein setzte JUSTUS VON

LIEBIG (1840) mit der wissenschaftlichen Aufklärung der Rolle mineralischer Nährstoffe für den landwirtschaftlichen Ertrag. Seine Theorie der "chemischen Statik der Landwirtschaft" revolutionierte die Praxis. Die Entwicklung der Düngerindustrie war entscheidend für die Ernährung einer enorm wachsenden Bevölkerung im 19. Jahrhundert.

Liebigs Thesen stießen auf großes Interesse in der Forstwirtschaft; denn auf den streugenutzten Flächen zeigten sich seit den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts zunehmend Zuwachsrückgänge. Die Ursache lag nicht nur in der bereits lang andauernden Streunutzung, sondern auch in dem erhöhten Streubedarf der Landwirtschaft wegen des Bevölkerungswachstums und wegen wirtschaftlicher Schwierigkeiten infolge billiger Getreideeinfuhren. Streurechtsablösungen waren in Bayern wie auch in manchen anderen deutschen Ländern juristisch nahezu nicht durchführbar. Eine Regulierung der Streuabgaben, wie z.B. das Verbot der Streuabgabe in Beständen mit einem Alter unter der halben Umtriebszeit, das Gebot einer mehrjährigen Vorhege vor dem Abtrieb oder die Verlängerung der Zeitintervalle zwischen den Entnahmen führte zu keiner wesentlichen Verbesserung der Zuwachsverhältnisse.

An Düngungen im Wald wurde zwar ebenso gedacht, wie an Surrogierung der Waldstreurechte. Doch fehlten für beides die Grundlagenkenntnisse. Sie erhoffte sich die Forstwirtschaft von dem Liebig-Schüler Ernst Ebermayer.

## 2. Von Ebermayer zum Internationalen Biologischen Programm

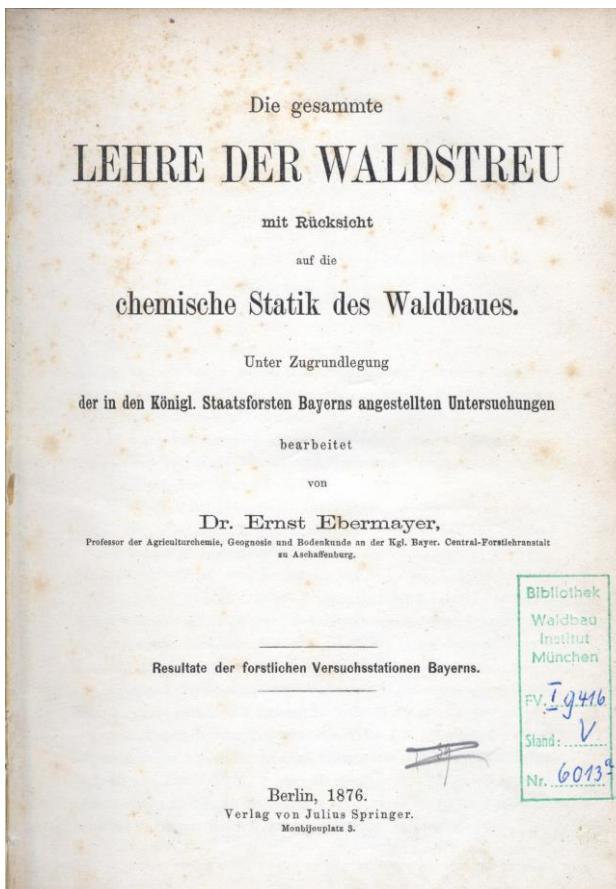


Abb. 1: Titelblatt Ernst Ebermayers Werk: "Lehre der Waldstreu" von 1876.

Ebermayer war in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts als Professor für Agrikulturchemie, Bodenkunde und Geognosie an die neu gegründete Central-Forstlehranstalt (später Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt an der Ludwig-Maximilians-Universität München) berufen worden. Er wurde hier mit der weltersten, forstökologischen Großuntersuchung betraut, deren Ziel es war,

- die chemische Statik des Waldbaus im Sinne Liebigs zu erforschen, und
- die Ursachen des Zuwachsrückgangs auf den streugenutzten Flächen zu klären.

Zwölf Jahre nahm diese Arbeit in Anspruch, großzügigst unterstützt von der Ministerialforstabteilung (damals eingegliedert in das Bayerische Staatsministerium der Finanzen) und den Bayerischen Forstämtern. 1876 erschien das Werk mit dem anspruchsvollen Titel, den Abb. 1 zeigt.

Das Buch behandelt umfassend die Bildung der Humusdecke und ihre Bedeutung für das Waldwachstum. Es informiert außerdem quantitativ, im Detail, über

- die Biomassekomponenten der Baumarten und ihre mineralischen und organischen Inhaltsstoffe,
- die Bioelementkreisläufe durch Streufall und Wurzelaufnahme
- die Bioelementspeicherung im Holzzuwachs und, vorübergehend, in den Kronenkomponenten, und
- die Bioelemententzüge durch Holznutzung und Streuentnahme

Ebermayer verglich die forstlichen Nutzungsentzüge mit jenen der Landwirtschaft und kalkulierte den monetären Wert der Waldstreu entsprechend ihrem Nährstoffgehalt im Anhalt an die Preise industrieller Mineraldünger.

| Oberförsterei                                                             | Metrosiole in Metern. | Holzbestand.                                                         | Durchschnittl. Bestandsalter, Jahre | Bezeichnung der Versuchsfäche und Jahrgang der Einsendung.                                                                                                                       | In 100 Gewichtstheilen lufttrockener Streu ist enthalten: |                      |           |                                  |                                                  | Mittel für Rohasche. | In 100 Gewichtstheilen Rohasche ist enthalten: | der Streumaterialien aus den bayerischen Staatsforsten. |        |      |                                |                 |               |  |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------|------|--------------------------------|-----------------|---------------|--|
|                                                                           |                       |                                                                      |                                     |                                                                                                                                                                                  | Wasser.                                                   | Organische Substanz. | Rohasche. | Achsengehalt wasserfreier Streu. | In 100 Gewichtstheilen Reinasche sind enthalten: |                      |                                                | Kali                                                    | Natron | Kalk | Bittererde                     | Eisenoxyd       | Phosphorsäure |  |
|                                                                           |                       |                                                                      |                                     |                                                                                                                                                                                  | Prozent.                                                  |                      |           |                                  | KO                                               |                      |                                                | NaO                                                     | CaO    | MgO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | PO <sub>4</sub> | Schwefelsäure |  |
| I. Buchen-                                                                |                       |                                                                      |                                     |                                                                                                                                                                                  |                                                           |                      |           |                                  |                                                  |                      |                                                |                                                         |        |      |                                |                 |               |  |
| Valepp<br>(bayerische Alpen, kgl. Forstamts Tegernsee.)                   | 1040                  | Fichten und Buchen mit eingesprengten Tannen, Ahorn und Ulmen.       | 97                                  | A. jährlich zu berechnende Fläche vom Jahr 1865.<br>B. (alle 3 Jahre zu berechnende Fläche.<br>A. vom J. 1869:<br>A. 1868 14,12 81,23 4,65 5,42<br>A. 1869 15,40 80,10 4,50 5,31 | 6,18                                                      | 5,62                 | 28,63     | 4,03                             | 2,32                                             | 1,94                 | 64,07                                          | 7,42                                                    | 3,62   | 4,39 | 1,48                           | 14,76           |               |  |
| Riss<br>(bayer. Alpen, kgl. Forstamts Tölz.)                              | 788                   | Fichten mit wenigen Buchen und Ahorn.                                | 45                                  | A. 1868 14,25 80,93 4,62 5,63<br>A. 1869 16,45 77,93 5,62 6,73<br>B. 1869 15,00 78,65 6,35 7,47                                                                                  |                                                           |                      |           |                                  |                                                  |                      |                                                |                                                         |        |      |                                |                 |               |  |
| Jachenau<br>(bayer. Alpen, kgl. Forstamts Tölz.)                          | 970                   | Fichten mit wenig Tannen u. Buchen.                                  | 124                                 | A. 1869 14,62 79,78 5,60 6,56<br>B. 1869 14,75 78,87 6,38 7,47                                                                                                                   |                                                           |                      |           |                                  |                                                  |                      |                                                |                                                         |        |      |                                |                 |               |  |
| Partenkirchen<br>(bayer. Alpen.)                                          | 935                   | Fichten. Das Buchenlaub ist aus den eingesendeten Proben ausgesucht. | 40                                  | A. 1868 14,76 78,37 6,87 8,06<br>A. 1869 14,40 79,95 5,65 6,60                                                                                                                   | 7,41                                                      | 10,00                | 27,26     | 4,65                             | 4,11                                             | 0,93                 | 62,48                                          | 5,29                                                    | 3,89   | 7,14 | 1,98                           | 14,18           |               |  |
| Unkenthal<br>Alpen (österr. Territorium, kgl. Forstamt Reichenhall)       | 730                   | Fichten u. Tannen. Das Buchenlaub scheint hingewechselt zu sein.     | 105                                 | A. 1869 14,23 78,60 7,17 8,36                                                                                                                                                    |                                                           |                      |           |                                  |                                                  |                      |                                                |                                                         |        |      |                                |                 |               |  |
| Hohenau<br>(bayerisch-böhmisches Grenzgebirge, kgl. Forstamts Wolfstein.) | 810                   | Fichten, Tannen und Buchen.                                          | 50                                  | A. 1870 14,90 79,52 5,28 6,20                                                                                                                                                    | 6,20                                                      | 6,20                 | 16,20     | 4,81                             | 8,35                                             | 2,24                 | 42,45                                          | 5,93                                                    | 1,37   | 3,84 | 1,93                           | 33,89           |               |  |
| Kipfenberg<br>(fränkischer Jura, kgl. Forstamts Eichstätt.)               | 530                   | Buchen mit einzelnen Elsbeerbäumen und Fichten.                      | 95                                  | A. 1867 14,30 79,82 5,88 6,86<br>A. 1869 15,67 79,73 6,60 7,65<br>B. 1867 12,50 81,70 5,80 6,62<br>B. 1869 13,75 79,65 6,60 7,65                                                 | 7,19                                                      | 7,86                 | 26,25     | 4,73                             | 3,39                                             | 1,95                 | 66,38                                          | 5,74                                                    | 1,62   | 3,02 | 2,02                           | 15,88           |               |  |
| Schernfeld<br>(fränkischer Jura, kgl. Forstamts Eichstätt.)               | 520                   | Buchen m. Birken und Aspen.                                          | 46                                  | A. 1868 14,45 79,20 6,35 7,42<br>A. 1869 12,40 80,25 7,35 8,40<br>B. 1868 14,57 79,18 6,25 7,32<br>B. 1869 12,25 81,45 6,30 7,19                                                 | 7,58                                                      | 10,20                | 19,00     | 5,37                             | 2,85                                             | 0,74                 | 64,73                                          | 6,93                                                    | 3,81   | 3,51 | 2,20                           | 15,23           |               |  |
| Breitenfurth<br>(fränkischer Jura, kgl. Forstamts Eichstätt.)             | 520                   | Buchen fast rein, einzelne Fichten und Kiefern eingesprengt.         | 95                                  | A. 1868 12,17 81,45 6,38 7,28<br>(frisch gefall. Streu)<br>A. 1868 13,60 78,20 8,20 9,49<br>(4-jährige alte Streu)<br>B. 1868 13,00 78,68 8,32 9,57<br>(1 bis 3-jährige Streu)   | 8,78                                                      | 8,32                 | 24,67     | 5,88                             | 4,52                                             | 0,73                 | 59,21                                          | 4,33                                                    | 3,88   | 5,10 | 2,17                           | 20,06           |               |  |

Abb. 2: Chemische Analyse von Buchenlaubstreu, verschiedene Standorte, Auszug aus EBERMAYER 1876.

Wegweisend war der experimentelle Teil seiner Arbeit: Auf 87 Versuchsflächen, verteilt über Bayern, wurde der Streuertrag und Bioelemententzug bei jährlichem, dreijährigem und sechsjährigem Rechturnus über 10 bis 12 Jahre untersucht (siehe Abb. 2). Außerdem wurde der Einfluss unterschiedlich starker Streuentzüge auf den Holzzuwachs bestimmt.

Von Ebermayers Werk über die Waldstreu gehen zwei Forschungsrichtungen aus, die vor allem in den letzten 50 Jahren zur Entfaltung kamen: die Forstdüngung und die forstliche Ökosystemforschung.

Die Entwicklung der Forstdüngung führte zunächst in eine Sackgasse. Der Grund: Ebermayer hatte 1876 noch nicht erkannt, dass Stickstoff das wuchsbegrenzende Nährelement war. Er wusste zwar, dass es bei der Streunutzung mengenmäßig am stärksten von allen Elementen entzogen wurde; doch glaubte er, dass Stickstoff aus der Atmosphäre in ausreichendem Maße eingetragen würde und zwar hauptsächlich im Wege der Ammoniakadsorption an Bodenteilchen. Den Ernährungsengpass der streugenutzten Bestände sah er in der unzureichenden Nachlieferung von Nährelementen aus der Gesteinsverwitterung, also von Ca, Mg, K und P: Sie sei auf vielen Standorten zu langsam, um den Entzug durch die Streunutzung, die den Kreislauf dieser Nährstoffe unterbricht, wett zu machen. Ebermayers vorgefasste Meinung führte dazu auch, dass in seiner experimentellen Untersuchung nur Ascheanalysen vorgenommen wurden. Sie bestätigten scheinbar seine Meinung; denn in der Tat waren die devastiertesten Standorte auch jene mit den geringsten Ca-, Mg- und P- Gehalten in der Streu.

Ebermayer erkannte früh den über physiologie Irrtum und revidierte seine Meinung in seinem zweiten großen Werk über die physiologische Chemie der Pflanzen (EBERMAYER 1882) und in einer weiteren Publikation. Aber er fand kein Gehör, zumal auch sein Nachfolger Ramann an der alten Version festhielt. So beschäftigte sich das forstliche Düngungswesen über Jahrzehnte mit Kalkung, Ausbringung von Industrieschlacke und von Gips. Die Humus- und Streuforschung wurde weiter getrieben, insbesondere unter dem Einfluss von Düngungen (HESSELMAN 1926, WITTICH und viele andere). Dies führte zu interessanten Ergebnissen, doch die Resultate im Hinblick auf Zuwachs waren eher enttäuschend, wie WIEDEMANN (1932) zusammenfasste. Einen neuen Anfang brachten erst die überraschenden Ergebnisse über Zuwachssteigerungen durch ein Ammoniumnitratdüngungsexperiment im schwedischen Wald durch HESSELMAN (1937). Nach dem Krieg entwickelte sich dieser Wissensbereich der Forstdüngung im Zusammenhang mit der Waldernährung auf breiter Front in Schweden, den USA, Deutschland, hier vor allem auch in München, in Großbritannien etc.

Erwähnt sei in diesem Zusammenhang noch ein Untersuchungsergebnis Ebermayers, das in den deutschen Wäldern einen positiven Widerhall fand: die verstärkte Beimischung der Buche zur Fichte. Ebermayer empfahl dies wegen der besonders stickstoffreichen leicht zersetzbaren Streu der Buche.

Die ebenfalls auf Ebermayer zurückgehende Entwicklung der forstlichen Ökosystemforschung ist wie die Stickstofffrage durch eine lange Karenzzeit gekennzeichnet. Erst Mitte der 50er Jahre wurden die Ideen Ebermayers wieder aufgegriffen durch Rennie in seiner Arbeit über den Nährstoffumlauf in hiebsreifen Erstaufforstungen auf britischen Heideböden (RENNIE 1955). TAMM (1995) spricht von einer Wiederentdeckung Ebermayers durch Rennie, die zu einer Renaissance der Untersuchung von Nährstoffkreisläufen in Wäldern führen sollte. Die Briten OVINGTON UND MADGEWICK (1958), und OVINGTON (1962), sowie die Belgier DUVIGNEAUD und DENAYER-DE SMET (1964) setzten diese Forschungsrichtung fort, die schließlich in das Internationale Biologische Programm (IBP) einmündete (ELLENBERG 1967). Ziel dieses Programmes war es, den Nährstoffkreislauf in Verbindung mit der Nettoprimärproduktion weltweit in definierten terrestrischen, aquatischen und marinen Ökosystemen zahlenmäßig zu untersuchen. Die aktivste Phase war in den Jahren zwischen 1966 und 1974. Die Führung lag bei Pflanzenökologen und Vegetationskundlern. Nur in geringer Zahl waren Forstökologen beteiligt.

Die meisten äußerten Kritik am Konzept, soweit Wälder betroffen, da die Ergebnisse der Waldernährungsforschung, der forstlichen Standortskunde und Bodenökologie nicht genügend berücksichtigt waren. Der wissenschaftliche Fortschritt schien ihnen zu gering zu sein. Die forstliche Praxis ging ebenso auf Distanz, da sie ihre spezifischen Probleme zu wenig beachtet sah. Letztlich bekannte selbst ELLENBERG (1986) ebenso gegen Ende des IBP, dass "für überschaubar gehaltene Zusammenhänge als stärker verwickelt, manche Gesetzmäßigkeiten als nicht allgemeingültig und viele Modellvorstellungen als unrealistisch sich erwiesen" hatten. Dennoch war das IBP kein glatter Fehlschlag, denn es wurden zahlreiche interessante Daten gerade auf dem Gebiet der Biomassenerhebungen (z.B. v. DROSTE 1969) und Bioelementinventuren (z.B. YILDIRIM 1978) erarbeitet, die heut als Vergleichszahlen zur Verfügung stehen. Außerdem muss man als positiv herausstellen, dass sich einige Projekte des IBP sehr gut weiter entwickelten wie das Solling- Projekt, das nach Abschluss des IBP von der deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Bundesministerium für Forschung und Technologie weitergefördert wurde.

Auch andere Projekte bezogen wesentliche Erfahrungen aus dem IBP wie z.B. das "northern coniferous project" in Schweden (PERSSON 1980) oder auch das Höglwaldprojekt (KREUTZER UND BITTERSOHL 1986). Es war ebenso wie das schwedische Nadelwaldprojekt von vornherein als experimentelles Projekt konzipiert worden, da wir davon ausgingen, dass die Erfassung der steuernden Mechanismen in einem Ökosystem mehr Experimentieren erfordert als dies bisher, insbesondere im IBP, geschehen war. Schon Ebermayer stützte sich nicht ausschließlich auf zahlenmäßige Beschreibung der Stoffkreisläufe sondern experimentierte.

### **3. Die Voll- und Ganzbaumnutzung**

Mit der Entwicklung der Harvester entstanden in den 60er und 70er Jahren die durchrationalisierten Ernteverfahren der Voll- und Ganzbaumnutzung (Letztere entnimmt zusätzlich zum oberirdischen "Vollbaum" den Stubben und einen Teil der stärkeren Wurzeln.). Damit aktualisierte sich die alte Problematik, dass ein nachhaltiger Ertrag in der Forstwirtschaft nur dann gewährleistet ist, wenn das forstliche Management nicht zu stark eingreift in das Funktionieren der forstlichen Ökosysteme.

Aus produktionsökologischer Sicht stellten sich bei Voll- und Ganzbaumnutzung zunächst folgende Fragen:

- Wie hoch ist der zusätzliche Entzug an Biomasse und Nährlementen im Vergleich zur konventionellen Nutzung?
- Welchen Anteil hat dieser zusätzliche Nährstoffexport an der Nährstoffbilanz der Bestände?
- In welchem Verhältnis steht dieser Export zu dem Vorrat an verfügbaren und leicht mobilisierbaren Nährlementen im Boden?

Zu einer raschen, realistisch approximierten Beantwortung solcher Fragen wurden Ertragstafelbestände der wichtigsten Wirtschaftsbaumarten bei guter und geringer Bonität, sowie praxisüblicher Umtriebszeit herangezogen (KREUTZER 1976, 1979, HABEREIDER 1997). Für die Schätzung der Bioelementkomponenten und der Nährlementenzüge dienten neben stichprobenweisen eigenen Untersuchungen auch Ergebnisse aus dem Internationalen Biologischen Programm. Die Kompilation der ermittelten Zahlen zeigte für die Vollbaumnutzung, dass innerhalb einer Umtriebszeit z.B. bei

Fichte der Export an N 2 - 2.5 mal, an P 4.5 - 5.5 mal, an K 2 - 2.5 mal, an Ca 1.5 - 2.0 mal und an Mg 1.5 - 2.0 mal so hoch ist wie bei konventioneller Derbholznutzung ohne Rinde. Dabei ist unterstellt, dass bei Voll- und Ganzbaumnutzung etwa die Hälfte des Reisigs und der Äste am Standort verbleibt, da ein großer Teil dieser Kronenkomponenten beim Fäll- und Rückevorgang abbricht. Bezieht man solche Nährstoffstoffsverluste in die Nährstoffbilanz der Bestände ein und vergleicht das Ergebnis mit dem Vorrat an verfügbaren plus leicht mobilisierbaren Nährelementen im Boden, so ergeben sich Hinweise über notwendig werdende Düngungen (ULRICH 1975, KREUTZER 1980). Bodeninventuren der Bodeninventuren der wichtigsten Standortseinheiten sind hierfür eine wertvolle Hilfe. Unter heutigen Verhältnissen wäre es bei Voll- und Ganzbaumnutzung vor allem die K-, Mg- und z.T. auch die P- Düngung, die auf bestimmtem Standorten notwendig werden könnte.

Neben dieser langfristigen, über die gesamte Umtriebszeit ausgedehnten Betrachtung müssen auf sehr armen Standorten auch kurzfristige Wuchsverschlechterungen bei Durchforstungen mit Vollbaumentnahmen in Betracht gezogen werden. Der Grund liegt darin, dass sich auf nährstoffarmen Böden die Unterbrechung des Nährstoffkreislaufes empfindlicher auswirkt als auf guten; denn die Umsatztätigkeit der Mikroorganismen hängt auf armen Standorten wesentlich stärker und unmittelbarer von der kurzfristigen Zufuhr an Streu ab als auf guten Standorten. Bei reduzierter Zufuhr infolge von Vollbaumdurchforstungen fehlt eben den Streuzersetzern ausreichend Energiematerial für ihre Lebensprozesse. Sie nehmen ab an Menge und Diversität. Ohne eine effiziente Population an Streuzersetzern ist der Waldboden aber außerstande, die Bäume mit Nährstoffen zu versorgen. Auf guten Standorten kommt es dagegen kaum zu solchen kurzfristigen Effekten, da hier die Nachlieferung aus dem Boden größer ist. Im Gegenteil, es führen hier starke Durchforstungen zu einem Mehrangebot an Nährstoffen pro Baum wegen der Minderung der intraspezifischen Konkurrenz. Ebenso wird mehr Wasser pro Baum angeboten. Die Folgen sind häufig ein vorübergehender baum-individueller Mehrzuwachs, vermehrtes Wachstum der Bodenvegetation und/ oder erhöhte Nährstoffauswaschung mit dem Sickerwasser.

Neben den Biomasse- und Nährstoffexport stellen sich bei Voll- und Ganzbaumnutzung noch weitere Fragen. Sie betreffen bodenphysikalische Veränderungen oder auch die Waldästhetik; denn Schlagflächen gleichen vor allem nach Ganzbaumnutzung einem Schlachtfeld, bei feuchter Wittring durchsetzt von Pfützen und Morast.

## **4. Die Schätzung des Potentials verwertbarer Rohstoffe in den Wäldern der Bundesrepublik Deutschland**

Angesichts weltweit rückgängiger Energie- und Rohstoffreserven ließ die Bundesregierung in Jahren 1977 bis 1979 eine Studie über die Nutzungsmöglichkeiten der damals in den Wäldern vorhandenen Reststoffmengen ausarbeiten (BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE 1979). Zu den Reststoffmengen zählten neben dem nicht aufgearbeiteten Derbholz und den Durchforstungsrückständen auch die Biomassekomponenten Reisholz, Rinde, Laub- und Nadelmasse, Stock- und Stubbenholz. Aus dieser Projektstudie wird im Folgenden die mathematisierte Herleitung von Reststoffkomponenten "Reisholz" (= Holzmasse mit Durchmesser < 7 cm) und "Laub bzw. Nadelmasse" dargelegt (DAUBER und KREUTZER 1979).

Die Herleitung unterstellt, dass diese Komponenten vor allem von der Baumart und dem Brusthöhendurchmesser (BHD) abhängig sind. Nicht berücksichtigt wurden das Baumalter, die Baumhöhe, die Bestockungsdichte, der Bestandesaufbau und standörtliche Faktoren als mögliche Einflußfaktoren.

Als Bezugsbasis verwendeten wir das absolute Trockengewicht des Derbholzvolumens mit Rinde aus folgenden Gründen:

- Das eingeschlagene Derbholz wird in den Einschlagsstatistiken der Länder differenziert nachgewiesen, so dass es zur Hochrechnung der übrigen Biomassekomponenten in erster Linie in Frage kam.
- Für die Biomassekomponenten liegen in der Literatur hauptsächlich gewichtsbezogene Relativzahlen vor.
- In der deutschsprachigen Literatur sind die Relativzahlen zumeist auf das Derbholz mit Rinde bezogen.

Für die Bezugsgröße BHD diente die durchmesserklassenweise Aufgliederung der bayerischen Einschlagsstatistiken aufgrund einer in Bayern vorgenommenen Holzaufkommensprognose, die eine Strukturprognose einbezog (FRANZ 1976).

Die funktionale Beziehung zwischen dem Brusthöhendurchmesser und den derbholzbezogenen Anteilen des Reisholzes mit Rinde sowie der Laub / Nadelmasse beruht auf den von BURGER (1941, 1947/ 48, 1949/ 50, 1953 ) in der Schweiz ermittelten Zahlen (Abb. 3). Dieses Zahlenmaterial galt damals als das umfassendste für den mitteleuropäischen Raum.

Die allgemeine Gleichung lautet:

$$K = e^{\left( a + \frac{b}{d} + \frac{c}{e^d} \right)} \quad (1)$$

Wobei:

$K$  = Prozentualer Anteil der Biomassekomponente, bezogen auf das Trockengewicht des Derbholzes mit Rinde

$d$  = Brusthöhendurchmesser

$a, b, c$  = Regressionskoeffizienten

Wie aus Abb. 3 hervorgeht sind die Bestimmtheitsmaße ( $r^2$ ) bei Fichte, Buche und Eiche mit Werten zwischen 0,77 und 0,85 für die Nadel-/ Laubmasse, und zwischen 0,86 und 0,95 für Reisholz hoch bis sehr hoch. Die auffallend geringe Bestimmtheit bei der Kiefer beruht einerseits auf dem zahlenmäßig begrenzten statistischen Ausgangsmaterials Burgers für diese Baumart, andererseits scheinen die relativen Anteile der Biomassenkomponenten sehr viel stärker als bei anderen Baumarten von standörtlichen Faktoren beeinflusst zu sein. Darauf deuten die Untersuchungen von SCHMIDT (1971) in der Oberpfalz und von HEINSDORF und KRAUS (1990) in Nordostdeutschland hin. Auch KREUTZER (1976) berichtet von höheren Reisholz und Nadelanteilen bei schlechten Bonitäten der Kiefer. Die von v. DROSTE (1969) in einem 76- jährigen Fichtenbestand des Forstamtes Ebersberg ermittelten Werte stimmen dagegen gut mit den bisherigen Werten überein.

Auch die von KREUTZER (1976) publizierten Daten für Reisholz und Reisig bei Fichte und Kiefer erster Bonität sowie für Buche generell gleichen weitgehend den Werten in Abb. 3.

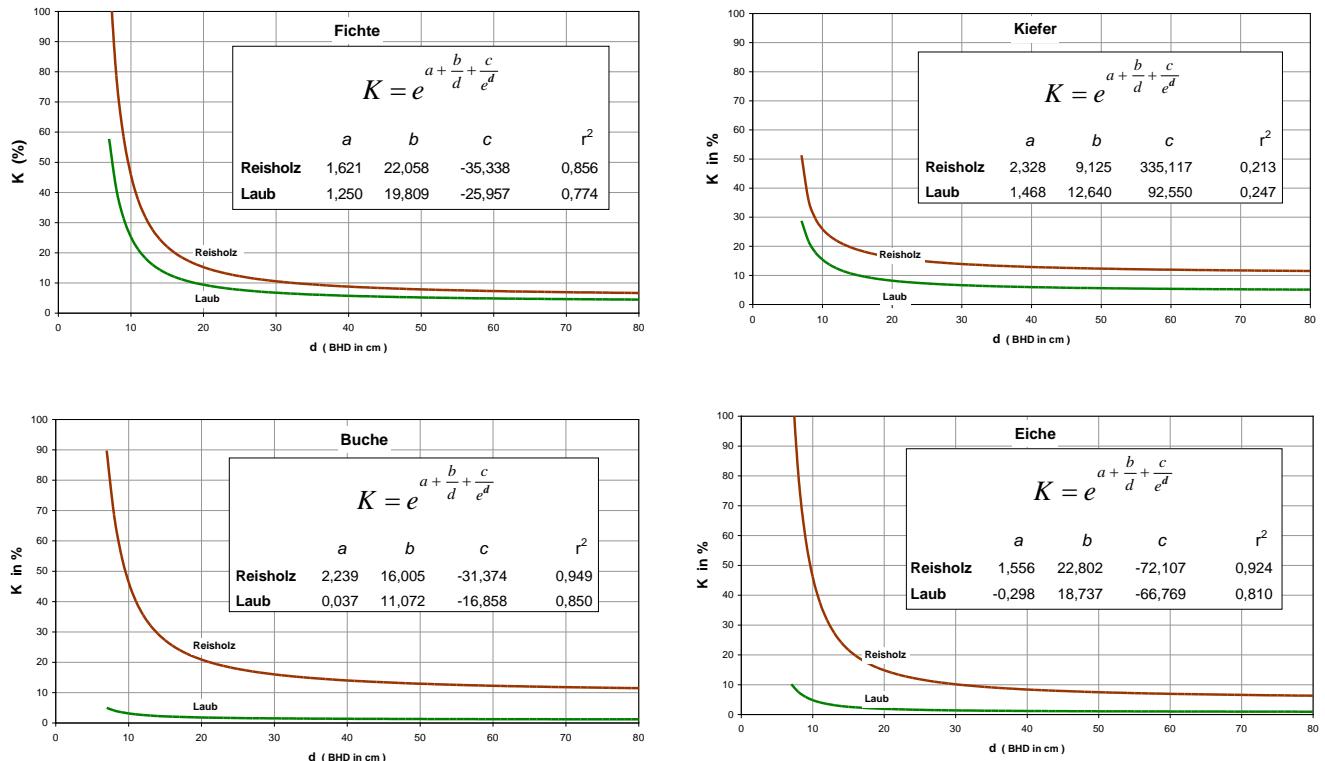


Abb. 3: Beziehung zwischen prozentualen Anteil der Biomassekomponente K (bezogen auf das Trockengewicht des Derbholzes mit Rinde) und dem Brusthöhendurchmesser (d) der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche.

## 5. Diskussion und Schlussfolgerungen

- Die Untersuchung der Biomassekomponenten und Bioelementgehalte ist in vielen Fällen unabdingbar für die Klärung von Fragen der forstlichen Praxis. Außerdem bilden diese Untersuchungen einen wichtigen Teilbereich innerhalb der forstökologischen Forschung. Sie sind hier vielfach ein Bindeglied zwischen verschiedenen Disziplinen der Forstökologie wie z.B. zwischen Ökophysiologie und Biomasseproduktion inklusive - allokalation, oder zwischen ökosystemaren Stoffumsätzen und Standortseinflüssen. Ihre Bedeutung geht auch über den forstlichen Bereich hinaus wie z.B. bei Umweltfragen der Retention bzw. Mobilisierung von Kohlenstoff oder Stickstoff in der forstlichen Biomasse.
  - Die Ergebnisse von Biomasseraffelungen und Bioelementinventuren gewinnen ihre Bedeutung durch übergeordnete Fragestellungen, in die sie als notwendiger Teilbereich einbezogen sind. Ansonsten sind die Ergebnisse bestenfalls interessant, nicht aber unbedingt wissenschaftlich.
- Fragestellungen aus der forstlichen Praxis sind in der Regel klar abgegrenzt und erfordern streng zielorientierte, heuristische Lösungen, die möglichst rasch als Entscheidungshilfen vorliegen sollen. Dies bedeutet, dass nur soviel an Untersuchungsaufwand zu investieren ist,

wie es die Beantwortung der gestellten Frage erfordert. Dabei wird in der Regel ein gewisser Unschärfebereich in Kauf zu nehmen sein. Wissenschaftliche Fragestellungen müssen jedoch im Gegensatz zur angewandten Forschung von vornherein sehr viel offener sein; denn ihr Ziel ist es, in wissenschaftliches Neuland zu führen und analytische Begründungen für ihre Befunde zu liefern. Dies impliziert naturgemäß Holzwege. Es erfordert Geduld und höheren Kostenaufwand, wenn Erstklassiges zuwege gebracht werden soll. Das IBP und die Waldschadensforschung sind hierfür ambivalente Beispiele.

- In Anbetracht der zahlreichen Untersuchungen zu Biomassekomponenten und Bioelementgehalten, die in den letzten Jahrzehnten verstreut publiziert wurden, wäre es sinnvoll, nach kritischer Sichtung eine Zusammenstellung der Ergebnisse vorzunehmen. In eine solche Zusammenstellung sollten auch die Biomassen und Bioelementgehalte der Baumwurzeln, der ober- und unterirdischen Teile der Bodenvegetation und der Mikroorganismen einzbezogen werden.
- Ohne Rücksicht auf die jeweilige Fragestellung sollte man sich bei künftigen Untersuchungen (und soweit möglich auch bei Auswertung älterer Untersuchungen) an eine einheitliche Klassifizierung und Benennung der Biomasseteile halten. Dies gilt besonders für Wurzeluntersuchungen.
- Zu wenig Rücksicht wurde m. E. bisher auf die saisonale Zeitbezogenheit der Untersuchungsergebnisse gelegt. Dies gilt besonders bei der Untersuchung der Bodenvegetation, der Feinwurzeln und Mikroorganismen. Ihre Biomasse variiert je nach dem saisonalen Zeitpunkt; sie geht z.T. auch einher mit Änderungen in der Artenzusammensetzung im saisonalen Aspekt. Auch interannuelle Unterschiede sind oftmals von Bedeutung.

## 6. Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE. 1979. Potential forstlicher Rohstoffe Forschungsprojekt T 79 - 95. Projektleiter: Prof. Kreutzer, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München. Fachinformationszentrum Eggenstein, 488 S.
- BURGER, H., 1941, Blattmenge und Zuwachs, Fichten und Föhren verschiedener Herkunft. Mitt. D. Schweiz. Forstl. Vers.Amt., Bd. 25, H. 1.
- BURGER, H., 1947/ 48, Holz, Blattmenge und Zuwachs. Die Buche. Mitt. D. Schweiz. Forstl. Vers. Anst., Bd. 26, H.1.
- BURGER, H., 1953, Holz, Blattmenge und Zuwachs. Fichten im gleichaltrigen Hochwald. Mitt. D. Schweiz. forstl Vers. Anst., Heft 3.
- BURGER, H., 1953, Holz, Blattmenge und Zuwachs.Die Buche. Mitt. D. Schweiz. forstl. Vers. Anst., Bd. 26, H.2.
- DAUBER, E. UND K. KREUTZER, 1979, Die Ermittlung des Potentials forstlicher Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. Forstw. Cbl. 98, 289 - 297.
- DROSTE, B. VON, 1969, Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes aufgrund einer Dimensionsanalyse an oberirdischen Baumorganen. Diss. München, 220 S.
- DUVIGNEAUD P., UND S. DENAYER – DE SMET, 1964, Le cycle des éléments biogènes dans l'écosystème forêt. Lejeunia, Revue de Botanique, 28, 148 S.
- EBERMAYER, E., 1876, Die gesamte Lehre der Waldstrreu mit Rücksicht auf die chemische Statik des Waldbaus. Springer, Berlin, 416 S.
- EBERMAYER, E., 1882, Physiologische Chemie der Pflanzen. Springer, Berlin, 862 S.
- ELLENBERG, H., 1967, Internationales Biologisches Programm - Beiträge der Bundesrepublik Deutschland. Bad Godesberg (DFG) 28 S.

- ELLENBERG, H., R. MAYER UND J. SCHAUERMANN 1986, Ökosystemforschung, Ergebnisse des Sollingprojektes. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart, 507 S.
- FRANZ, F., 1976, Verfahrensgrundlagen der Holzaufkommensprognose für Bayern, Forschungsberichte der Forstl. Forsch. anst., München, H. 29.
- HABEREDER, R., 1997, Auswirkungen maschineller Durchforstungstechnik (Harvester) auf den Nährstoffvorrat im Boden. Forst und Holz, 52. Jg. S. 31 - 34.
- HEINSDORF, D. UND H.H. KRAUS 1990, IFE Berichte aus Forschung und Entwicklung 18. Schätztafeln für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung von Kiefernbeständen 77 S.
- HESSELMAN, H., 1926, Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes und deren Abhängigkeit vom Waldbau. Medd. Skogsförsöksanst., Stockholm, 22, 169 - 552.
- HESSELMAN, H., 1937, Über die Abhängigkeit der Humusdecke von Alter und Zusammensetzung der Bestände im nordischen Fichtenwald vom blaubeerreichen Vacciniumtyp und über die Einwirkung der Humusdecke auf die Verjüngung und das Wachstum der Wälder. Medd. Skogsförsöksanst. Stockholm 30, 529 - 716.
- KREUTZER K. UND E. DAUBER, 1979, Ökologische Fragen zur Vollbaumernte. Forstw. Cbl. 98, S. 298 - 308.
- KREUTZER, K., 1976, Der Einfluss der Wirtschaftsführung auf den Nährstoffhaushalt mitteleuropäischer Wälder. Konferenz ELMIA Jönköping, Schweden, S. 20 - 38.
- KREUTZER, K., 1980, Der Einfluss moderner Holzernteverfahren auf die Ökologie des Waldes. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie. Freising 1979, S. 229 - 233.
- LIEBIG, J. VON, 1840, Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Braunschweig.
- OVINGTON, J.D. AND H.A.I. MADGWICK. 19958, The sodium, potassium and phosphorus contents of tree species grown on close sands. New Phytol. 46, S. 273 - 284.
- OVINGTON, J.D., 1962; Quantitative ecology and woodland ecosystem. Advances in Ecology. S. 151 - 175.
- PERSSON, T., 1980 (ed.) Structure and function of northern coniferous forests. Ecol. Bull., Stockholm 32, 609 S.
- REBEL, K., 1920, Streunutzung insbesondere im bayerischen Staatswald. Verlag Huber Diessen.
- RENNIE, P.J., 1955, Uptake of nutrients by mature forest trees. Plant Soil 7, 49.
- SCHMIDT, A., 1971, Wachstum und Ertrag der Kiefer auf wirtschaftlich wichtigen Standorten der Oberpfalz. Forstl. Forschungsber. 1, Forstl. Forschanst., 187 S.
- TAMM C.O., 1995, Towards an understanding of the relations between tree nutrition, nutrient cycling and environment. Plant and Soil. 168 - 169, S. 21 - 27.
- ULRICH B., 1975, Rückwirkungen der Wirtschaftsführung über den Nährstoffhaushalt auf die Leistungsfähigkeit der Standorte. Forstarchiv 46.
- WIEDEMANN, E., 1932, Der gegenwärtige Stand der forstlichen Düngung. Arbeiten der Dt. Lasndwirtsch. Gesellsch. 385.
- WITTICH, W., 1961, Der Einfluss der Baumart auf den Bodenzustand. Allg. Forstz. 132 (2).
- YILDIRIM, M., 1978, Der Nährstoffexport aus Fichtenreinbeständen in Abhängigkeit vom Holzernteverfahren. Diss., Göttingen

# Themenschwerpunkt Methoden

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| P. Rademacher et al.       | 21  |
| E. Hochbichler             | 37  |
| R. Kallweit                | 47  |
| H.-P. Dietrich et al.      | 59  |
| S. Raspe                   | 73  |
| W. Beck                    | 83  |
| A. Bolte                   | 93  |
| R. Heitz                   | 102 |
| K. v. Wilpert, J. Schäffer | 109 |



# **Ermittlung der Ernährungssituation, der Biomasseproduktion und der NährELEMENTakkumulation mit Hilfe von Inventurverfahren sowie Quantifizierung der Entzugsgrößen auf Umtriebsebene in forstlich genutzten Beständen**

**Peter Rademacher, Henning Meesenburg, Karl Josef Meiwas**

## **1. Einleitung**

Die Menge der in der aufwachsenden Biomasse von Wäldern gebundenen NährElemente hat in den vergangenen Jahrzehnten angesichts knapper Bodenvorräte an Bedeutung gewonnen. Auch ohne einen späteren **NährELEMENT-Entzug** im Rahmen der forstlichen Nutzung kann die vorübergehende **Festlegung dieser Elemente** in den Bestandeskompartimenten von Wäldern zu einer nennenswerten Verknappung der für die laufende Bestandesernährung wichtigen Nährstoffe führen.

Bei der Quantifizierung der **dem Boden entzogenen NährELEMENTmengen** gilt es zu unterscheiden zwischen den tatsächlich im Rahmen der forstlichen Nutzung mit dem Erntegut exportierten und den lediglich während der Umtriebsphase festgelegten und nach der Ernte z.T. aus den Ernteabfällen wieder frei werdenden NährELEMENTmengen. Dagegen spielt es keine Rolle, ob geerntete und vom Hiebort abtransportierte Biomassesortimente tatsächlich vermarktet werden, als X-Holz im Wald verbleiben oder aber das gesamte Erntegut mitsamt Ernteabfällen zur Weiteraufarbeitung an die Rückegasse oder den Holzaufarbeitungsplatz verlagert wird. Jeglicher Abtransport vom Hiebort stellt bilanztechnisch einen NährELEMENTentzug dar.

**Ökosystembilanzen**, die die wesentlichen Ein- und Austragsflüsse an Nähr- und Schadelementen im betrachteten System bilanzieren, stellen ein wichtiges Instrument zur Erfassung und Quantifizierung von Vorratsänderungen im Waldökosystem dar. Zu den **Einträgen** gehören hier v.a. die atmosphärische Deposition, die Silikatverwitterung sowie Stoffzufuhren über Düngungs- oder Kalkungsmaßnahmen. Die **Stoffausträge** werden im wesentlichen bestimmt durch den Sickerwasseraustrag sowie die Aufnahme und die Akkumulation im Bestand und ggf. den Stoffexport über die Biomassenutzung.

Bisher wurden Biomasse- und Elementinventuren vielfach in Eichen-, Kiefern-, Buchen- und Fichten-Wäldern durchgeführt, die nicht auf den Fallstudienflächen liegen, auf denen Ein- und Austragsbilanzen durchgeführt wurden. Legt man Studien über die Festlegung bzw. die Entzüge von NährElementen mit solchen Fallstudienflächen zusammen, wird es möglich, die Ergebnisse in Ökosystembilanzen zu integrieren. Unter dem Gesichtspunkt der **Nachhaltigkeit** müssen sich die Stoffein- und Austräge im Waldökosystem ausgleichen, d.h. Vorratsveränderungen im System finden langfristig nicht statt.

## 2. Methode

### 2.1 Charakterisierung der Ernährung der Bestände

Die verbreitetste Methode zur Einschätzung der NährELEMENTversorgung von Wäldern stellt die Analyse der Nadeln und Blätter dar. Diese standortsspezifischen Ergebnisse werden verglichen mit Orientierungswerten aus der Literatur. Anhand sogenannter **Blatt- bzw. Nadelspiegelwerte** werden hierbei Bereiche optimaler Pflanzenernährung sowie Abweichungen nach unten (geringe Versorgung bis Mangel) oder oben (hohe Versorgung bis Luxus oder Toxizität) unterschieden (FIEDLER ET AL., 1973; REHFUESS, 1983; AK-STANDORTSKARTIERUNG, 1996; FOLIAR EXPERT PANEL, 1995). Dieser Beurteilungsrahmen baut auf umfangreichen Messreihen auf und berücksichtigt auch artenspezifischen Reaktionen der Bäume auf abgestufte Elementgehalte sowie das Verhältnis bestimmter Elemente zueinander (WEHRMANN, 1959; INGESTAD, 1959; VAN DEN BURGH, 1985; 1990; ZÖTTL & HÜTTL, 1986; BERGMANN, 1988; RIEK & DIETRICH, 2000).

Neben den Nadel- und Blattspiegelwerten können auch weitere Baumkompartimente, wie das Derbholz oder die Derbrinde (Einzelkompartiment-Betrachtung) sowie der gesamte oberirdische (Vollbaum-Betrachtung) oder der ober- und unterirdische Bestand (Ganzbaum-Betrachtung) zur Charakterisierung der Ernährung des Bestandes herangezogen werden. Hierzu werden die durchschnittlichen **Elementgehalte des gesamten Baumes** bzw. des gesamten Bestandes als gewogenes Mittel über alle Baumkompartimente proportional zum Biomasseaufkommen der Einzelkompartimente ermittelt.

### 2.2 Biomasse- und NährELEMENTinventuren

Aus eigenen Erhebungen sowie aus Literaturangaben liegen für den nordwestdeutschen Raum Inventurergebnisse von jeweils 5 bis 30 Einzelbäumen für 3 Kiefernbestände, 5 Fichtenbestände, 4 Buchenbestände und 1 Eichenbestand vor, die seitens der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt für entsprechende Berechnungen der Biomasse- und Nährstoffquantifizierung verwendet wurden (PAVLOV, 1972; ELLENBERG ET AL., 1986; PELLINEN, 1986; MEIWES & BEESE, 1988; AKÇA ET AL., 1994; RADEMACHER, 1994; RADEMACHER ET AL., 1992; 1999; 2001). Die beprobten Standorte verteilen sich auf das **südniedersächsische Bergland** mit dem Solling (SLFI [Fichte] und SLBU [Buche]) und den Göttinger Wald (GWBU [Buche]), den **Harz** (LBFI [Lange Bramke/ Fichte]) sowie das **pleistozäne Tiefland** mit den Standorten Fuhrberg (FUKI [Kiefer]) und Ehrhorn (EHEI [Eiche]) bis in die **Küstenregion** des Standortes Postturm (PTFI [Fichte]) im östlichen Schleswig-Holstein (Tab. 1).

Für den Solling werden derzeit zusätzlich für unterschiedlich nährstoffversorgte Standorte in drei Bestandesaltersstufen an rd. 100 Fichten und 100 Buchen die Biomasse- und NährELEMENTvorräte erhoben und damit der Schritt von der Fallstudie in die Fläche gemacht (RADEMACHER & MÜLLER-USING, 2001).

Für die Inventuren wurden in unterschiedlich alten Beständen die **Biomassevorräte** in bis zu 40 Einzelkompartimenten durch Wäge- und Volumenmessverfahren bestimmt und die entsprechenden Wasser- und **Elementgehalte** an Laborproben analysiert. Zusätzlich wurde mit Hilfe von **Probe-**

**kreisen** der stockende Biomassevorrat der einzelnen Bestände berechnet und durch Verknüpfung mit den Elementgehalten die Nährelementfestlegung in den forstlich relevanten Bestandeskompartimenten ermittelt (RADEMACHER ET AL., 1992; 1999; 2001).

Tab. 1: Standortsdaten von 7 nordwestdeutschen Fallstudien.

| Standort       | Kürzel | Nds. Forstamt     | Lage                | Baum-<br>Art | Alter<br>Jahre | EK | Bäume<br>m³/ha | DH-Vol<br>n/Fallstudie | Unters.Bäume<br>n/Baum | Kompart.<br>(m) | Höhe<br>(m) | Quellen                       |
|----------------|--------|-------------------|---------------------|--------------|----------------|----|----------------|------------------------|------------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
| Bezugsgröße    |        |                   |                     |              |                |    |                |                        |                        |                 |             |                               |
| Fuhrberg       | FUKlj  | Fuhrberg          | Südheide            | Kiefer       | 23             | 2  | 4060           | 102                    | 15                     | 45              | 38          | Rademacher et al., 1999       |
| Fuhrberg       | FUKlm  | Fuhrberg          | Südheide            | Kiefer       | 46             | 2  | 942            | 209                    | 15                     | 45              | 38          |                               |
| Fuhrberg       | FUKla  | Fuhrberg          | Südheide            | Kiefer       | 115            | 2  | 160            | 250                    | 5                      | 45              | 38          |                               |
| Lange Bramke   | LBFI   | Claustal-Schulbg. | Harz                | Fichte       | 45             | 2  | 1057           | 156                    | 18-60                  | 37              | 630         |                               |
| Postturm       | PTFI   | Farchau (SH)      | Ost-Schlsw.Holstein | Fichte       | 115            | 2  | 295            | 515                    | 10-30                  | 29              | 70          |                               |
| Solling        | SLF1j  | Dassel            | Südnieders. Bergld. | Fichte       | 23             | 1  | 4700           | 110                    | 3                      | 7               | 508         | Pavlov, 1972                  |
| Solling        | SLF1m  | Dassel            | Südnieders. Bergld. | Fichte       | 43             | 1  | 1490           | 255                    | 3                      | 7               | 508         | und                           |
| Solling        | SLF1a  | Dassel            | Südnieders. Bergld. | Fichte       | 88             | 2  | 595            | 510                    | 1-4                    | 7               | 508         | Ellenberg et al., 1986        |
| Solling        | SLBUj  | Neuhaus           | Südnieders. Bergld. | Buche        | 58             | 3  | 3620           | 159                    | 5                      | 7               | 504         | Pavlov, 1972                  |
| Solling        | SLBUm  | Neuhaus           | Südnieders. Bergld. | Buche        | 83             | 3  | 1190           | 219                    | 3-8                    | 7               | 504         | und                           |
| Solling        | SLBUa  | Neuhaus           | Südnieders. Bergld. | Buche        | 123            | 3  | 245            | 356                    | 3-4                    | 7               | 504         | Ellenberg et al., 1986        |
| Göttinger Wald | GWBU   | Reinhausen        | Südnieders. Bergld. | Buche        | 115            | 1  | 265            | 520                    | 19                     | 22              | 420         | Pellinen,86;Meiwes & Beese,88 |
| Ehrhorn        | EHEI   | Sellhorn          | Lüneburger Heide    | Eiche        | 115            | 2  | 120            | 340                    | 6                      | 43              | 109         | Rademacher et al., 2001       |

## 2.3 Stoffkalkulationen über eine Umtriebszeit

Die über eine Umtriebszeit produzierte Biomasse sowie die darin gebundenen Nährstoffe werden in Form des vermarktungsfähigen Derbholzes oder auch weiterer Biomassekompartimente als Vor- bzw. Endnutzungsmasse vom Hiebsort entfernt. Daher ist es für eine Bilanzierung des Nährstoffexportes über eine gesamte Umtriebszeit notwendig, zusätzlich zu dem stehenden, **verbleibenden Bestand** auch die Entzüge über den **ausscheidenden Bestand** zu erfassen, sofern dieser nicht als Nekromasse am Hiebsort verbleibt.

Analog zu den forstlichen **Ertragstafeln**, die der Forstpraxis Informationen über die Entwicklung des Derbholzvorrates über eine Umtriebszeit liefern, werden an der NFV sogenannte **Nährstofftafeln** zur Quantifizierung der bei der Holz- und Biomasseernte anfallenden Nährelementmengen entwickelt (Kalkulationsmodell B-Baum, RADEMACHER ET AL., 1999; 2001). Diese Tafeln, die bisher exemplarisch für einzelne Baumarten und Standorttypen vorliegen, bauen auf den Inventurerhebungen an verschiedenen Standorten auf und ermöglichen neben den Angaben über die Derbholzentzüge auch eine Quantifizierung der bei der Nutzung verlagerten oder am Hiebsort verbliebenen Biomasse- und Nährelementmengen weiterer Bestandeskompartimente.

Bei der Ermittlung der entstehenden **Biomasse- und Nährlemententzüge** einer Umtriebszeit wird je nach Datenlage auf dreierlei unterschiedliche Weise vorgegangen:

- Die Nährlementbindung und der Entzug werden anhand von Inventuren unterschiedlich alter Bestände erfasst, die zwischen den Bestandesaltern liegenden Altersphasen inter- und extrapoliert und die angefallenen Durchforstungsentzüge abgeschätzt (RADEMACHER & MÜLLER-USING, 1998; RADEMACHER ET AL., 1999).
- Alternativ werden die Entzüge aus den Angaben von Ertrags-, Sortenertrags- und Massentafeln (z.B. SCHOBER, 1952; SCHOBER, 1987) abgeleitet und die standörtlichen Besonderheiten über

eine einmalige Biomasseinventur hinsichtlich der Kompartimentaufteilung und der Elementgehalte quantifiziert.

- Oder aber die Derbholzentzüge werden mit Hilfe des Einzelbaum-Wachstumssimulator BWIN von NAGEL (1999) ermittelt und durch das Sortenstrukturmodell von SCHMIDT (2000) um die Angaben über weitere Bestandeskompartimente ergänzt. Auch hierbei dienen einmalige Bestandesinventuren der Standortsskalierung (RADEMACHER ET AL., 2001).

## 2.4 Ökosystembilanzen

Wie auch an anderen Standorten der Waldökosystemforschung in Deutschland werden in Niedersachsen an den Bodenschutz- und Level II-Monitoringflächen Sammler zur Erfassung der Elementgehalte und **Elementflüsse** über die atmosphärischen Einträge im Freiland sowie die Kronentraufe, den Stammabfluss, den Streufall und die Bodensickerwässer im Bestand betrieben (MEEENBURG ET AL., 1995). Für den **Auflagehumus und Mineralboden** liegen darüber hinaus Vorratsinventuren vor (MEEENBURG ET AL., 1997), die in Niedersachsen z.T. bis in die späten 60er Jahre zurückreichen. In exemplarischen Fallstudien können diese Ergebnisse in Beziehung gesetzt werden zu **Inventuren der Biomasse- und Elementvorräte in Beständen**. Diese Daten und die daraus abgeleiteten Modellergebnisse erlauben die Quantifizierung der in einzelnen Bestandeskompartimenten festgelegten Elementvorräte sowie die über unterschiedlich intensive Ernteentzüge verursachten Nährlementexporte.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1. Charakterisierung der Ernährung der Bestände

**Nadel-/Blattspiegelwerte:** Beim Vergleich der Nadel-/Blattelementgehalte der vorliegenden nordwestdeutschen Fallstudienstandorte fallen deutliche Unterschiede in der N- und Mg-Ernährung auf: die **N-Versorgung** aller untersuchten Bestände ist ausreichend bis sehr hoch (Abb. 1).

Während die niedersächsischen Nadelwaldbestände im Bereich mittlerer N-Ernährung um  $15 \text{ mg g}^{-1}$  liegen, befinden sich die Fichten des Standortes Postturm bei Ratzeburg sowie die Laubwaldstandorte im Bereich sehr hoher N-Versorgung oberhalb von  $20 \text{ mg g}^{-1}$ . Was die **Mg-Gehalte** angeht, sind dagegen alle Nadelwaldbestände sowie der Buchenaltbestand im Solling mit Werten von weit unter  $1 \text{ mg g}^{-1}$  gering bis sehr gering Mg-ernährt. Lediglich der Kalkbuchenbestand im Göttinger Wald sowie der Eichenbestand in der Lüneburger Heide weisen eine mittlere Mg-Ernährung auf (Abb. 1).

Die **hohen N-Gehalte** sowie die **mangelhafte Mg-Ernährung** sind zum einen auf die hohen atmosphärischen N-Einträge sowie anderseits über deren versauernde und eutrophierende Wirkung auf die hohen Mg-Verluste aus dem Boden zurückzuführen (ULRICH, 1981; ZECH & POPP, 1983). Auch eine Verstärkung dieses Effektes über die wachstumsfördernde Wirkung hoher N-Versorgung unter zusätzlichem Bedarf an Mg und auftretenden Nährstoffimbalancen wird diskutiert (TROMP & OVAA, 1985; SCHULZE ET AL., 1989; HARTMANN & THOMAS, 1993).

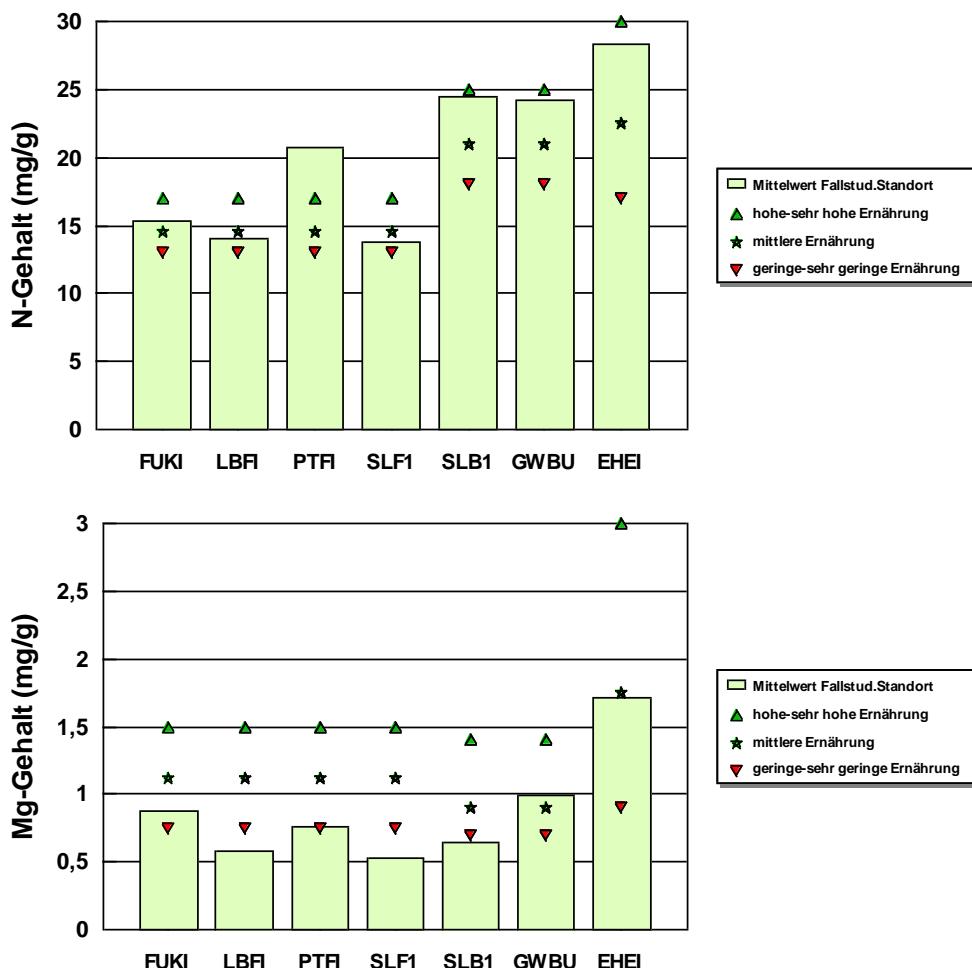


Abb. 1: Mittelwerte der N- und Mg-Gehalte ( $\text{mg g}^{-1}$ ) in Nadeln und Blättern von 7 Fallstudien des Zeitraumes 1994 bis 1998. Vergleich der Gehalte mit den Orientierungswerten hoher, mittlerer und geringer Ernährung des AK-Standortskartierung (1996).

**Ganzbaum-Elementgehalte:** Zur Quantifizierung der Nährelementbindung im Bestand sowie zur Charakterisierung der Nährelementversorgung der Bestände wurden zusätzlich zu den Nadeln bzw. Blättern auch die Elementgehalte der **übrigen Baumkompartimente** bestimmt. Hierzu zählen das Reisig, die Äste und das schwächere Zopfholz, das Derbholz sowie die zugehörige Rinde und die bei der Holzernte meist am Hiebort belassenen Stöcke nebst Grob- und Feinwurzeln.

Am Beispiel des Mg-Gehaltes eines 45-jährigen **Fichtenbestandes im Harz** wird die weite Spanne der Elementgehalte zwischen den einzelnen Baumkompartimenten deutlich. Während in der jüngeren Nadel- und Reisigbiomasse sowie der Rinde und den Feinwurzeln Mg-Gehalte von über  $0,5 \text{ mg g}^{-1}$  und in besser Mg-ernährten Beständen auch über  $1,0 \text{ mg g}^{-1}$  vorkommen können, sind dies im Holz nur rd.  $0,1 \text{ mg g}^{-1}$  (Abb. 2). Dieser Aspekt ist hinsichtlich des Nährelementexportes im Rahmen der forstlichen Nutzung verschiedener Biomassessortimente von entscheidender Bedeutung.

Ähnlich wie die Blattspiegelwerte können auch die Nährelementgehalte einer Reihe weiterer Baumkompartimente sowie die über die Bestandesbiomasse gewichteten durchschnittlichen Ganzbaum-Elementgehalte zur Charakterisierung der Nährelementversorgung von Beständen dienen. Abb. 3 vergleicht die aus etwa 40 Untersuchungen zusammengestellten **Literaturdaten** rd. 100-

jähriger Bestände (u.a. RENNIE, 1955; PAVLOV, 1972; NIHLGÅRD, 1972; KREUZER, 1976; NEBE & HERRMANN, 1987; HEINSDORF & KRAUB, 1990) anhand des Mittelwertes sowie des 10. und 90. Percentils mit den vorliegenden **Fallstudien:** Die für Kiefern-, Fichten- sowie Laubwaldbestände getrennt dargestellte Verteilung belegt die meist überdurchschnittliche N-Versorgung der untersuchten nordwestdeutschen Standorte. Dagegen liegen die Ca-Gehalte der Fichten am Standort Posturm und Lange Bramke sowie der Buchen im Solling deutlich unter dem Durchschnitt, z.T. sogar im Bereich des 10. Percentils. Hierbei steigen die Gehalte vom Kiefernkollektiv über Fichten zu den Laubbäumen deutlich an. Ähnliches gilt auch für Mg. Dagegen liegen die K- und P-Gehalte der untersuchten Standorte meist oberhalb der Literaturmittelwerte, lediglich der Kalkbuchenbestand zeigt aufgrund immobilisierter P-Vorräte weit niedrigere P-Gehalte.

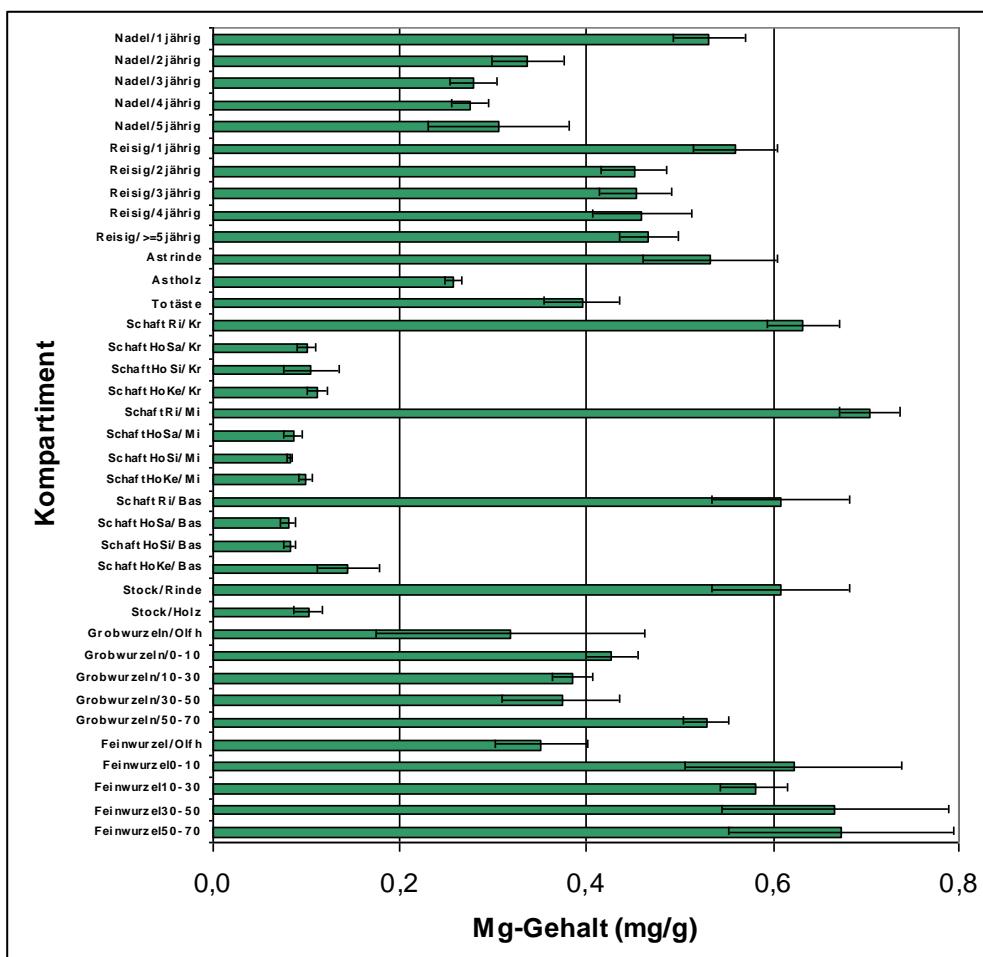


Abb. 2: Mittelwerte und Standardabweichung der Mg-Gehalte ( $\text{mg g}^{-1}$ ) in Fichtenkompartimenten des Standortes Lange Bramke/ Harz. Mittelwerte aus rd. 60 Einzelbäumen. Ri = Rinde, Ho = Holz, Sa = äußeres und Si = inneres Splintholz, Ke = Kernholz, Kr = Krone, Mi = Stamm-Mitte, Bas = Stamm-Basis; Wurzeln in den Stufen Olf-Humuslage, 0-10, 10-30, 30-50 und 50-70 cm Bodentiefe.

Andererseits sind in Kalkbuchenbeständen sowie in Eichen die mittleren Ca-Gehalte überdurchschnittlich hoch. Während dies auf Kalkstandorten auf die hohen Bodenvorräte an Ca zurückzuführen ist, liegt der Grund bei den auf meist ärmeren Standorten stockenden Eichenbeständen in der hohen Ca-Akkumulation in der Rinde. Die Darstellung der unterschiedlich alten Kiefernbestände weist auf die mit zunehmendem Baumalter rückläufigen Gehalte aller untersuchten Elemente hin.

Die jüngeren Bestände zeigen hierbei eine hohe Elementversorgung an, während die Gehalte im Altbestand im Bereich des Mittelwertes liegen. Entsprechendes gilt auch für die vorliegenden Untersuchungen in unterschiedlich alten Fichten und Buchen (vergl. Abb. 4 und 5)

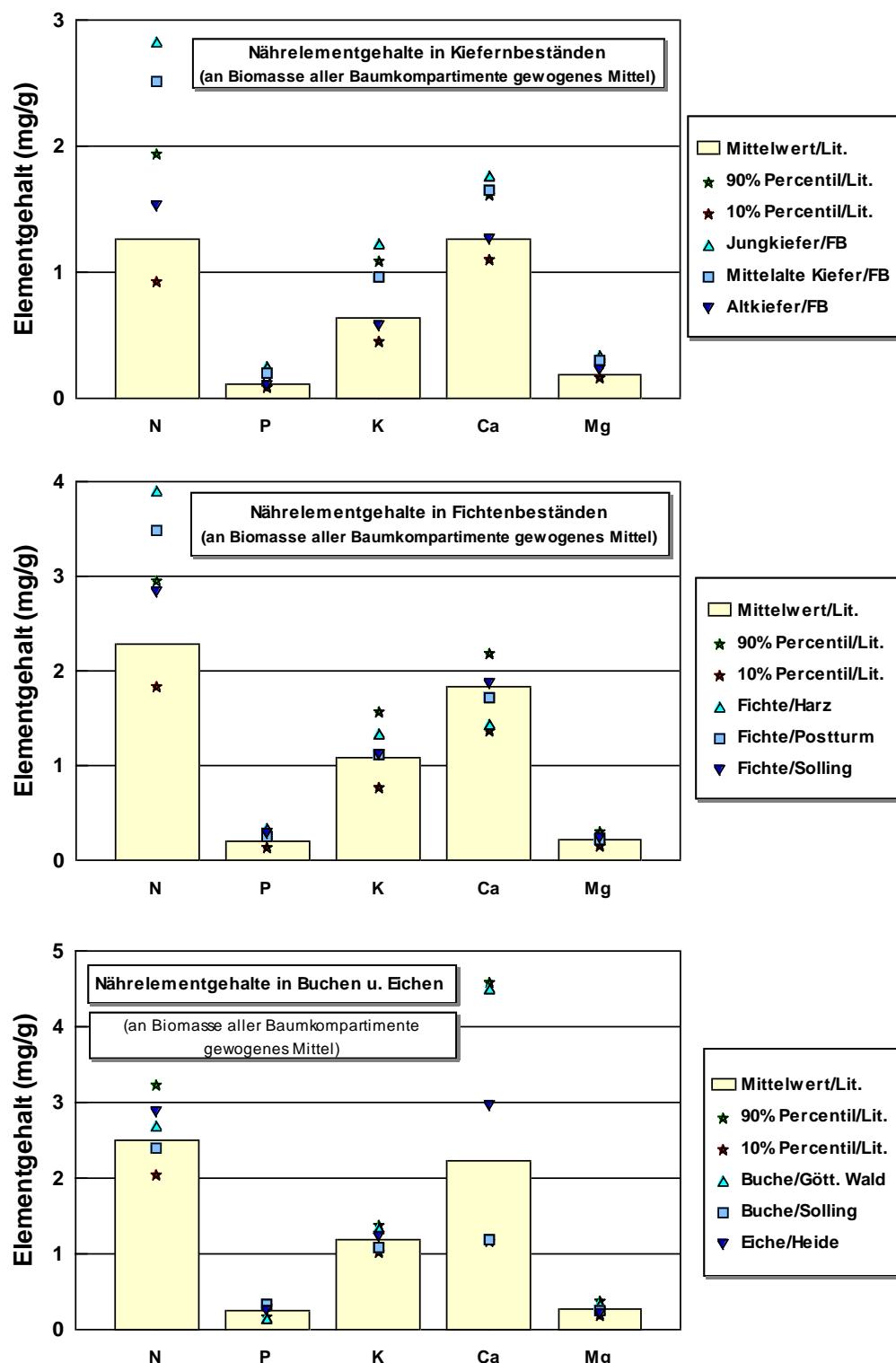


Abb. 3: Elementgehalte ( $\text{mg g}^{-1}$ ) in Kiefern-, Fichten-, Buchen- und Eichenbeständen als durchschnittliche Werte des gesamten Baumes (mit der Biomasse der Einzelkompartimente gewogenes Gehaltsmittel). Gegenüberstellung der untersuchten Fallstudien mit den Mittelwerten sowie dem 10. und 90. Percentil einer Zusammenstellung verschiedener Autoren (Zitate s. Text).

### 3.2. Biomasseproduktion

Im Rahmen der Biomasseinventuren wurden anhand von **Bestandesmittelstämmen** die Biomassen der Einzelkompartimente aus Abb. 2 zu den 7 Hauptkompartimenten Nadel/Blatt, Äste < 7cm Durchmesser, Rindenmaterial des Derbholzes, Derbholz > 7cm sowie Stockholz und Grob- und Feinwurzeln auf Einzelbaumebene zusammengefasst. Der Bestandesvorrat wurde über **Probekreisergebnisse** auf Flächenbezug hochgerechnet. Abb. 4 zeigt für die in die Untersuchung einbezogenen Fallstudien den Biomassevorrat der Bestände, unterteilt in die einzelnen Hauptbaumkompartimente.

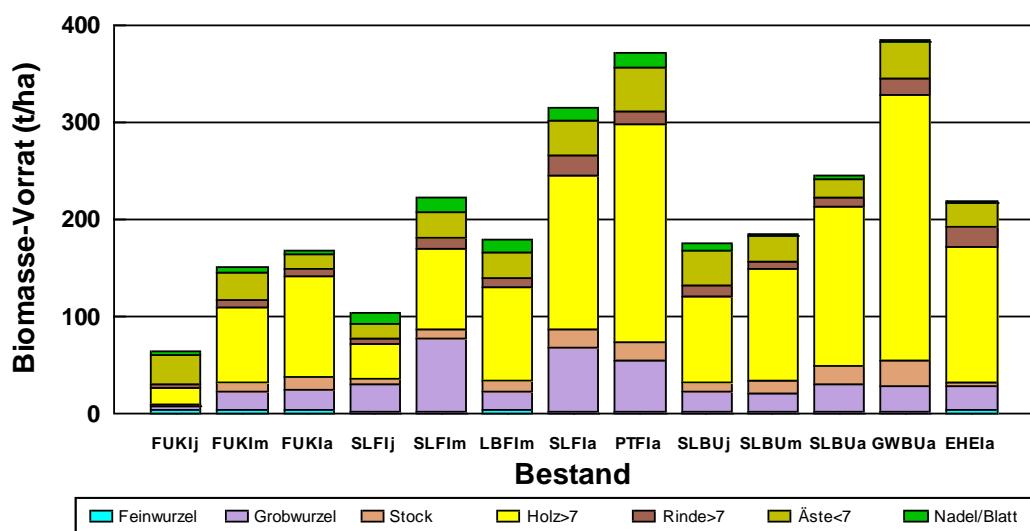


Abb. 4: Biomassevorräte ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) in jungen (j), mittelalten (m) und alten (a) Beständen in 7 Hauptkompartimenten (Feinwurzeln unterstes, Nadel/Blatt oberstes Säulensegment, Leg. vergl. Tab. 1)

Am Beispiel der drei unterschiedlich alten **Kiefernbestände** wird deutlich, dass der Anstieg der Biomasse von rd. 65 t  $\text{ha}^{-1}$  im Jungbestand auf rd. 170 t  $\text{ha}^{-1}$  im Altbestand vor allem auf die Produktion von Derbholz zurückzuführen ist, während die Biomasse der übrigen Baumkompartimente weitgehend konstant bleibt. Gleichaltrige **Fichtenbestände** produzieren im Vergleich zu den Kiefern nahezu die doppelte Menge an Biomasse, die Biomassebildung in den **Buchen- und Eichenbeständen ärmerer Standorte** bleibt weit hinter der Produktivität von Fichten zurück. Lediglich der auf reichem Boden stockende 115-jährige **Kalkbuchenbestand** weist mit nahezu 400 t  $\text{ha}^{-1}$  einen sehr hohen Vorrat auf. Zu berücksichtigen ist ferner, dass Buchen und Eichen im Vergleich zu Fichten eine höhere Derbholzproduktion bei geringerer Schwachholz-Biomasse aufweisen. So macht die Derbholzmasse (o.Rinde) in Jungbeständen etwa 25 bis 50% der Gesamtbiomasse aus, in Nadelwald-Altbeständen sind es 50 bis 60% und in Laubwald-Altbeständen 60 bis 70%.

### 3.3. Festlegung von Nährelementen in Beständen

Ähnlich wie die Biomasse zeigen auch die Elementvorräte, die in den unterschiedlich alten Untersuchungsbeständen akkumuliert wurden, eine weite Spanne der Verteilung: N reicht von knapp 200 kg  $\text{ha}^{-1}$  in **jungen Kiefern** bis 1300 kg  $\text{ha}^{-1}$  in den **Altfichten** am Standort Postturm, die gleichen Bestände erreichen auch bei P mit rd. 15 bis 100 kg  $\text{ha}^{-1}$  die minimalen bzw. maximalen Vorräte.

Ebenfalls minimal sind im **Kiefernbestand** die K- (rd. 80 kg ha<sup>-1</sup>), Ca- (100 kg ha<sup>-1</sup>) und Mg-Vorräte (20 kg ha<sup>-1</sup>), während die Maxima mit etwa 500 kg K ha<sup>-1</sup>, 1700 kg Ca ha<sup>-1</sup> und 125 kg Mg ha<sup>-1</sup> in dem **Kalkbuchenbestand** des Göttinger Waldes liegen (Abb. 5). Im Gegensatz zu der Biomasse kommt es bei den Vorräten zahlreicher Nährelemente in den unterschiedlich alten Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen aufgrund der niedrigeren Elementgehalte in älteren Bäumen zu einem rückläufigen Vorrat. Erstaunlich hoch ist die Akkumulation aller untersuchten Nährelemente in den Fichtenbeständen, deren Vorräte die Laubwaldbestände auf armen bis mittleren Standorten weit übertreffen (Ausnahme Kalkbuchenbestand).

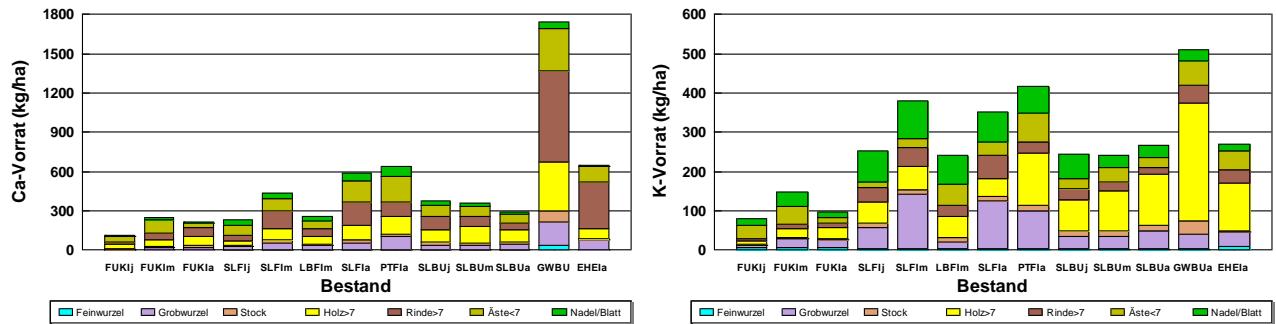


Abb. 5: K- und Ca-Vorräte (kg ha<sup>-1</sup>) in jungen (j), mittelalten (m) und alten (a) Beständen in 7 Hauptkompartimenten (Feinwurzeln unterstes, Nadel/Blatt oberstes Säulensegment, Leg. vergl. Tab. 1)

Liegt der Anteil des Derbholzes an der Gesamtbiomasse in den Altbeständen noch bei 50 bis 70%, so sind hierin lediglich rd. 30% der in den **Nadelwald-Altbeständen** und 40 bis 60% der in den **Laubwald-Altbeständen** festgelegten K-Vorräte akkumuliert. Beim Ca liegt der im Derbholz festgelegte Anteil bei maximal 35%. Die Verteilung von K und Ca auf das Derbholz und die zugehörige Rinde ist bei der Eiche deutlich gegenläufig: während im Derbholz 44% des K und in der Rinde nur 14% des Gesamt-K-Vorrates des Bestandes lokalisiert sind, ist die Relation beim Ca aufgrund der extrem hohen Ca-Gehalte von rd. 20 mg g<sup>-1</sup> in der Rinde mit 11% Ca im Derbholz und 55% in der zugehörigen Rinde gerade umgekehrt.

### 3.4. Biomasseproduktion und Nährlementfestlegung im Bestand über eine Umtriebsphase

Die aus den Biomasse- und Nährlementinventuren ermittelten Vorratsdaten der untersuchten Bestände wurden mit Hilfe von **Modellen** über eine gesamte **forstliche Umtriebszeit** hochgerechnet.

Für einen **Kiefernbestand** 2. EK (mäßige Durchforstung) wurde beispielsweise ein Anwachsen der oberirdischen Biomasse des verbleibenden Bestandes von rd. 50 t ha<sup>-1</sup> im Alter 22 auf 130 t ha<sup>-1</sup> im Alter 125 ermittelt. Bei zusätzlicher Berücksichtigung der bereits vorab ausgeschiedenen Durchforstungsmasse beläuft sich die gesamte oberirdische Biomasseproduktion bis zum Endnutzungspunkt auf rd. 300 t ha<sup>-1</sup> (Abb. 6), die Einbeziehung auch des X-Holzes (geerntete, aber nicht genutzte Derbholzmasse), des Stockes und der Wurzeln lässt die produzierte Biomasse auf etwa 440 t ha<sup>-1</sup> ansteigen (Tab. 2a). Für die 3 untersuchten **Fichtenstandorte** beläuft sich die gesamte ober- und unterirdische Biomasseproduktion (Ganzbaum-Betrachtung) im Verlaufe einer 125-jährigen Umtriebszeit auf rd. 700 bis 850 t ha<sup>-1</sup>. In der gleichen Größenordnung liegt auch die bis zum Endnutzungsalter von 155 Jahren (Buchen) bzw. 185 Jahren (Eichen) gebildete Biomasse ärmerer

**Laubwaldstandorte** (Solling/Buche und Ehrhorn/Eiche). Dagegen ist die Wüchsigkeit im Kalkbuchenbestand des nährstoffreicherem Göttinger Waldes mit über  $1000 \text{ t ha}^{-1}$  deutlich höher (Tab. 2a).

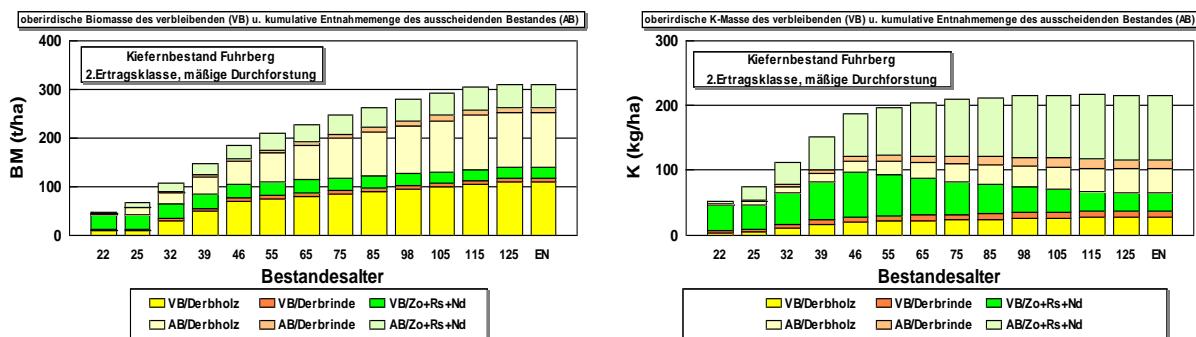


Abb. 6: Biomasseproduktion (BM [ $\text{t ha}^{-1}$ ]) und K-Akkumulation ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) im oberirdischen Kiefernbestand im Verlaufe einer 125jährigen Umtriebszeit bis zur Endnutzung (EN). Durchforstungs- und Endnutzungsmaßnahmen im verbleibenden (VB, untere drei Säulensegmente) und ausscheidenden Bestand (AB, obere drei Säulensegmente) der Bestandeskompartimente Derholz, der zugehörigen Rinde sowie der Krone (Zopf [Zo], Reisig und Äste < 7cm Durchmesser [Rs] sowie Nadeln [Nd]).

Unter Berücksichtigung des bei Laubbäumen höheren Endnutzungsalters ist die **jährliche mittlere Biomasseproduktion** des Kalkbuchenbestandes mit  $6,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ebenso hoch wie im Fichtenbestand im Solling, gefolgt von dem höher nährstoffversorgten Fichtenbestand in Schleswig-Holstein ( $6,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und dem geringer versorgten Bestand im Harz ( $5,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Deutlich niedriger ist die Produktivität der Buche im Solling ( $4,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), der Eiche in Ehrhorn/ Heide ( $4,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und besonders der Kiefer in Fuhrberg ( $3,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  [Tab. 2b]).

Tab. 2: a (oben) und b (unten): Biomasseproduktion und Nährelementbindung je Hektar und Umtrieb (oben) bzw. je ha und Jahr (unten). Ganzbaum-Betrachtung gesamter ober- und unterirdischer Bestand, Leg. vergl. Tab 1

| Standort | Altersphase | BM           | N             | P   | K    | Ca   | Mg  |
|----------|-------------|--------------|---------------|-----|------|------|-----|
| Einheit  | Jahre       | t/ha/Umtrieb | kg/ha/Umtrieb |     |      |      |     |
| FUKI     | 0-125       | 436          | 891           | 58  | 311  | 559  | 110 |
| LBF1     | 0-125       | 688          | 1889          | 159 | 738  | 784  | 123 |
| SLFI     | 0-125       | 848          | 2151          | 190 | 1228 | 1106 | 208 |
| PTFI     | 0-125       | 776          | 2715          | 196 | 879  | 1175 | 155 |
| SLBU     | 0-155       | 725          | 1685          | 209 | 831  | 910  | 171 |
| GWBU     | 0-155       | 1046         | 2461          | 127 | 1314 | 3464 | 330 |
| EHEI     | 0-185       | 814          | 2176          | 192 | 966  | 2237 | 165 |

| Standort | Altersphase | BM     | N       | P    | K    | Ca    | Mg   |
|----------|-------------|--------|---------|------|------|-------|------|
| Einheit  | Jahre       | t/ha/a | kg/ha/a |      |      |       |      |
| FUKI     | 0-125       | 3,49   | 7,13    | 0,46 | 2,49 | 4,47  | 0,88 |
| LBF1     | 0-125       | 5,50   | 15,11   | 1,27 | 5,90 | 6,27  | 0,98 |
| SLFI     | 0-125       | 6,78   | 17,21   | 1,52 | 9,82 | 8,85  | 1,66 |
| PTFI     | 0-125       | 6,21   | 21,72   | 1,57 | 7,03 | 9,40  | 1,24 |
| SLBU     | 0-155       | 4,68   | 10,87   | 1,35 | 5,36 | 5,87  | 1,10 |
| GWBU     | 0-155       | 6,75   | 15,88   | 0,82 | 8,48 | 22,35 | 2,13 |
| EHEI     | 0-185       | 4,40   | 11,76   | 1,04 | 5,22 | 12,09 | 0,89 |

Ohne Berücksichtigung des X-Holzes, der Stöcke und der Wurzeln reduziert sich, jeweils mit dem Kiefernbestand im Minimum und dem Kalkbuchenbestand im Maximum, die jährliche oberirdische

Biomasseproduktion (Vollbaum-Betrachtung) auf 2,5 bis 5,2 t ha<sup>-1</sup>, die Derbholzproduktion mit Rinde auf 1,9 bis 4,5 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und die Derbholzproduktion ohne Rinde auf 1,8 bis 4,4 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die hierbei entstehende **Nährlementfestlegung in der Biomasse** beläuft sich unter Berücksichtigung des ober- und unterirdischen Bestandes (**Ganzbaum-Betrachtung**) je **Umtriebszeit und Hektar** auf rd. 900 bis 2700 kg N, 60 bis 200 kg P, 300 bis 1300 kg K, 550 bis 3500 kg Ca und 100 bis 300 kg Mg (Tab. 2a). Der Jahresbedarf an Nährlementen auf Ganzbaumebene beträgt somit je Hektar für N rd. 7 bis 22 kg, P 0,5 bis 1,6 kg, K 2,5 bis 10 kg, Ca 4,5 bis 22 kg und Mg 0,9 bis 2,1 kg (Tab. 2b).

Entsprechende Untersuchungen wurden für die Hauptbaumarten auch von RENNIE (1955), ULRICH ET AL. (1975), KREUZER (1976), NEBE & HERRMANN, (1987) SOWIE HEINSDORF & KRAUß (1990) durchgeführt, deren Elementfestlegung jedoch aufgrund der meist nährstoffreicheren und z.T. wüchsigeren süd- und ostdeutschen Standorte höher ist.

### 3.5. Ernterelevante Entzugsmengen

Da bei der Holzernte und den anschließenden **Aufarbeitungsprozessen** die **unterirdischen Bestandesteile** i.d.R. gar nicht und Teile des **Kronen- und Schwachholzes** nur z.T. Berücksichtigung finden, reduzieren sich die tatsächlich genutzten Biomassesortimente, so dass die vom Hiebort exportierten Elementmengen entsprechend niedriger sind als der vollständige Nährlementbedarf des gesamten Bestandes (**Ganzbaum-Betrachtung**). Im Mittel über alle untersuchten Bestände und Arten beläuft sich der Biomasseanteil der oberirdischen Baumteile ohne X-Holz, Stock und Wurzeln (**Vollbaum-Betrachtung**) auf 72% der gesamten ober- und unterirdischen Biomasse, das **Derbholz mit Rinde** macht noch 58% und das **Derbholz ohne Rinde** 55% der Gesamtbiomasse aus (Tab. 3).

Tab. 3: Biomasseaufkommen und Nährlemententzug bei Berücksichtigung unterschiedlicher Bestandeskompartimente (bezogen auf gesamten ober- und unterirdischen Bestand [Ganzbaum-Betrachtung = 100%], Mittelwert über alle untersuchten Kiefern-, Fichten-, Buchen- und Eichenbestände).

| Kompartiment | BM  | N   | P   | K   | Ca  | Mg  |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Einheit      | %   |     |     |     |     |     |
| Ganzbaum     | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Vollbaum     | 72  | 67  | 68  | 70  | 76  | 69  |
| Derbholz m.R | 58  | 34  | 34  | 44  | 52  | 47  |
| Derbholz o.R | 55  | 13  | 13  | 27  | 18  | 22  |

Der **entsprechende Nährlementexport bei Nutzung** des oberirdischen Bestandes (Vollbaum-Betrachtung) reduziert sich hierdurch auf rd. 70% gegenüber der bei Ganzbaum-Betrachtung gebundenen Nährlementmengen. Wird nur das Derbholz m.R genutzt, verringert sich der Elementverlust auf etwa 34 (N+P) bis 50% (K, Ca, Mg) und bei Entrindung im Bestand und Nutzung des Derbholzes ohne Rinde beträgt der Elementexport nur noch 13 bis 27% der insgesamt festgelegten Nährlementmenge (Tab. 3). Zu entsprechenden Ergebnissen kommen auch RENNIE (1955), PAVLOV (1972), ULRICH ET AL. (1975), KREUZER (1976), MÄLKÖNEN (1978), YILDIRIM (1978), NEBE & HERRMANN, (1987), HEINSDORF & KRAUß (1990) sowie HOCHBICHLER ET AL. (1994).

Die **Simulation einer Eichenjungdurchforstung** zeigt, dass die Unterschiede des Nährlementexportes verschiedener Nutzungsintensitäten noch durchaus bedeutender sein können als anhand der Mittelwerte aufgezeigt wurde: Der bei ausschließlicher Derbholznutzung (ohne Rinde) anfallende

**Biomasse- und Ca-Entzug** wurde im vorliegenden Fall auf 100% gesetzt. Die zusätzliche Nutzung auch der Rinde, der schwächeren Äste sowie von Stock- und Wurzelholz lässt diesen Biomasseanteil fast auf das Doppelte ansteigen. Dagegen ergibt allein der zusätzliche Entzug auch der Derbholz-Rinde bereits eine Verachtfachung der Ca-Exporte (Abb. 7).

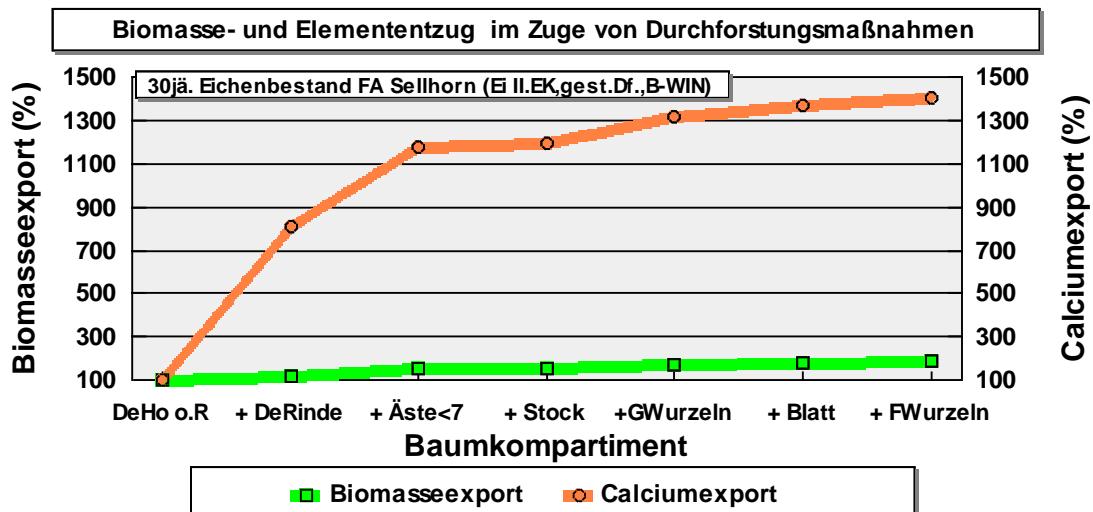


Abb. 7: Anteiliger Biomasse- und Ca-Export (%) bei steigender Biomassenutzung einer Eichenjungdurchforstung (II. Ertragsklasse, gestaffelte Durchforstung). Simulationsmodelle BWIN und B-Baum. Kompartimente: Derbholz ohne Rinde, zugehörige Rinde, Schwachäste < 7 cm, Stock, Grob- u. Feinwurzeln, Blätter.

### 3.6. Bilanzierung weiterer Ökosystemvorräte und Flüsse

Um Aussagen über die **Nachhaltigkeit des forstlichen Wirtschaftens** machen zu können bzw. die Überschreitung zulässiger Nährlemententzüge quantifizieren zu können, müssen die **Bedarfs- und Entzugsgrößen des Bestandes** den Bodenvorräten sowie den übrigen Flüssen des Ökosystems gegenübergestellt werden.

Am Beispiel von **Ca und Mg** soll diese **Bilanz** für die vorgestellten sieben Standorte berechnet werden. In der Summe der Totalvorräte der **Humusauflage** sowie der NH<sub>4</sub>Cl-austauschbaren Vorräte im durchwurzelten **Mineralboden** verfügen die geringer mit Nährstoffen versorgten Standorte (FUKI, LBFI, SLFI, EHEI) über Mg-Vorräte von rd. 50 bis 100 kg ha<sup>-1</sup>, die mäßig ausgestatteten (PTFI, SLBU) über 100 bis 200 kg ha<sup>-1</sup> und die höher nährstoffversorgten Standorte (GWBU) über mehr als 200 kg ha<sup>-1</sup> (Tab. 4, Einteilung entsprechend AK-Standortskartierung, 1996; Meesenburg et al., 1997).

Zusätzlich müssen die **Stoffeinträge** über die atmosphärische Deposition und die Silikatverwitterung sowie die **Stoffausträge** mit dem Bodensickerwasser quantifiziert werden (MEESenburg ET AL., 1995; 1997). Deren Bilanzierung ergibt für die Standorte LBFI, PTFI, SLFI und EHEI bereits **ohne jegliche forstliche Nutzung** einen Mg-Verlust, der sich auf 1 bis 4 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> bzw. rd. 500 bis 1000 kg ha<sup>-1</sup> Umtrieb<sup>-1</sup> beziffert (Tab. 5a). Die Nutzung der forstlichen Biomasse ließe diese Defizite je nach Nutzungsintensität noch weiter ansteigen. Für Ca ist der **Einfluss der Nutzung** auf die Stoffbilanz noch größer. Nährstoffärmere Standorte, wie LBFI, SLFI, SLBU und EHEI liegen mit

200 bis 400 kg Ca ha<sup>-1</sup> im Bereich geringer Vorräte, FUKI und PTFI mit 400 bis 800 kg ha<sup>-1</sup> im Bereich mäßiger und GWBU mit mehreren tausend Kilogramm im sehr hohen Vorratsbereich.

Tab. 4: a und b: Mg- (oben) und Ca-Vorrat (unten) im Boden (kg ha<sup>-1</sup>) sowie Bedarf des Bestandes (kg ha<sup>-1</sup> Umtrieb<sup>-1</sup>). Totalsumme aus Humusauflage (Hum.) und austauschbaren Vorräten des durchwurzelten Mineralbodens (M-Bod.). Aufnahme in das Derbholz ohne Rinde (DH oR), das Derbholz mit Rinde (DH mR), den oberird. Bestand (Vollbaum-Betrachtung V-Ba) sowie den oberird.+ unterird. Bestand (Ganzbaum-Betrachtung G-Ba).

| Standort | Umtrieb (a) | Hum. | M-Bod. | Hu+M-Bd | DH oR | DH mR | V-Ba | G-Ba |
|----------|-------------|------|--------|---------|-------|-------|------|------|
| FUKI     | 125         | 38   | 27     | 65      | 36    | 45    | 81   | 110  |
| LBF1     | 125         | 85   | 17     | 102     | 35    | 50    | 85   | 123  |
| PTFI     | 125         | 90   | 36     | 126     | 60    | 76    | 105  | 208  |
| SLFI     | 125         | 65   | 26     | 91      | 39    | 50    | 106  | 155  |
| SLBU     | 155         | 90   | 48     | 138     | 90    | 98    | 126  | 171  |
| GWBU     | 155         | 7    | 222    | 229     | 195   | 208   | 254  | 330  |
| EHEI     | 185         | 18   | 27     | 45      | 43    | 76    | 128  | 165  |

| Standort | Umtrieb (a) | Hum. | M-Bod. | Hu+M-Bd | DH oR | DH mR | V-Ba | G-Ba |
|----------|-------------|------|--------|---------|-------|-------|------|------|
| FUKI     | 125         | 246  | 289    | 535     | 150   | 269   | 438  | 559  |
| LBF1     | 125         | 174  | 75     | 249     | 218   | 371   | 574  | 784  |
| PTFI     | 125         | 528  | 236    | 764     | 346   | 570   | 804  | 1106 |
| SLFI     | 125         | 162  | 66     | 228     | 244   | 441   | 863  | 1175 |
| SLBU     | 155         | 213  | 142    | 355     | 327   | 473   | 688  | 910  |
| GWBU     | 155         | 100  | 16071  | 16171   | 902   | 1956  | 2627 | 3464 |
| EHEI     | 185         | 83   | 117    | 200     | 248   | 1362  | 1782 | 2237 |

Tab. 5: a und b: Mg- (oben) und Ca-Bilanz (unten) der Stoffflüsse atmosphärische Deposition, Silikatverwitterung und Sickerwasseraustrag in Abhängigkeit zur Nutzungsvariante ohne forstliche Nutzung (o.forstl.Nutzung) sowie Bilanzen unter Nutzung des Derbholzes ohne Rinde (Nutz.DeHo oR), des Derbholzes mit Rinde (Nutz.DeHo mR), des oberird. Bestandes (Vollbaum-Betrachtung Nutz.Vollbaum) sowie des oberird.+ unterird. Bestandes (Ganzbaum-Betrachtung Nutz.Ganzbaum). Einheit kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

| Standort | o.forstl.Nutzung | Nutz.DeHo oR | Nutz.DeHo mR | Nutz.Vollbaum | Nutz.Ganzbaum |
|----------|------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| FUKI     | 1,6              | 1,4          | 1,3          | 1,0           | 0,8           |
| LBF1     | -1,0             | -1,2         | -1,4         | -1,6          | -1,9          |
| PTFI     | -3,9             | -4,4         | -4,5         | -4,7          | -5,6          |
| SLFI     | -1,9             | -2,2         | -2,3         | -2,7          | -3,1          |
| SLBU     | 2,7              | 2,1          | 2,1          | 1,9           | 1,6           |
| GWBU     | 2,1              | 0,9          | 0,8          | 0,5           | -0,0          |
| EHEI     | -1,3             | -1,6         | -1,7         | -2,0          | -2,2          |
| Standort | o.forstl.Nutzung | Nutz.DeHo oR | Nutz.DeHo mR | Nutz.Vollbaum | Nutz.Ganzbaum |
| FUKI     | 1,3              | 0,1          | -0,8         | -2,2          | -3,2          |
| LBF1     | -4,3             | -6,0         | -7,3         | -8,9          | -10,6         |
| PTFI     | -6,6             | -9,4         | -11,2        | -13,0         | -15,5         |
| SLFI     | 1,0              | -0,9         | -2,5         | -5,9          | -8,4          |
| SLBU     | 3,3              | 1,2          | 0,3          | -1,1          | -2,5          |
| GWBU     | 22,4             | 16,5         | 9,7          | 5,4           | 0,0           |
| EHEI     | -6,1             | -7,4         | -13,4        | -15,7         | -18,1         |

An den ärmeren Standorten würde bereits der Nutzungsentzug des Derbholzes mit Rinde einer Umtriebszeit die verfügbaren Bodenvorräte rechnerisch aufzehren, die mäßig ausgestatteten Standorte würden ihren Ca-Vorrat durch den Entzug über den oberirdischen Bestand weitestgehend verlieren (Tab 4b). Die **Ca-Bilanz des Ökosystems** ist mit einem jährlichen Defizit von 4 bis 7 kg ha<sup>-1</sup> schon ohne forstliche Nutzung an drei Standorten (LBF1, PTFI, EHEI) negativ. Die Nutzung lediglich des Derbholzes mit Rinde würde für weitere Standorte eine negative Bilanz bedeuten und das jährliche Ca-Defizit auf 13 kg ansteigen lassen. Der Entzug des gesamten oberirdischen Bestandes (Voll-

baum-Betrachtung) würde bis auf den Kalkbuchenstandort an allen Untersuchungsstandorten ein Ca-Defizit von bis zu  $16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  entstehen lassen. Bereits über eine Umtriebszeit ergibt sich somit bei Nutzung des Derbholzes m.R. an den meisten Standorten ein Ca-Defizit von rd. 100 bis 2500  $\text{kg ha}^{-1}$  (Abb.8).

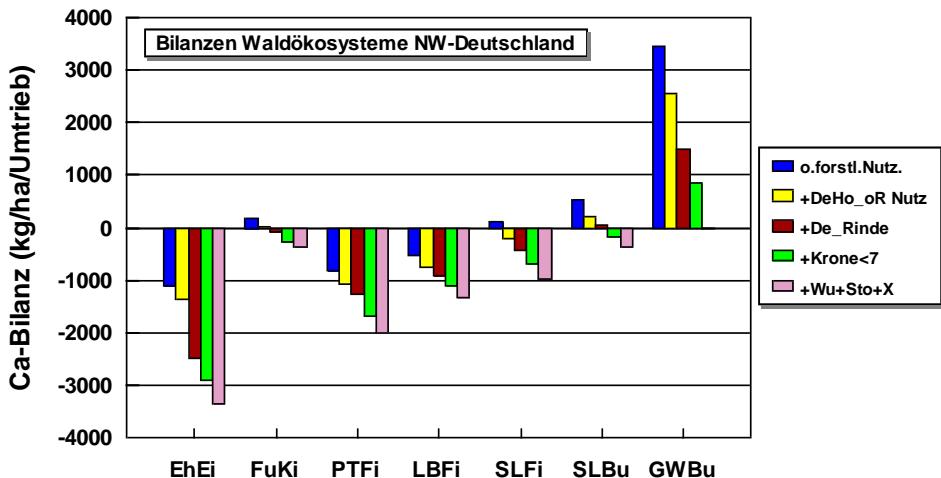


Abb. 8: Ca-Bilanz ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ Umtrieb}^{-1}$ ) der Stoffflüsse atmosphärische Deposition + Silikatverwitterung - Sickerwasseraustrag (ohne forstliche Nutzung) sowie Bilanzen unter schrittweiser Nutzung des Derbholzes ohne Rinde, mit Rinde, den Kronensortimenten Äste<7 + Nadeln bzw. Blätter sowie den Wurzel-, Stock- und X-Holzsortimenten.

An vielen Standorten sind die **niedrigen Nährstoffvorräte** im Boden somit z.T. das Ergebnis langjähriger Säureeinträge und nachfolgender **Nährelementverluste** aus dem Boden, anderseits sind auch die **Entzüge in den Bestand** an diesem Prozess beteiligt (ULRICH, 1995; FISHER & BINKLEY, 2001). Unter dem Gesichtspunkt der **Nachhaltigkeit** darf diese Vorratsmenge im Ökosystem keinesfalls noch weiter reduziert werden (BEESE, 1996), vielmehr sollten die Vorräte durch **Kalkungsmaßnahmen** sowie Düngung stark verarmter Nährstoffe wieder auf ein stabileres Vorratsniveau gebracht werden, was vielerorts bereits geschieht (GUSSONE, 1983; REEMTSMA, 1986). Ferner müssen auch die mit der forstlichen Nutzung einhergehenden Nährstoffexporte in die Ökosystembilanz einbezogen werden. Eine nachhaltige Forstwirtschaft darf, unabhängig von der Frage der Verursacher von Nährstoffverlusten, die Problematik abnehmender Nährstoffvorräte im Ökosystem nicht außer Acht lassen (vergl. Tab. 4).

#### 4. Ausblick

Die ermittelten Biomasse- und Nährelementvorräte sowie deren Aufteilung auf die Baumkompartimente streuen je nach Standortsqualität, Baumart und Bestandesalter stark. Somit wird es notwendig sein, zur Quantifizierung der **Nährlementfestlegung** in Beständen sowie zur Ableitung der durch Ernteentzüge verursachten **Nährstoffexporte** zumindest für einzelne Standorts- und Bestandestypen Biomasse- und Nährlementinventuren durchzuführen. Die Ergebnisse können Auskunft über die zu einem jeweiligen Bestandesalter in einzelnen Bestandeskompartimenten festgelegten Nährlementmengen geben, die als Eingangsgrößen für Bestandesumtriebs- und **Nutzungsmodelle** benötigt werden. Hierdurch werden der Forstpraxis für anstehende Bewirtschaftungsmaßnahmen Entscheidungshilfen an die Hand gegeben, die als ein erster Schritt zur Realisierung eines **nachhal-**

**tigen Nährstoffmanagements** zu verstehen sind. Zu diesem Bewirtschaftungsinstrumentarium zählen **Nutzungseinschränkungen** in Form des Belassens ohnehin schwer vermarktungsfähiger BiomassenSortimente im Bestand ebenso wie die **Kalkung oder Düngung** als Ersatz für Nährstoffkationenverluste infolge von atmosphärischen Säureeinträgen und Ernteentzügen. Die wirkungsvollste Maßnahme zur Realisierung ausgewogener Stoffbilanzen und nachhaltiger Waldwirtschaft stellt jedoch die weitere **Reduktion der hohen Säureeinträge** und der zusätzlich eutrophierend wirkenden Stickstoffdepositionen dar.

## 5. Literaturverzeichnis

- AKÇA, A., HEIDRICH RISKE, M., MENCH, A. (1994): Biomasseentwicklung in umweltbelasteten Fichtenbeständen des Einzugsgebietes Lange Bramke. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, 397-410.
- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1980): Forstliche Standortsaufnahme. Münster-Hiltrup. Neuauflage 1996.
- BEESE, F. (1996): Indikatoren für eine multifunktionale Waldnutzung. Forstw. Cbl. 115, 65-79.
- BERGMANN, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav-Fischer-Verlag, Jena, 762 S.
- ELLENBERG, H., MAYER, R., SCHAUERMANN, J. (1986): Ökosystemforschung –Ergebnisse des Sollingprojektes. Verlag Eugen Ulmer/ Stuttgart, 488 S.
- FIEDLER, H.J., NEBE, W., HOFMANN, W. (1973): Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. VEB-Fischer-Verlag, Jena.
- FISHER, R.F., BINKLEY, D. (2001): Ecology and Management of Forest Soils. J. Wiley & Sons NY. 489 p.
- FOLIAR EXPERT PANEL/ EC-UN/ECE (1995): Symposium Paper ICP-Forest, Wien, 6-8 Nov. 1995.
- GUSSONE, H.A. (1983): Auswirkungen von Immissionen und Gegenmaßnahmen in den Wäldern Nordwestdeutschlands. Der Forst- und Holzwirt, 38, 541-545.
- HARTMANN, G., THOMAS, F. (1993): Ernährungszustand von Kiefern mit Nadelvergilbungen im nordwestdeutschen Flachland. Forst u. Holz 48, 667-671.
- HEINSDORF, D., KRAUß, H.-H. (1990): Schätztafeln für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung von Kiefernbeständen. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung, 81 S.
- HOCHBICHLER, E., PUTZGRUBER, N., KRAPFENBAUER, A. (1994): Biomassen- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40jährigen Buchenbestand (*Fagus sylvatica* L.). Centralblatt für das gesamte Forstwesen 111, 1-22.
- INGESTAD, T. (1959): Studies on the nutrition of forest tree seedlings. II. Mineral nutrition of Spruce. Physiol. Plant. 12, 568-593.
- KREUTZER, K. (1976): Effects on growth in next rotation (regeneration). Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. ECE/FAO-Symposium in Hyvinkää/ Finland, 1976, 78–90.
- MÄLKÖNEN, E. (1978): The effect of fuller biomass harvesting on soil fertility. In: UN/ECE/FAO, Sympos. on the harvesting of a larger part of the forest biomass, 67-77.
- MEESBURG, H., MEIWES, K.-J., RADEMACHER, P. (1995): Long term trends in atmospheric deposition and seepage output in Northwest German forest ecosystems. Water, Air and Soil Pollution 85, 611-616.
- MEESBURG, H.; MEIWES, K.J.; SCHULZE, A.; RADEMACHER, P. (1997): Bodendauerbeobachtung auf forstlich genutzten Böden (BDF-F). Arb.-H. Boden 2/1997, 77-94.
- MEIWES, K.-J., BEESE, F. (1988): Ergebnisse der Untersuchung des Stoffhaushaltes eines Buchenwaldökosystems auf Kalkgestein. Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B/ Bd. 9, 1-141.
- NAGEL, J. (1999): Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, 122 S.
- NEBE, W., HERRMANN, U.J. (1987): Das Ökologische Meßfeld der Sektion Forstwirtschaft der TU Dresden. VI. Zur Verteilung der Nährelemente in der oberirdischen Dendromasse eines 100jährigen Fichtenbaumholzes. Wissenschaft. Zeitschrift der TU Dresden 36, 235–241.
- NIHLGÅRD, B. (1972): Plant biomass, primary production and distribution of chemical elements in a beech and a plant spruce forest in South Sweden. OIKOS 23, 69-81.
- PAVLOV, M.B. (1972): Bioelement-Inventur von Buchen- und Fichtenbeständen im Solling. Gött. Bodenkundl. Ber. 25, 174 S.

- PELLINEN, P. (1986): Biomasseuntersuchungen im Kalkbuchenwald. Diss. Forstl. Fak. Göttingen, 145 S.
- RADEMACHER, P. (1994): Qualitative und quantitative Erfassung der Stoffflüsse und der Elementvorräte in Waldbäumen und deren Umwelt. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, 161-171. Abschlußbericht BMFT-Forschungsvorhaben "Destabilisierung von Waldökosystemen".
- RADEMACHER, P., ULRICH, B., MICHAELIS, W. (1992): Bilanzierung der Elementvorräte und Elementflüsse innerhalb der Bestandeskompartimente Krone, Stamm, Wurzel und Boden eines belasteten Fichtenbestandes. In: Luftverunreinigungen und Waldschäden am Standort "Postturm", Forstamt Farchau/ Ratzeburg. W. Michaelis & J. Bauch (Hrsg.), GKSS- Forschungszentrum Geesthacht, GKSS 92/E/100, 149-186.
- RADEMACHER, P., MÜLLER-USING, B. (1998): Bioelemententzug bei der Holznutzung in Rein- und Mischbeständen aus Buche und Fichte. Genehmigter Antrag im BMB+F-Vorhaben ÖK-2.3.3: Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung -Fallstudie Waldlandschaft Solling, 112-129.
- RADEMACHER, P., BUß, B., MÜLLER-USING, B. (1999): Waldbau und Nährstoffmanagement als integrierte Aufgabe in der Kiefern-Waldwirtschaft auf ärmeren pleistozänen Sanden. Forst und Holz 54. Jg., 330-335.
- RADEMACHER, P., MEESENBURG, H., MÜLLER-USING, B. (2001): Nährstoffkreisläufe in einem Eichenwald-Ökosystem des nordwestdeutschen Pleistozäns. Forstarchiv 71, 43-54.
- RADEMACHER, P., MÜLLER-USING, B. (2001): Bioelemententzug bei der Holznutzung in Rein- und Mischbeständen aus Buche und Fichte. Zwischenbericht im BMB+F-Vorhaben ÖK-2.3.3: Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung -Fallstudie Waldlandschaft Solling, 13 S.
- REEMTSMA, J.B. (1986): pH-Werte niedersächsischer Fichtenbestände. Der Forst- und Holzwirt 41, 293-295.
- REHFUESS, K.E. (1983): Ernährungsstörungen als Ursache der Walderkrankungen? Kali-Briefe 16, 549-563.
- RENNIE, P.J. (1955): The uptake of nutrients by mature forest growth. Plant and Soil VII, 49-95.
- RIEK, W., DIETRICH, H.-P. (2000): Ernährungszustand der Hauptbaumarten an den deutschen Level II-Standorten. Forstarchiv, 71, 65-69.
- SCHMIDT, M. (2000): Entwicklung eines Einheitsmodells für Fichte für das nördliche und mittlere Westdeutschland. Jahrestagung Dtsch. Verb. Forstl. Forschungsanst., Sektion Ertragskunde, Jahrestagung v. 5.-7. 6. 2000.
- SCHOBER, R. (1952): Massentafeln nach Grundner-Schwappach zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. Paul Paray Verlag, Berlin u. Hamburg, 216 S.
- SCHOBER, R. (1987): Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Sauerländer Verlag, Frankfurt, 166 S.
- SCHULZE, E.-D., OREN, R., LANGE, O.L. (1989): Nutrient relations of trees in healthy and declining Norway Spruce stands. In: E.-D. Schulze, O.L. Lange, R. Oren (eds.). Forest decline and air pollution, Ecological Studies Vol. 77, Springer Verlag, 392-417.
- TROMP, J., OVAA, J.C. (1985): Response of young apple trees to time of nitrogen fertilization with respect to the nitrogen, potassium, and calcium levels in xylem sap, new growth, and the tree as a whole. J. Plant Physiol. 119, 301-309.
- ULRICH, B., MAYER, R., SOMMER, U. (1975): Rückwirkungen der Wirtschaftsführung über den Nährstoffhaushalt auf die Leistungsfähigkeit der Standorte. Forstarchiv 46, 5-8.
- ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144, 289-305.
- ULRICH, B. (1995): Der ökologische Bodenzustand -seine Veränderung in der Nacheiszeit, Ansprüche der Baumarten. Forstarchiv 66, 117-127.
- VAN DEN BURG, J. (1985): Foliar analysis for determination of tree nutrient status -a compilation of literature data. Rijksinstitut voor Onderzoek in de Bosen Landschapsbouw „De Dorschkamp“, Wageningen, Rapp. 414, 615 S
- VAN DEN BURG, J. (1990): Foliar analysis for determination of tree nutrient status -a compilation of literature data. 2. Literature 1985-1989. „De Dorschkamp“, Institute for Forestry and Ecology, Wageningen, the Netherlands, Rapport 591, 220 S.
- WEHRMANN, J. (1959): Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. Forstw. Cbl. 78, 77-92.
- YILDIRIM, M. (1978): Der Nährstoffexport aus Fichtenreinbeständen in Abhängigkeit vom Holzernteverfahren. Dissertation der Forstl. Fakultät der Georg-August-Universität, Göttingen. 165 S.
- ZECH, W., POPP, E. (1983): Mg- Mangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO- Bayern. Forstw. Cbl 102, 50-55.
- ZÖTTL, H.W., HÜTTL, R. (1986): Nutrient supply and forest decline in Southwest-Germany. Water, Air and Soil Pollution 31, 449-462.

# Vorläufige Ergebnisse von Biomasseninventuren in Buchen- und Mittelwaldbeständen

Hochbichler Eduard

## 1. Einleitung

In dieser Arbeit werden Zielsetzungen, Vorgehensweisen und Erfahrungen bei Biomasseinventuren an Buche und Eiche, welche im letzten Jahrzehnt im Wienerwald und Weinviertel (Mittelwald) durchgeführt wurden, beschrieben und Ergebnisse als Beispiele der noch laufenden Auswertungen vorgestellt.

Für waldökologische Fragestellungen sind Kenntnisse über die Struktur und Verteilung von Biomassen und Nährstoffen in den Biomassekomponenten von Einzelbäumen und Beständen von entscheidender Bedeutung.

Bilanzierungen und Modellierungen von Stoffflüssen bauen auf diesen Grundlagen auf. Biomassenvorrat, Biomassenzuwachs und –abbau über die diversen Biomassekomponenten beruhen auf der Nettoprimärproduktion als Teil der Bruttprimärproduktion. Damit verbunden sind letztlich auch der Kohlenstoff – Haushalt und Nährstoffkreisläufe in den Waldökosystemen (Biomen).

## 2. Material und Methoden der Biomasseerhebungen

Für die Berechnung der Einzelbaum(Bestandes)-biomasse und –produktion und ihrer Teilkomponenten ist neben dem Mittelstammverfahren das regressionsanalytische Verfahren die am häufigsten verwendete Methode. Letztgenanntes Verfahren wird bei größeren Genauigkeitsansprüchen, vor allem bei verhältnismäßig uneinheitlichen Bestandesstrukturen, empfohlen (LICK, 1989; PELLINEN 1985; FREEDMAN ET AL., 1982, etc) und daher bei zahlreichen Untersuchungen der Vorzug gegeben (u.a. KRAPFENBAUER UND BUCHLEITNER 1981, etc...).

### 2.1. Buche (Wienerwald)

Bei der Auswahl der Untersuchungsbestände für die Biomasseinventuren in der Forstverwaltung Stift Heiligenkreuz (Niederösterreich) standen Merkmale, wie ähnliche Standorts- und Wuchsverhältnisse , Reinbestandscharakter, volle Bestockung, Gleichaltrigkeit und weitgehende gleichartige, waldbauliche Behandlung im Vordergrund („Einzelbaum – Chronosequenz“).

### Ertragskundliche Merkmale

Ertragskundliche Kenndaten der 4 Versuchsflächen (Flächengröße 400 m<sup>2</sup> bis 2500 m<sup>2</sup>) auf gutwüchsigen (10.Bonität) Standorten im westlichen Flysch-Wienerwald stockend, sind in Tabelle 1 beschrieben.

Tab.1: Ertragskundliche Kenndaten der Versuchsflächen HLK 1, HLK 2, HLK 3 und HLK 4

| VFL    | Alter | N/ha   | dg (cm) | H <sub>L</sub> (m) |
|--------|-------|--------|---------|--------------------|
| HLK 1: | 22    | 21.000 | 4,6     | 8,5                |
| HLK 2: | 40    | 2.860  | 14,0    | 16,9*              |
| HLK 3: | 67    | 1.220  | 21,7    | 24,4               |
| HLK 4: | 110   | 488    | 37,0    | 35,2               |

\* Im Rahmen des Projektes wurden Biomasse- und Nährstoffuntersuchungen auf der Versuchsfläche HLK 2 von PUTZGRUBER (1993) durchgeführt.

### Probebaumauswahl und -aufarbeitung

Bei der Auswahl der Probetäume (Erfassung der verschiedenen sozialen Baumklassen innerhalb der Versuchsfläche) wurde vor allem auf die Durchmesserstruktur der Untersuchungsbestände geachtet (Einteilung in BHD-Stufen; Auswahl der Probetäume über die Stammzahlen in den BHD-Stufen gewichtet mittels Zufallszahlen; Abb. 1).

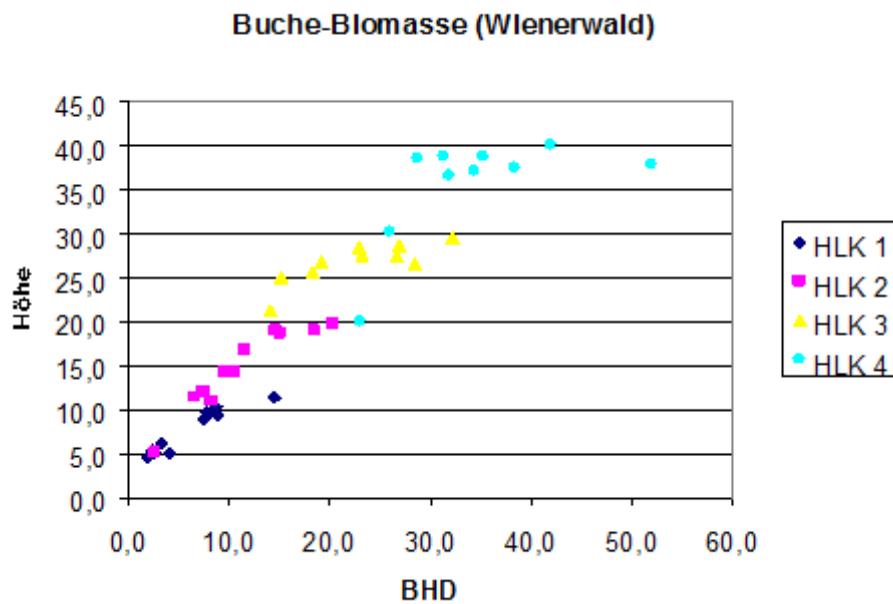


Abb.1: Brusthöhendurchmesser – Höhenbeziehung der Buchen-Probetäume im Wienerwald auf den Versuchsflächen HLK 1, HLK 2, HLK 3 und HLK 4.

Die Frischgewichtsbestimmung wurde primär durch Vollaufnahme der einzelnen Biomassekomponenten durchgeführt. Bei der Aufarbeitung der Probetäume vor Ort wurden die aus Abbildung 2 ersichtlichen Biomassekomponenten (Schaft- und Astholz; Holz - Rinde ( $\geq 7$  cm, 7-4 cm, 4-2 cm, 2-1cm; < 1cm (Zweige); Dürräste, Blätter) getrennt aufgearbeitet. Zusätzlich wurde die Kronenbiomasse in Kronensektoren (2 m-Sektorenlänge und/oder 5 Relativ-Kronensektoren) unterteilt (PUTZGRUBER, 1993; HOCHBICHLER ET AL., 1994; HOCHBICHLER, 1997).

Nur bei den stärkeren Bäumen erfolgte aus arbeitstechnischen Gründen die Ermittlung der Stammbelastholzrindenbiomasse unter Zuhilfenahme von Volumsmessungen, Stammscheibenentnahmen

und Gewichtsbestimmung über Raumdichtewerte und die Bestimmung der Zweig- und Blattmasse nach einer gemeinsamen Frischgewichtsbestimmung vor Ort über einen aus einer Teilprobe ermittelten Umrechnungsfaktor zur Trennung von Zweig- und Blattmasse („vereinfachtes“ Verfahren).

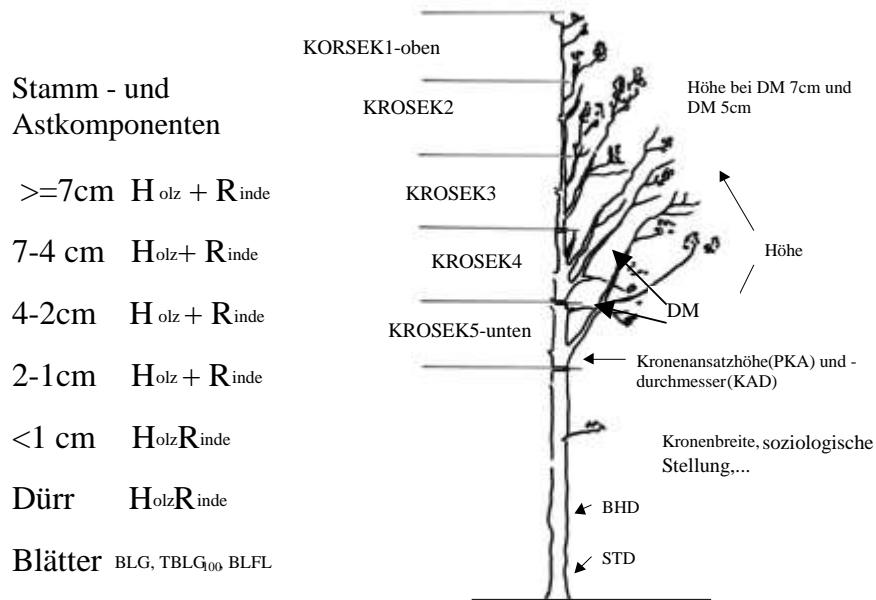


Abb. 2: Einzelbaum-Biomasseninventur der Buche im Wienerwald [Baummerkmale, Kronensektoren, Stamm- und Astkomponenten; Trennung Holz und Rinde ( $H_{holz} + R_{inde}$ ), Blattparameter (Blattgewicht (BLG), 100-Blatttrockengewicht (TBGL<sub>100</sub>) ; Blattfläche (BLFL)]

Aufgrund des bei den Probebäumen der Versuchsflächen HLK 1 und HLK 2 ermittelten linearen Zusammenhangs zwischen Zweig- und Blattmasse (Gleichung 1), wobei die Blätter von den Zweigen getrennt und die gesamte Zweig- und Blattmasse jeder Kronensektion getrennt vor Ort gewogen wurde, kam das „vereinfachte“ Verfahren zur Reduzierung des Arbeitsaufwandes bei den Probebäumen der Versuchsflächen HLK 3 und HLK 4 zur Anwendung (Abb. 3).

$$BLG = 0.001 + 0.503 * ZW \quad (1)$$

B=0.899 ( $\alpha=0.000$ )

BLG= Blatt-Trockengewicht; ZW= Zweig-Trockengewicht; B=Bestimmtheitsmaß; Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$

Die Ermittlung des Umrechnungsfaktors Frisch- zu Trockengewicht erfolgte für alle Proben mittels Teilproben.

Weitere Blattproben (100 Stück) wurden vor der Trockengewichtsbestimmung für die optoelektronische Bestimmung der Blattoberfläche herangezogen (HOCHBICHLER, 1997). Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen und die Empfehlungen für eine kronensektorenweise Erarbeitung der Blattfläche (LAI) mittels Blatt-Trockengewicht, 100-Blatt-Trockengewicht und spezifischer Blattfläche wurde bei HOCHBICHLER (1997) hingewiesen. Diesen Überlegungen wurden u.a. von PRSKAWETZ UND LEXER (2000) mitberücksichtigt.

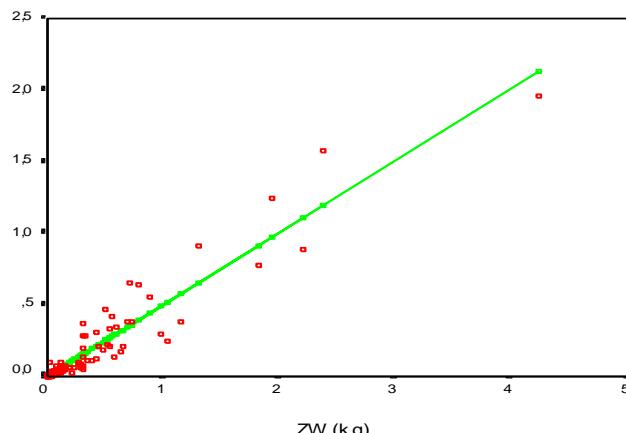


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Zweig- und Blattmasse beim Probenmaterial der Bäume der Versuchsflächen HLK 1 und HLK 2

## **2.2. Eiche ( Mittelwald)**

Das verwendete Biomassen-Datenmaterial der Eiche (Mittelwald) stammt aus verschiedenen Untersuchungen, welche im Hochleithenwald der Traun'schen Forstverwaltung Wolkersdorf im Weinviertel (Niederösterreich) durchgeführt wurden. Eigene Erhebungen in Mittelwald - Dickungen (5 Eichen) ergänzen die Untersuchungen an 13 Eichen in einem Eichen-Stangenholz (GLÜCK, 1996) und an 15 Oberholz-Eichen (PERTLIK, 1982), die dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurden (Abb. 4).

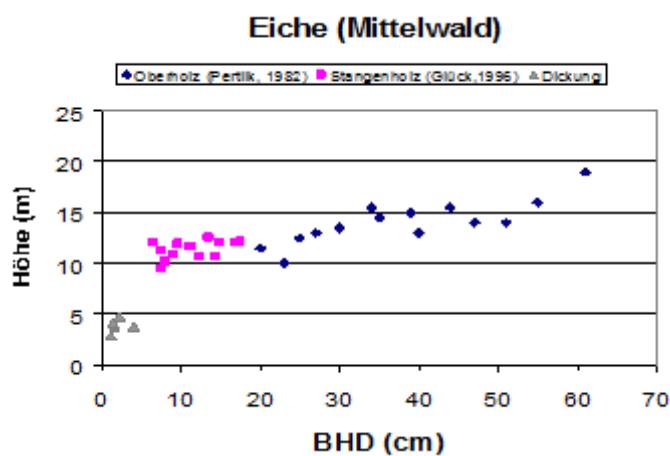


Abb. 4: Brusthöhendurchmesser – Höhenbeziehung der Eichen - Probearäume im Weinviertel (Mittelwald)

Die Erhebungen von GLÜCK (1996) und die Aufarbeitung der jungen Eichen erfolgten nach den bei der Buche beschriebenen Arbeitsanweisungen, PERTLIK (1982) wählte bei seinen Erhebungen eine andere Biomassekomponenteneinteilung.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Einzelbaum - Biomasse

Ziel der Einzelbaumauswertung ist - bei ausreichendem und homogenem Datenmaterial - statistisch gesicherte Schätzfunktionen zu erarbeiten. Diese sollten die Ermittlung des Einzelbaumtrockengewichtes und/oder das Trockengewicht der jeweiligen Biomassenkomponenten mit zufriedenstellender Genauigkeit aus einfach zu messenden Baumparametern ermöglichen.

Für die Schätzung der Einzelbaum-Baumholzrindenbiomasse (BHR) hat sich der, wie bei anderen Untersuchungen, allometrische Ansatz als der am besten geeignetste erwiesen.

Aus der Abbildung 5 sind die beobachteten und geschätzten Baumholzrindenbiomassen mittels der Gleichungen (2) und (3) ersichtlich. Dabei wurden die BHD-Höhen-Beziehungen für Buche und Eiche, welche aus den vorhandenen Probäumen errechnet wurden, verwendet.

$$\ln \text{BHR} = a + b_1 * \ln \text{BHD} \quad (\text{Eiche}) \quad (2)$$

$$\ln \text{BHR} = a + b_1 * \ln \text{BHD} + b_2 * \ln H \quad (\text{Buche}) \quad (3)$$

(BHR=Trockengewicht der Baumholzrindenbiomasse, BHD=Brusthöhendurchmesser, H=Baumhöhe, ln=natürlicher Logarithmus)

*Tab. 2: Anzahl der Probäume, Parameter, Schätzkoeffizienten und ihre Signifikanzen (Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ ), das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und dessen Signifikanz (Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ ) und Korrekturfaktor c ( $c=s_{ee}^2/2$ ; u.a. Freedman et al. 1982, Sprugel, 1983)*

|                | Eiche (2)   |          | Buche (3)   |          |
|----------------|-------------|----------|-------------|----------|
| Anzahl         | 33          |          | 42          |          |
| Parameter      | Koeffizient | $\alpha$ | Koeffizient | $\alpha$ |
| a              | -0,883      | 0,000    | -2,872      | 0,000    |
| b <sub>1</sub> | 2,140       | 0,000    | 2,095       | 0,000    |
| B <sub>2</sub> |             |          | 0,678       | 0,000    |
| <hr/>          |             |          |             |          |
| R <sup>2</sup> | 0,986       | 0,000    | 0,997       | 0,000    |
| c              | 0,041       |          | 0,008       |          |

Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der Trockengewichte der Baumholzrindenbiomasse (BHR) unter Verwendung der Schätzfunktionen (-tafeln) verschiedener Autoren (PELLINEN, 1986; DECEI, 1981; PRETZSCH, 2000; OSZLANYI, 1986).

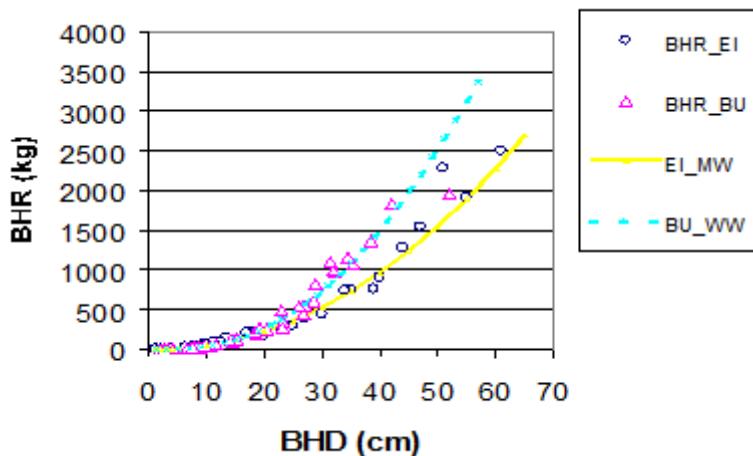


Abb. 5: Beobachtete Werte (BHR\_EI, BHR\_BU) und Zusammenhang zwischen Brusthöhendurchmesser (BHD) und Baumholzrindenbiomasse (BHR) für die Buche-Wienerwald (BU\_WW) und Eiche-Mittelwald (EI\_MW)

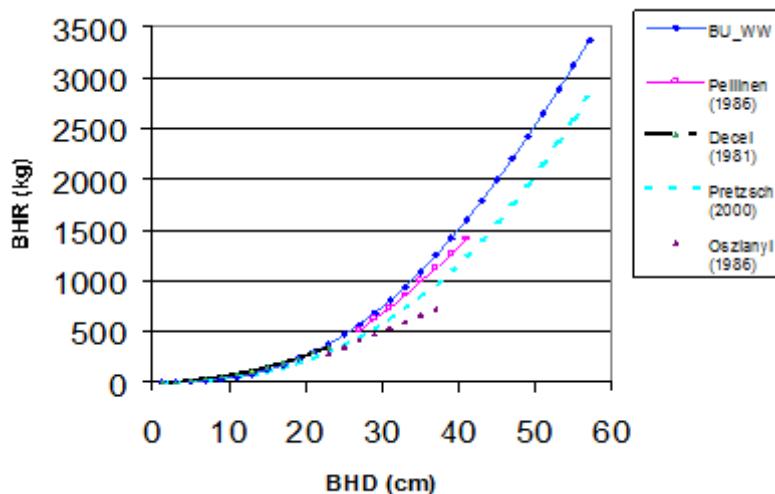


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Brusthöhendurchmesser (BHD) und Baumholzrinden- biomasse für die Buche, er rechnet nach der BHD-Höhenbeziehung der Probeäume und den Schätzfunktionen verschiedener Autoren [PELLINEN (1986), DECEI (1981), PRETZSCH (2000) , OSZLANYI (1986)]

### 3.2. Beispiele für die Kronenbiomasseverteilung bei Buche

Ziel einer sektorenweisen Aufarbeitung der Kronenbiomasse ist es, Informationen über die Verteilung (räumliches Muster, Anteile der Biomassekomponenten) und Entwicklung der Trockengewichte der Biomassekomponenten im Kronenraum zu bekommen. Beispiele von Verteilungen verschiedener Astbiomassenkomponenten nach Kronensektoren (absolute und relative Kronensektorlängen), getrennt nach soziologischer Stellung der Probeäume, sind in den Abbildungen 7 und 8 ersichtlich.

Bei den Bäumen der Versuchfläche HLK 4 ist Astderbholz in Rinde in den unteren 3 Kronensektoren bei den vorherrschenden und herrschenden Bäumen (SOZGR 12) vorhanden. Bei den Bäumen der Stammklassen 3, 4 und 5 (SOZGR 345) fehlt diese Astbiomassekomponente bei 2 Bäumen und bei den anderen tritt sie nur in den beiden unteren Kronensektoren auf.

Bei den anderen Astbiomassekomponenten nehmen die Trockengewichte von den oberen zu den unteren Kronensektoren deutlich zu. Die Unterschiede zwischen den Bäumen mit unterschiedlicher soziologischer Stellung ist nicht sehr ausgeprägt. Dabei ist die Anzahl der Probebäume, vor allem bei den Bäumen mit niedriger soziologischer Stellung, und die Schwierigkeit bei der Ansprache der soziologischen Stellung in diesem einschichtigen Buchenaltbestand zu berücksichtigen.

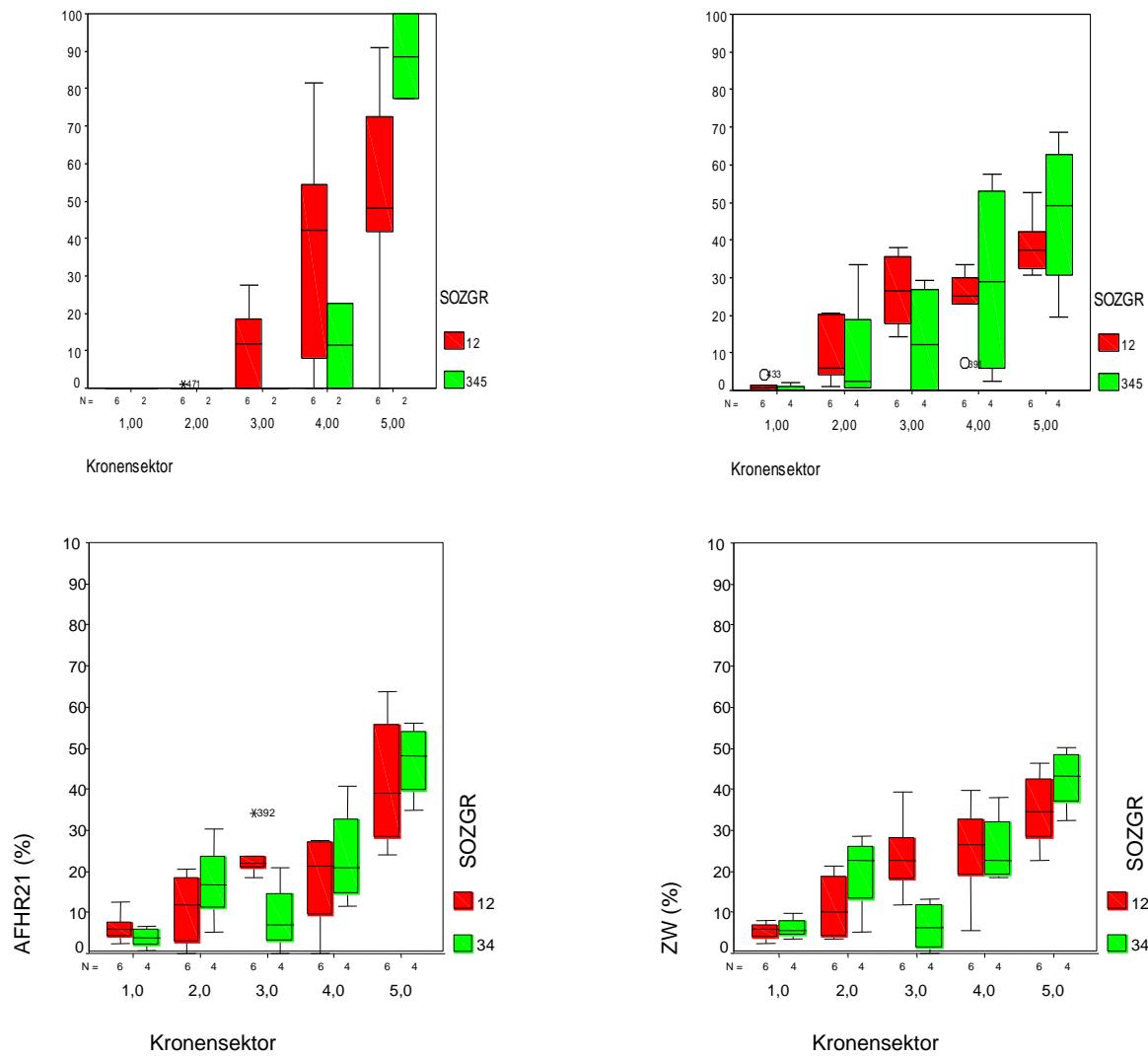


Abb. 7: Kronensektorenweise Verteilung (Kronenfünftel) der relativen Anteile der Trockengewichte (%) verschiedener Astbiomassekomponenten der 10 Buchen-Probebäume der Versuchsfläche HLK 4 (ADHR= Astderholzrinde; AGHR=Astgrobholzrinde; AFHR(21)=Astfeinreisig (21) in Rinde; ZW= Zweige in Rinde), getrennt nach soziologischer Stellung (SOZGR12= Kraft'sche Stammklassen 1 und 2; SOZGR345= Kraft'sche Stammklassen 3, 4 und 5) (BOX-Plot- Darstellung)

Hingegen sind bei der aus Abbildung 8 abgeleiteten Verteilung des Trockengewichts der Zweige bei den Bäumen der Versuchsfläche HLK 2, deutlicheren Unterschieden erkennbar. Das Zweig-Trockengewicht bei den Bäumen der Stammklassen 3, 4 und 5 (SOZGR 345) nimmt von oben nach unten deutlich ab. Bei den vorherrschenden und herrschenden Bäumen (SOZGR 345) kulminiert

das Zweig-Trockengewicht im Kronensektor 3. Kronenaufbau und –entwicklung und somit die Verteilung (Entwicklung) der Biomassekomponenten werden, wie zu erwarten, in der Bestandesphase (Stangenholz) der Versuchsfläche HLK 2 stark von der gegebenen Konkurrenzsituation geprägt (Astreinigung; Mortalität).

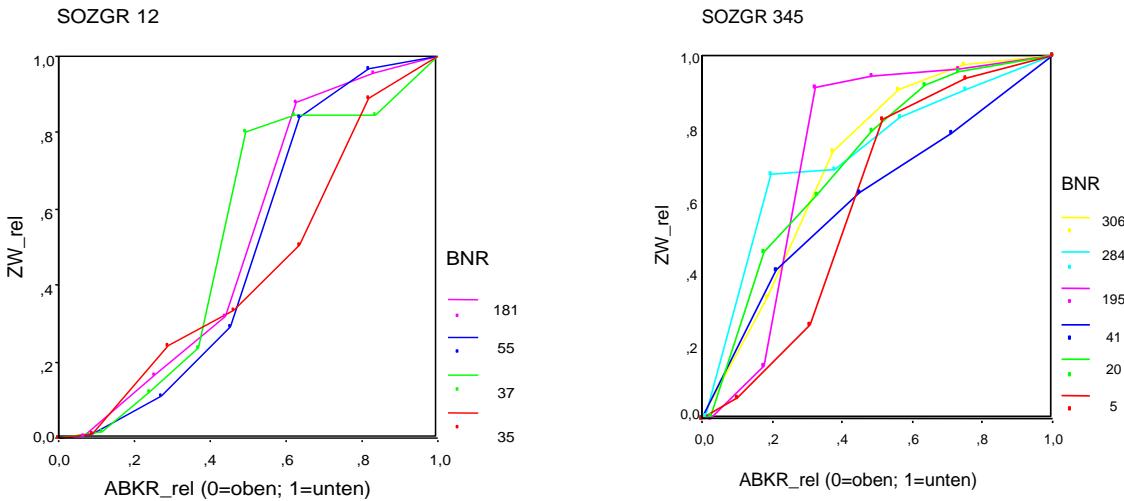


Abb. 8: Kummulative, relative Zweig - Trockengewichtssumme ( $ZW_{rel}$ ) in Beziehung zur relativen Kronensektorenhöhe ( $ABKR_{rel}$ ; 1=Kronenansatz, 0=Spitze) der 10 Buchen -Probabäume der Versuchsfläche HLK 2 (SOZGR12=Kraft'sche Stammklassen 1 und 2; SOZGR345=Kraft'sche Stammklassen 3, 4 und 5)

### 3.3. Beispiel für Bestandesbiomassen (Eiche)

Die Bestandeskennwerte der Eichen-Versuchsflächen HR1 und HR 2 sind in Tabelle 3 beschrieben.

In Tabelle 4 sind die mittels verschiedener Verfahren auf ha-Werte hochgerechneten Bestandesbiomassen (Baumholzrinde-Trockengewicht je ha), die Blatt-Trockengewichte und Blattflächenindizes des Hauptbestandes für die Versuchsflächen HR 1 und HR 2 ersichtlich (vgl. HOCHBICHLER ET AL., 2000).

Für die Schätzung der Biomasse des Nebenbestandes und/oder Unterholzes (zB. Hainbuche, Hasel, Hartriegel) wurden die Untersuchungen von BELLOS (2000) herangezogen.

Die Blattflächenindices (BLFL; einseitig projezierte Blattfläche in  $m^2/m^2$ ) wurde mittels des 100-Blatt-Trockengewichtes und der mittleren spezifischen Blattfläche ermittelt (Tab.4).

Es zeigt sich, daß die mittels der Varianten II und III ermittelten Trockengewichte der Baumholzrinden - Biomassen von der Variante I auf der Versuchsfläche HR 1 um –14 % bis + 11 % und auf der Versuchsfläche HR 2 um bis zu – 17 % abweichen (Tab. 4).

Auf dieses allgemeine Problem bei der Berechnung der Biomasse mittels Schätzfunktionen, daß das anhand der Funktion für die gesamte Biomasse geschätzte Trockengewicht von jenem Trockengewicht abweicht, das aus der Summe der einzelnen Teilkomponenten ermittelt wird, wird von zahlreichen Autoren verwiesen (KOZAK, 1970; FREEDMAN ET AL., 1982; OUELLET, 1985 ETC. ).

Für die Versuchsfläche HR 1 errechnet sich ein Trockengewicht der Baumholzrinden-biomasse von 134,8 t/ha (Anteil des Nebenbestandes 6 %) und für die Versuchsfläche HR 2 ein Baumholzrinden-

trockengewicht von 110,9 t/ha (Anteil des Nebenbestandes 21 %). Bei geringerem Biomassevorrat der Versuchsfläche HR 2 liegt das Blatt-Trockengewicht über jenem der Versuchsfläche HR 1 (Anteil des Nebenbestandes 10 % und 34 %). Analog verhält es sich mit dem Blattflächenindex (Anteil des Nebenbestandes 18% und 43 %).

Tab. 3: Ertragskundliche Kenndaten der 30-jährigen Eichen-Versuchsflächen Hohenriedsteig 1 (HR 1) und 2 (HR 2) im Hochleithenwald (ohne Totholz) und 100-Blatttrockengewicht (TBLG<sub>100</sub> in g) und spezifische Blattfläche (SLA in cm<sup>2</sup>/g) für verschiedene Baum- und Straucharten

| Bestandesfunktion (?) und Baumarten |                | HR 1 |               | HR 2 |               | TBLG <sub>100</sub><br>g | SLA<br>cm <sup>2</sup> /g |
|-------------------------------------|----------------|------|---------------|------|---------------|--------------------------|---------------------------|
|                                     |                | N/ha | BHD/H<br>cm/m | N/ha | BHD/H<br>cm/m |                          |                           |
| HA                                  | Stei           | 944  | 16,4/14,0     | 1010 | 13,9/12,9     | 32,2                     | 119,9                     |
| NE                                  | Hbu            | 1700 | 3,3/5,9       | 600  | 2,3/4,8       | 13,1                     | 217,0                     |
|                                     | Hasel          | 900  | 1,7/3,1       | 6600 | 3,0/5,3       | 31,6                     | 200,4                     |
|                                     | Hartriegel sp. | 200  | 1,5/3,3       | 300  | 1,7/2,9       | 17,0                     | 144,2                     |
|                                     | So Lh          | 20   | 5,2/5,6       | 150  | 9,4/11,0      |                          |                           |
|                                     | Total          | 2820 |               | 7650 |               |                          |                           |

Tab. 4: Baumholzrinde-Trockengewicht (BHR in t/ha), Blatt-Trockengewicht ( BLG in t/ha) und Blattflächenindices (BLFL in m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) für die Versuchsflächen HR 1 und HR 2, getrennt nach Hauptbestand (HA) und Nebenbestand (NE) [Variante 1: Trockengewicht, errechnet aus Summe der Teilkomponenten (Hochbichler et al. 2000) der 13 Probearäume (Glück, 1996); Variante 2: Trockengewicht errechnet anhand der Ausgleichsfunktion der gesamten Einzelbaum -Baumholzrindenbiomasse nach Glück (1996); Variante 3: Trockengewicht der Baumholzrindenbiomasse errechnet mit Gleichung (2)]

|             | Variante | HR1                | HR2               |                                        | HR1 | HR2 |
|-------------|----------|--------------------|-------------------|----------------------------------------|-----|-----|
| HA          | I)       | 127,3 t/ha(100 %)  | 88,1 t/ha (100 %) | BLG (t/ha)                             | 2,6 | 2,1 |
|             | II)      | 109,5 t/ha ( 86 %) | 83,4 t/ha ( 95 %) |                                        | 3,1 | 2,5 |
|             | III)     | 140,9 t/ha (111 %) | 73,0 t/ha ( 83 %) |                                        |     |     |
| NE          |          | 7,5 t/ha           | 22,8 t/ha         | BLG (t/ha)                             | 0,3 | 1,1 |
|             |          |                    |                   | BLFL (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) | 0,7 | 1,9 |
| HA (I) + NE |          | 134,8              | 110,9             | BLG (t/ha)                             | 2,9 | 3,2 |
|             |          |                    |                   | BLFL (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) | 3,8 | 4,4 |

#### 4. Zusammenfassung

Zielsetzungen, Vorgehensweisen und Erfahrungen bei Biomasseinventuren an Buche und Eiche, welche im letzten Jahrzehnt im Wienerwald und Weinviertel (Mittelwald) durchgeführt wurden, werden beschrieben und Ergebnisse als Beispiele der noch laufenden Auswertungen vorgestellt. Für die Erfassung der oberirdischen Bestandesbiomasse wurde die regressionsanalytische Methode gewählt. Die Aufarbeitung der Probearäume vor Ort erfolgte als Vollaufnahme (Frischgewicht), getrennt nach unterschiedlichen Biomassekomponenten. Zusätzlich erfolgte die Aufarbeitung der Buchen-Kronenbiomasse nach Kronensektoren (2 m-Sektorenlänge und/oder 5 Relativ-Kronensektoren). Für die Trockengewichtsbestimmungen (Umrechnungsfaktor Frisch-/Trockengewicht) wurden Stammscheiben und Mischproben der Stamm- Ast und Blattbiomassekomponen-

ten geworben. Zusammenhänge zwischen einzelnen der Baumholzrindenkomponente und einfach zu erhebenden Parametern (BHD, Höhe) und ein Verfahren für eine praktikable Ermittlung der Blattbiomasse (-fläche) werden diskutiert. Ansätze für die Darstellung der Verteilung verschiedener Biomassekomponenten im Kronenraum bei Buche werden vorgestellt. Basierend auf Biomasseerhebungen an Eiche werden Bestandeswerte dargestellt.

## 5. Literatur

- BELLOS, P.N., 2000: Biomasseuntersuchungen auf Verjüngungsflächen im Mittelwald. Diplomarbeit Univ. f. Bodenkultur, Wien
- DECEI, I., 1981: Biomass of High Productivity Trees and Young Beech stands (*Fagus sylvatica L.*). In: Kyoto biomass Studies. Complete Tree Institute of School of Forest Ressources, Univarsity of Maine, Oronp, USA, 125-128.
- FREEDMAN, B., DUINKER, P.N., BARCELY, H., .MORASH, R., UND PRAGER U., 1982: Forest Biomass and nutrient studies in Central Nova Scotia. In: Canadian forest Services, Information Report M-X-121.
- GLÜCK, S., 1996: Biomassenuntersuchungen auf einer Eichenversuchsfläche des nördöstlichen Niederösterreichs unter Zuhilfenahme statistischer Methoden. Diplomarbeit Univ. f. Bodenkultur, Wien
- HOCHBICHLER, E., 1997: Blattparameter in Buchenbestände (*Fagus sylvatica L.*) des Wienerwaldes. Cbl. f d. ges. Forstwesen, 114. Jg. (2/3), S. 63-72.
- HOCHBICHLER, E. PUTZGRUBER, N., KRAPFENBAUER, A., 1994: Biomassen- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40-jährigen Buchenbestand (*Fagus sylvatica L.*). Cbl. f.d. ges. Forstwesen, 111. Jg, (1), S. 1-22.
- HOCHBICHLER, E., RUHM, W., SCHÖNAUER, H., 2000: Management of Oak Forest in Austria. Glas. Sum. Pokuse 37: 51-68. Zagreb.
- KOZAK, A., 1970: Methods of ensuring additivity of biomass components by regression analysis. For. Chron. 46: 402-404.
- KRAPFENBAUER, A. UND BUCHLEITNER E., 1981: Holzernte, Biomassen- und Nährstoffaustrag, Nährstoffbilanz eines Fichtenbestandes. Cbl. f.d. ges. Forstwesen, 98. Jg, (4), 193-223.
- LICK, E., 1989: Untersuchungen zur Problematik des Biomassen- und Nährelemententzuges bei der Erstdurchforstung eines zentralalpinen Fichtenbestandes. Diss. Univ. f. Bodenkultur, Wien
- OSZLANYI, J., 1986: Analysis into Biomass Production and into its Energy Equivalent of the Tree Layer in Five Forest Ecosystems. Ed. of Scientific Committee for Biological-Agricultural Sciences and the Scientific for Biological-Medical Sciences of the Slovak Academy Sciences, XXXII/1. 157 S.
- OUELLET, D., 1985: Biomass Equations for six Commercal Treespecies in Quebec. For. Chron.: 218 – 222.
- PELLINEN, P., 1986: Biomasseuntersuchungen im Kalkbuchenwald. Diss. Univ. Göttingen. 145 S.
- PELLINEN, P., 1985: Notwendigkeit und Probleme der Biomassenermittlung. Aforst-u. J.-Ztg., 155. Jg., 6, 141-142.
- PERTLIK, E., 1982: Verhältnis der Masse der Mistel (*Loranthus europaeus*) zur Masse der Eiche (*Quercus sp.*) und Vergleich der Gehalte N, P, K, Ca und Mg in der Trockenmasse. Diplomarbeit, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- PRETZSCH, H., 2000: Die Regeln von REINEKE, YODA und das Gesetz der räumlichen Allometrie. Allg. Fors- u. J.-Ztg., 171 Jg., 11, 205-210.
- PRSKAWETZ M. UND LEXER M.J., 2000: Evaluierung des LI-COR LAI-2000 zur Ermittlung des Blattflächenindex in Buchenjungbeständen. Allg. Fors- u. J.-Ztg., 171 Jg., 9-10, 185-191
- PUTZGRUBER, N., 1993: Biomassen- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40-jährigen Buchenbestand. Diss. Univ. f. Bodenkultur, Wien
- SPRUGEL, D.G., 1983: Correcting for bias in log-transformed allometric equations. Ecology, 64 (1), 209-210.

**Danksagung:** Die Untersuchungen wurden im Rahmen der von der Österreichischen Nationalbank geförderten Projekte „Entwicklung von standortbezogenen Behandlungsmodellen für die Buchenbewirtschaftung auf der Grundlage intensiver Ökosystemforschung im Zusammenhang mit Biomassennutzung“ (Projekt Buche: Nr. 3521) und „Zur Eichenmittelwaldbewirtschaftung im sommerwarmen Osten“ (Projekt Eiche: Nr. 6554) umgesetzt. Die Erhebungen vor Ort konnten dankenswerterweise durch Unterstützung der Forstverwaltung Stift Heiligenkreuz (FM DI Ertl) und der Traun`schen Forstverwaltung Wolkersdorf (FM DI Schöffberger; Rfo Ing. Himmelbauer) durchgeführt werden.

# Biomasse- und Nährstoffinventuren zur Ermittlung von Ernteentzügen an drei bayerischen Fichtenstandorten\*

**Hans-Peter Dietrich, Stephan Raspe, Melanie Schwarzmeier, Susanne Ilg**

## 1. Einleitung

Verantwortungsbewusstes waldbauliches Handeln muß die Nachhaltigkeit der Holzproduktion sichern, die Bodenfunktionen schützen und ein gezieltes Nährstoffmanagement beinhalten. Dies erfordert neben der Berücksichtigung der Nährstoff- bzw. Schadstoffeinträge aus der Luft auch die Bilanzierung der Nährstoffentzüge mit der Holzernte. Mit zunehmender Bedeutung des nachwachsenden Rohstoffes Holz als "Biomasse" oder Energieträger stellt sich die Frage nach weiteren Nutzungspotenzialen ebenso, wie nach den mit dieser Nutzung verbundenen Nährstoffentzügen.

Die umfassende Kenntnis von Struktur und Verteilung der Biomasse- und Nährstoffpools an Waldbäumen und in Waldbeständen ist dazu eine wichtige Voraussetzung. Es sind detaillierte Grundlagen Daten von Beständen auf unterschiedlichen Standorten erforderlich, die bislang vor allem für den Kronenbereich wegen des hohen Erhebungsaufwandes nur aus wenigen und z.T. bereits historischen Untersuchungen vorliegen.

Im folgenden Beitrag werden gemäß der Themenstellung des Workshops primär methodische Aspekte von Inventuren betrachtet und die dabei verwendeten Methoden zur Biomasse- und Nährstoffvorratsermittlung an Fichten vorgestellt. Besonderes Augenmerk wird der Ableitung von allometrischen Schätzfunktionen (regressionsanalytische Methode) für die Berechnung von Bestandesbiomassen und Bestandesvorräten aus einfachen zu erhebenden Schätzgrößen geschenkt. Durch den Vergleich der drei Fichtenstandorte wird der Bedarf für standortabhängige Schätzmodelle auf Einzelbaumbasis beschrieben und diskutiert.

## 2. Untersuchungsziele

Vorrangiges Ziel der Untersuchung war es, die oberirdische Baum-Biomasse ("Dendromasse") und die darin gespeicherten Elementvorräte in vergleichbar strukturierten Fichtenbeständen auf unterschiedlichen Sandorten zu ermitteln. Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1999 bis 2001 von der LWF in Kooperation mit der Fachhochschule Weihenstephan an den Bayerischen Waldklimastationen Ebersberg (EBE), Flossenbürg (FLO) und Zusmarshausen (ZUS) durchgeführt. Mittels detaillierter Erfassung des Kronenbereichs sollte eine Abschätzung möglicher Ernteentzüge nach verschiedenen Aufarbeitungsvarianten ermöglicht und wichtige Grundlagen für standortübergreifende Bewertungen gewonnen werden. Da die Nährstoffspeicherung in der Biomasse eine bedeutende Kenngröße im Stoffkreislauf eines Waldes darstellt, wurden die gewonnenen Informationen zusammen mit den Messdaten aus dem Programm der Waldklimastationen für eine umfassende Stoffhaushaltsbetrachtung genutzt. Die maßgeblichen Einflüsse auf die untersuchten Ökosysteme

---

\* Projekt ST74 und ST95, gefördert von der Bayerischen Staatsforstverwaltung.

können so vergleichend bewertet werden (anthropogene Säurebelastungen ebenso, wie die Nährstoffverluste durch die Holzernte).

### **3. Bedarf für die Durchführung eigener Inventuren**

Inventuren der Baumbiomasse sind äußerst arbeitsintensiv. Um detaillierte Informationen über die Biomassen verschiedener Baumkompartimente und der darin gespeicherten Nährstoffvorräte je Hektar zu erhalten, können i.d.R. nicht ganze Waldbestände geerntet, vermessen, gewogen und deren Bestandteile analysiert werden. Regelmäßig muß von wenigen intensiv untersuchten Baumindividuen über Stammzahl, Durchmesser oder Höheninformationen auf den gesamten Bestand hochgerechnet werden. Die Anzahl der Probebäume ist dabei häufig ein Kompromiß zwischen erforderlicher Genauigkeit der Aussage und den arbeitstechnischen Möglichkeiten. Eine Erhöhung der Genauigkeit durch einen größeren Stichprobenumfang (mehr als 10 Bäume) kompensiert nach MARKLUND (1987) nicht den zusätzlichen Kosten- und Zeitaufwand. YOUNG (1976) hält 15 Probebäume für notwendig um eine Schätzfunktion für Dendromassekompartimente zu erstellen. Im Gegensatz dazu hält OVINGTON ET. AL. (1967) jedoch die Erfassung von 5 Probebäumen im Bereich des Grundflächenmittelstammes für ausreichend um die Bestandesdendromasse sicher abzuschätzen. Die Angaben schwanken somit stark.

Schätzmodelle, wie sie z.B. als Ertragstafeln für die Volumen-Vorratsermittlung des Stammholzes in Beständen vorliegen, stehen für die Abschätzung der Massen und Vorräte von einzelnen Kronenkompartimenten (Kronen- und Astmaterial, Nadeln oder Blätter) bislang nur eingeschränkt zur Verfügung. Zwar wurden z.b. für die Fichten durch BURGER (1929 bis 1953) oder Kiefern durch HEINSDORF UND KRAUß (1990) sog. Massenschätztafeln entwickelt, in denen abhängig von Durchmesser und Höhe (Bonität) Massen- und auch Nährstoffvorräte einzelner Baumkompartimente abgeschätzt werden können. Diese sind von den Autoren jedoch als Modelle mit räumlich begrenzter Gültigkeit definiert und für die Fichte wohl nur bedingt aktuell. Zudem basieren diese Modelle auf Ertragstafelkenngrößen und einer vergleichsweise bemessenen Anzahl von Fallstudien. Sie enthalten hoch aggregierte Bestandeskennwerte z.b. für Nadel- oder Reisiggewichte. Über die Gültigkeit der Ergebnisse bei abweichenden Bestandesstrukturen liegen i.d.R. keine Informationen vor (z.b. Bestände mit unterschiedlicher Stammzahlhaltung).

In den meisten Fallstudien werden die Bestandesvorratsgrößen von Mittelstammuntersuchungen hochgerechnet. Am Einzelbaum orientierte, altersabhängige Schätzmodelle unter Beachtung von standörtlichen Einflußgrößen und Konkurrenzeffekten existieren nicht. Bei hoher Anforderung an die Genauigkeit bestandesspezifischer Vorratsschätzungen müssen sich deshalb ökosystemare Bewertungen bislang auf örtliche Massen- und Vorratsermittlungen stützen.

### **4. Material und Methode**

#### **4.1 Standorte und Bestände**

Die Untersuchungen wurden im Herbst/Winter 1999/2000 in den beiden jeweils etwa 85 Jahre alten Forschungsbeständen an den Bayerischen Waldklimastationen (WKS) "Ebersberg" im Ebersberger

Forst (Münchener Schotterebene auf mäßig frischem Standort mittlerer Nährstoffversorgung) und "Flossenbürg" am Entenbühl bei Silberhütte (Innerer Oberpfälzer Wald auf schwach nährstoffversorgtem Gneisstandort) durchgeführt.

### Versauernd wirkende Ammonium-, Nitrat- und Sulfat-Einträge im Jahr 2000

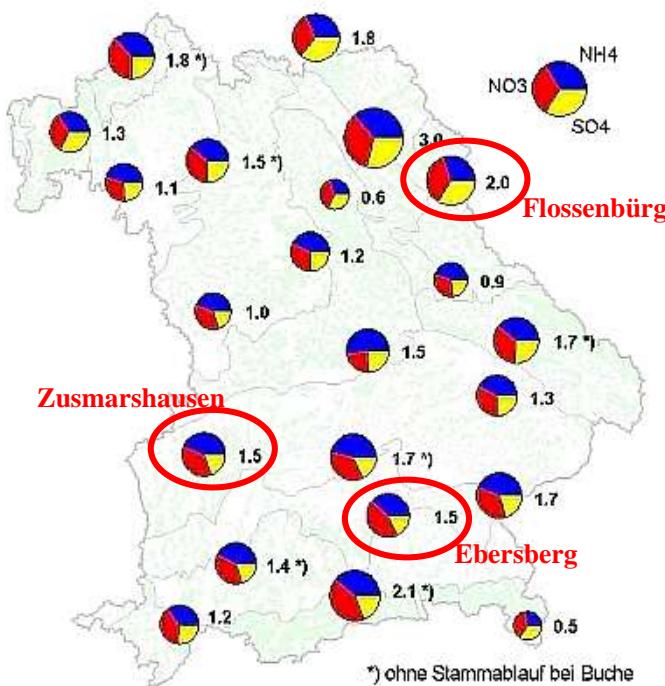


Abb. 1: Lage der drei Untersuchungsbestände in Bayern mit Angabe der aktuell gemessenen säurewirksamen Einträge [kmol ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>]

Im Winter 2000/2001 erfolgte eine weitere Inventur in dem 80 jährigen Forschungsbestand der WKS "Zusmarshausen" (Mittelschwäbisches Schotterriedel –und Hügelland (Abbildung 1). Die unmittelbare Nähe zu den Bayerischen Waldklimastationen (WKS) wurde gewählt, um die dort erhobenen, komplexen Daten- und Zeitreihen zu Vitalität, Klima-, Wasser- und Bodenhaushalt, sowie Schadstoffmissionen zu nutzen.

Die drei Untersuchungsbestände vergleichbaren Alters unterscheiden sich deutlich in ihren Standortsbedingungen (Tabelle 1), der aktuellen anthropogenen Belastungssituation (Abbildung 1) und der Wuchsleistung ( Tabelle1, Abbildung 2). Die deutlichen Unterschiede im Stammholzvolumenvorrat zwischen den einzelnen Beständen sind neben der unterschiedlichen Wuchsleistung auch durch eine z.b. am Standort Zusmarshausen (ZUS) stark abweichende Stammzahlhaltung bedingt. Darüber hinaus spielt bei vergleichbarer Stammzahlhaltung an den Standorten Ebersberg (EBE) und Flossenbürg (FLO) die unterschiedliche Durchmesser- Verteilung der Bestände eine entscheidende Rolle.

Tab. 1: Standorts- und Bestandeskenndaten der Bestände Flossenbürg, Ebersberg und Zusmarshausen; (Quelle: LWF 1995-1997)

|                                                | FLO              | EBE           | ZUS                      |
|------------------------------------------------|------------------|---------------|--------------------------|
| Standort                                       |                  |               |                          |
| Temperatur [°C]                                | 6                | 7 - 8         | 7 - 8                    |
| Niederschlag [mm]                              | 900              | 950           | 700                      |
| Bodentyp                                       | Braunerde-Podsol | Parabraunerde | Parabraunerde-Pseudogley |
| Bestand                                        |                  |               |                          |
| Alter                                          | 85               | 85            | 80                       |
| Bonität [Oberhöhenbonität nach Assmann, Franz] | 30               | 35            | 41                       |
| BHD-Grundflächenmittelstamm [dg cm]            | 31               | 39            | 35                       |
| Höhe-Grundflächenmittelstamm [hg cm]           | 25               | 33            | 37                       |
| Stammzahl [N/ha]                               | 544              | 520           | 692                      |
| Volumenvorrat und Zuwachs                      |                  |               |                          |
| Volumenvorrat [V fm/ha]                        | 560              | 966           | 1302                     |
| durchschn. jährl. Volumenzuwachs [iV fm/ha]    | 11,2             | 18,9          | 13,2                     |

## 4.2 Die Inventur der Massen und Vorräte

In den Beständen wurden jeweils 5-7 repräsentativ über das jeweilige Durchmesserspektrum verteilte Bäume gefällt (Auswahl nach Grundflächen-Perzentilen), nachdem bei ihnen und ihren Nachbarbäumen die soziale Stellung (Krafft'sche Baumklasse), der Kronenzustand und die Kronenradien erhoben worden waren. Die Kronenäste wurden quirlweise entnommen. Die benadelten und unbenadelten sowie toten Zweig- bzw. Astteile wurden vor Ort in cm-Durchmesserklassen getrennt und deren Frischgewichte bestimmt. Teilproben und ganze Stichprobenäste bestimmter Quirle wurden zur und weiteren Analyse entnommen. An den Stichprobenästen wurden die Massen unterschiedlicher Nadel- und Zweigjahrgänge, die Rinden- und Holzmassen sowie die chemische Zusammensetzung dieser Komponenten bestimmt. Außerdem wurden die Längen aller Triebe vermessen. Am verbleibenden Schaft wurden quirlweise die Jahrestrieblängen und die jeweilige Stärke der Stammabschnitte bestimmt. Von jedem Stamm sind 8 Stammscheiben zur Jahrringuntersuchung, zur Bestimmung der Rinden-, Splint- und Kernholzmassenanteile sowie zu deren chemischer Analyse gewonnen worden. Die Proben wurden im Labor der LWF analysiert. Dabei fanden die im Methodenleitfaden für das Level-II-Programm dokumentierten Analyseverfahren und –methoden Verwendung (BMVEL, 1997).

Die Massenermittlung des Baumes erfolgte somit für:

Kronenkompartimente: durch eine Vollaufnahme der Frischgewichte im Gelände und eine Trockengewichtsermittlung aus Alliquoten für verschiedene Kronensegment;

Holzkompartimente: durch Rohdichtebestimmung an Stammscheiben untersch. Höhe und Massenermittlung über die Stammvolumina;

Rinde: durch Trockengewichtsbestimmung an Stammrinden definierter Fläche und Hochrechnung über Stammoberflächen und durch Ermittlung der Trockengewichtsanteile an Ästen unterschiedlicher Stärke;

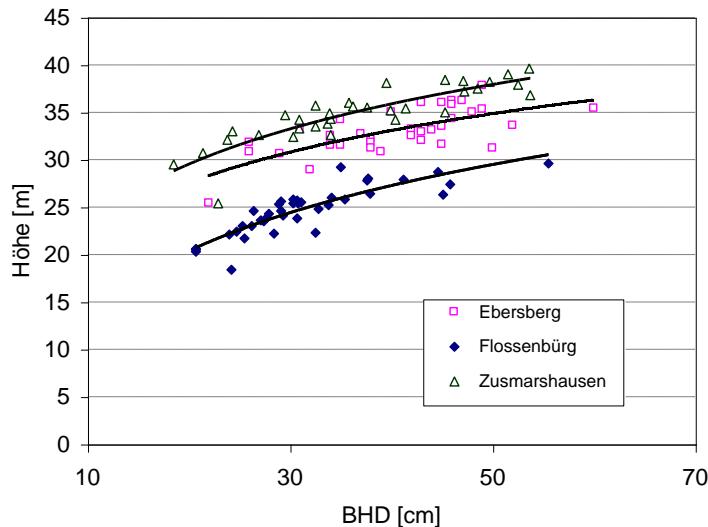


Abb. 2: Stammzahl-Durchmesserverteilung und Bestandehöhenkurven der drei Bestände.

Die Nährstoffvorratsermittlung erfolgte für:

Kronenkompartimente: durch Bestimmung der Nährelementgehalte an Nadeln und Zweigen verschiedener Alter, sowie an Astrinden und Astholzproben mittlerer Aststärken jeweils für verschiedene Kronensegmente. Multiplikation der Gehalte mit der entsprechenden Biomasse;

Stamm: durch Bestimmung der Elementgehalte in Kern-, Splint- und Rindenproben aus Aliquoten unterschiedlicher Schafthöhe. Multiplikation der Gehalte mit der Biomasse der jeweiligen Stammsegmente.

Detaillierte Methodenbeschreibungen finden sich in SCHWARZMEIER (2000) und LWF (2002).

## 5. Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Einzelbaumbiomassen

Die oberirdische Biomasse nimmt mit zunehmendem Brusthöhendurchmesser (BHD) stark zu (Abb. 3). So besitzt z.B. der stärkste Probebaum der Station Ebersberg (BHD: 60 cm; KraftKl. 1) im Vergleich zum schwächsten Probebaum (BHD: 26 cm; KraftKl. 3) mit 1,95 Tonnen einen etwa sechsmal größeren Gesamtgehalt. Mit zunehmender Baumdimension bzw. sozialer Klasse steigt der Anteil an Kronen, bzw. Nadelbiomasse deutlich stärker an als der Stammholzanteil (incl. Rinde). Die Stammholzmasse nimmt dabei vom schwächsten zum stärksten Baum um ca. das 5-fache, die Nadelmasse um das 10-fache und die Astmasse um das 18-fache zu.

An starken Bäumen vergleichbarer Dimension (BHD 60 cm) beträgt der Anteil der "Kronenbiomasse" (Ast- und Nadelbiomasse) an der oberirdischen Gesamtbiomasse in Ebersberg 22% (Abb.3), in

Flossenbürg annähernd 30 % (nicht dargestellt). Der Anteil der Astmasse wächst besonders stark mit zunehmender Baumdimension und damit auch der Aufwand, den der Baum für die Steigerung der produktiven Nadelmasse betreibt.

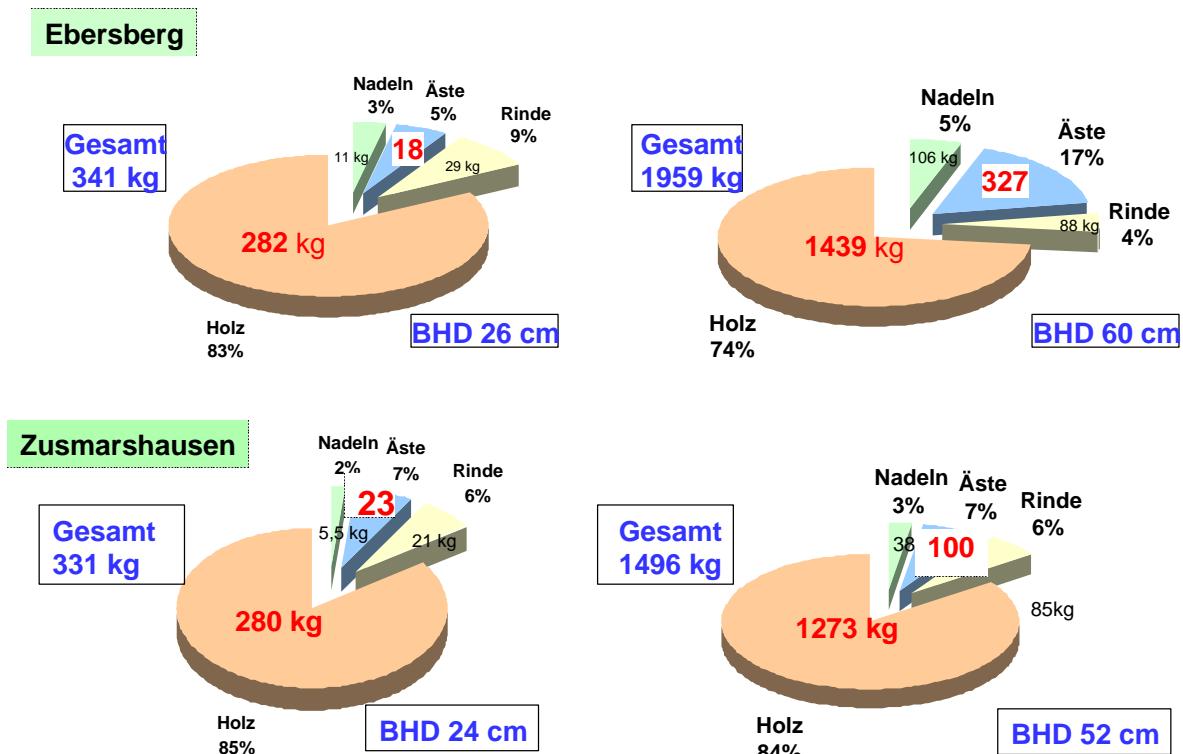


Abb. 2: Vergleich der Biomassen verschiedener Baumkompartimente an Einzelbäumen unterschiedlicher Dimension; Standorte Ebersberg und Zusmarshausen

Ein abweichendes Bild zeigen Vergleichsbäume am Standort Zusmarshausen (Abbildung 3). Dort bleiben die Anteile einzelner Baumkompartimente unabhängig von der Baumdimension annähernd gleich. Die Kronenanteile (Ast- und Nadelbiomasse) liegen jeweils bei etwa 10%. Als Ursache für die geringen Ast und Nadelmassen (absolut und relativ) dürfte die hohe Stammzahlhaltung und starke Überbestockung des Bestandes in Zusmarshausen anzusehen sein (Tab. 1). Zwar sind auch in Folge des Sturms "Lothar" im Vorjahr der Probennahme am Standort Zusmarshausen Verluste an Nadel und Ast-bzw. Zweigmasse aufgetreten, dieser Anteil beeinträchtigt - wie Sondererhebungen zeigen - die Ergebnisse aber nur unwesentlich.

## 5.2 Schätzfunktionen zur Ermittlung von Bestandesbiomassen (Regressionsmethode)

An allen drei Standorten finden sich enge Beziehungen zwischen der Schaftholzdimension der beprobten Einzelbäume (Durchmesser in Brusthöhe) und deren oberirdischen Biomassekompartimenten (Abbildung 4). In allen Fällen steigt die Biomasse mit zunehmendem Durchmesser an.

Der straffe statistische Zusammenhang erlaubt eine sehr präzise Schätzung der Massen des jeweiligen Bestandes über eine mathematisch formulierte Regressionsbeziehung (Regressionskoeffizienten i.d.R. größer 0,9) und den zuvor ermittelten Einzelbaumdurchmessern.

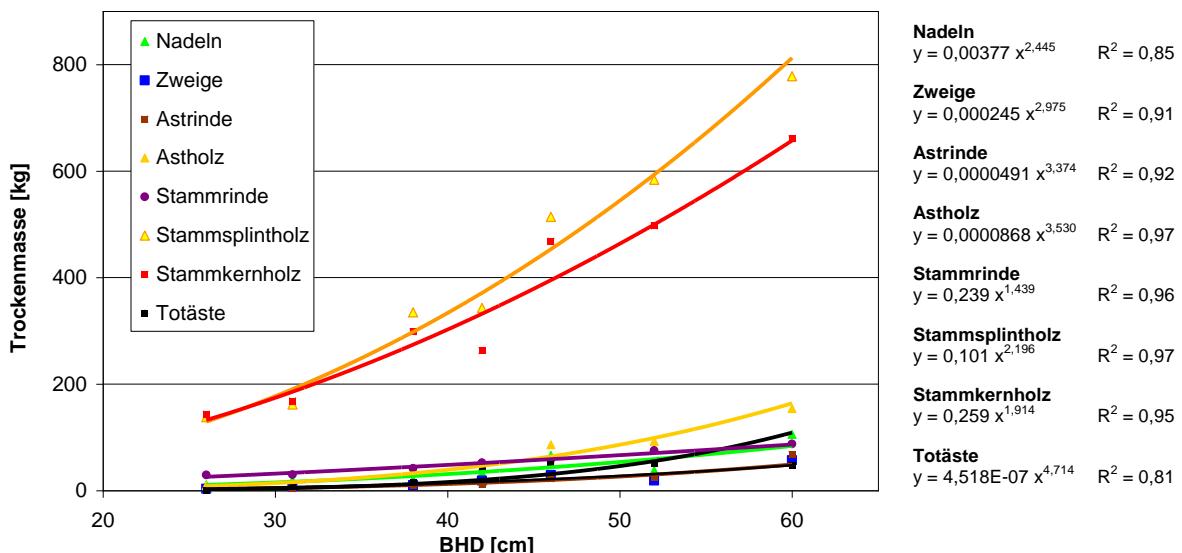


Abb. 3: Biomasse einzelner Baumkompartimente in Abhängigkeit vom BHD; Station Ebersberg.

Die Einzelbaumbetrachtung an den drei Standorten (Abbildung 5) verdeutlicht, dass trotz unterschiedlicher ertragskundlicher Kenndaten der Bestände, sich die oberirdischen Einzelbaummassen von Bäumen gleicher Durchmesser an den Standorten FLO und EBE weitgehend entsprechen. Ungeachtet unterschiedlicher Standortsbedingungen und Ertragsleistungen besitzen also Bäume gleichen Durchmessers an diesen beiden Standorten annähernd vergleichbare Einzelbaummassen. Eine einheitliche, standortunabhängige Schätzfunktion für die Summe aller Baumkompartimente ließe sich dort formulieren.

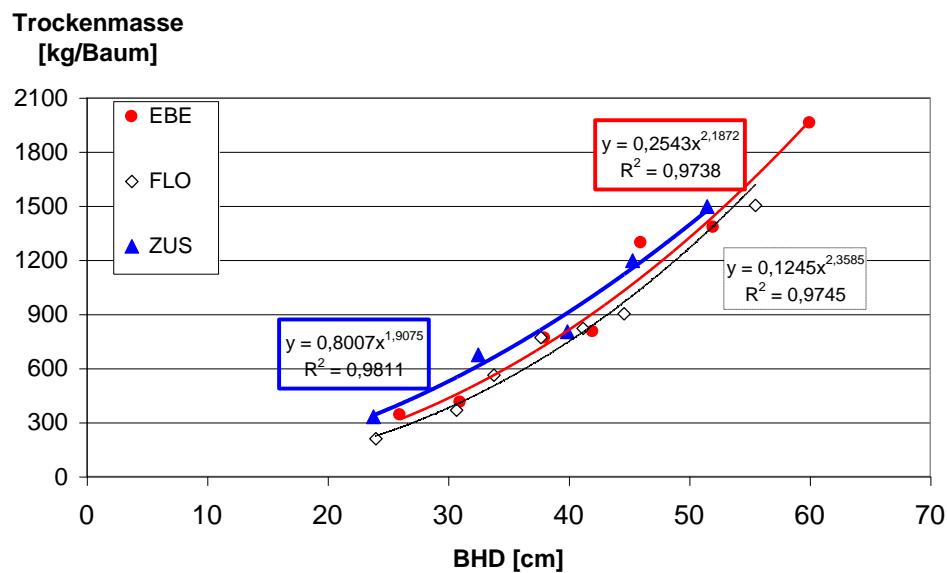


Abb. 4 Einzelbaum-Biomassen (Gesamt) in Abhängigkeit vom BHD; Vergleich der Bestände Flossenbürg, Ebersberg, Zusmarshausen

Dieses überraschende Ergebnis lässt sich aus der Tatsache erklären, dass bei Bäumen mit vergleichbarem BHD in Ebersberg zwar erwartungsgemäß höhere Stammbiomassen ermittelt werden (Abbildung 6). In Flossenbürg weisen die Bäume dafür aber deutlich höhere Kronenbiomassen auf

## Methoden

---

(Abbildung 7). Anders verhält es sich in Zusmarshausen, wo deutlich höhere Einzelbaumbiomassen über den Durchmessern zu beobachten sind (vgl. Abbildung 6). Aufgrund der höheren Wuchsleistung sind hier die Stammassen (Holz und Rinde) an Einzelbäumen gleicher Durchmesser höher als in Flossenbürg oder Ebersberg und dominieren die Einzelbaumgesamtmasse stärker. Wegen der wesentlich geringeren Kronenmassen (Äste und Nadeln) an dickeren Bäumen in Zusmarshausen (Abbildung 7) nähern sich aber im Vergleich mit den beiden anderen Standorten die Regressionsverläufe der Gesamtmasse mit wachsender Baumdimension stärker an.

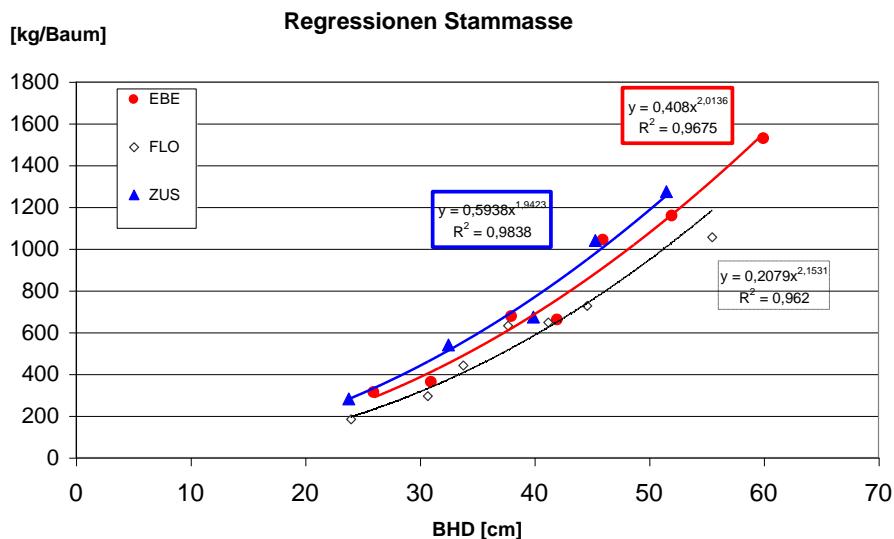


Abb. 5: Einzelbaumbiomassen (Stamm) in Abhängigkeit vom BHD; Vergleich der Bestände in Flossenbürg, Ebersberg, Zusmarshausen

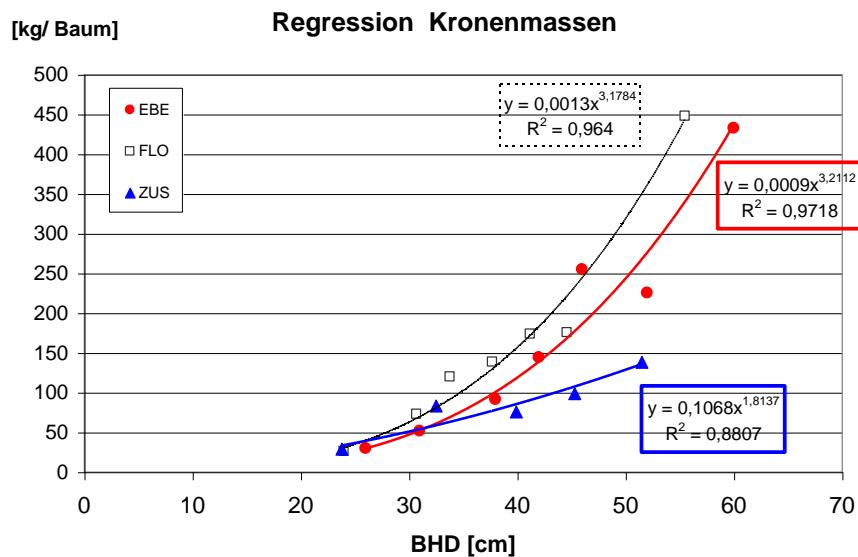


Abb. 6: Kronenbiomassen der Einzelbäumen (Nadeln und Äste) in Abhängigkeit vom BHD; Vergleich der Bestände in Flossenbürg, Ebersberg, Zusmarshausen

### 5.3 Bestandesvorrat an Biomasse

Durch die an Einzelbäumen abgeleiteten straffen allometrischen Beziehungen lassen sich mit der Kenntnis der Einzelbaumdurchmesser der Untersuchungsbestände die Bestandesbiomassen mit hoher Genauigkeit hochrechnen. Der exponentielle Verlauf der Schätzfunktionen und die bestandespezifischen Unterschiede für einzelne Kronenkompartimente belegen, dass alle am Bestandes-Mitteldurchmesser orientierte Schätzungen in der Hochrechnung über die Stammzahlen die tatsächlichen Bestandesvorräte nur vergleichsweise ungenau erfassen können. Insofern ist das Regressionsverfahren zu genauer Abschätzung der Bestandesvorräte geeigneter.

Bezogen auf den Gesamtbestand weisen die etwa gleichalten Fichtenbestände in Flossenbürg und Ebersberg entsprechend ihrer standörtlichen Ausgangssituation und waldbaulichen Behandlung charakteristische Unterschiede in Wuchsleistung, Stammzahl und Grundflächenhaltung auf (Tabelle 2). In ähnlicher Relation wie die Stammholzvolumen stehen auch die Biomassen einzelner Baumkompartimente in Ebersberg und Flossenbürg. Mit 966 Vfm/ha und rd. 440 t/ha sind die Vorräte etwa doppelt so hoch wie in Flossenbürg. Eine Ausnahme stellen die Nadelvorräte dar, die mit ca. 15 t/ha im Fichtenbestand in Flossenbürg annähernd gleich groß wie in Ebersberg sind (ca. 16 t/ha). Ein abweichendes Ergebnis zeigt der Bestand in Zusmarshausen. Hier sind die Nadel- und Atsbiomassenvorräte um 30-35% niedriger als in Ebersberg, obwohl der Holzvorrat gleichzeitig um rd. 30-35 % höher ist. Dem hohen Stammholzvorrat steht also in Zusmarshausen eine wesentlich geringere produktive Nadel- und Erhaltungsmasse gegenüber.

### 5.4 Elementgehalte verschiedener Baumkompartimente

Die Nadeln weisen auf allen drei Standorten jeweils die höchsten N-, S-, P-, K- und Mn-Gehalte aller Kompartimente auf (Abbildung 8). Vergleichbare Verteilungen wurden auch im Höglwald (MOOSBURGER, 1999) und in einem Fichtenbestand im Hochschwarzwald (SCHMID, 1989) gefunden. Nur bei starkem K-Mangel auf einem Buntsandsteinstandort in Villingen fand SCHMID (1989) höhere K-Gehalte in den Zweigen als in den Nadeln. Die Ca-Gehalte sind in der Stammrinde deutlich höher als in den Nadeln. Auch bei Mg und den Spurenelementen Fe, Al und Cu werden die höchsten Gehalte nicht in den Nadeln, sondern in den Zweigen gefunden.

Tab. 2: Bestandesbiomassen und der Verteilung auf einzelne Kompartimente

|                     | FLO  | EBE  | ZUS  |
|---------------------|------|------|------|
| Massenvorrat [t/ha] |      |      |      |
| Nadeln              | 14,7 | 16,4 | 13,7 |
| Äste, Zweige        | 27   | 53   | 36,9 |
| Rinde               | 13   | 25   | 30,9 |
| Holz                | 174  | 343  | 420  |
| Gesamt              | 229  | 437  | 501  |

Im Standortsvergleich zwischen Ebersberg und Flossenbürg zeigen sich deutliche Unterschiede in der Magnesium Ernährung. Am Mg- Mangelstandort Flossenbürg sind, anders als am Standort Ebersberg, die Mg-Gehalte in der Stammrinde am höchsten und auch deutlich höher als in den

Zweigen (Tabelle 2, Abbildung 8). Ein Befund, wie er schon von SCHMID (1989) und MÜNCH (1989) auf Mg-Mangelstandorten im Schwarzwald beschrieben wurde. Auch im Höglwald wurden die höchsten Mg-Gehalte in der Stammrinde gefunden (MOOSBURGER, 1999). Im Stammholz sind die Gehalte aller untersuchten Elemente mit Ausnahme von Zn als sehr gering zu bezeichnen.

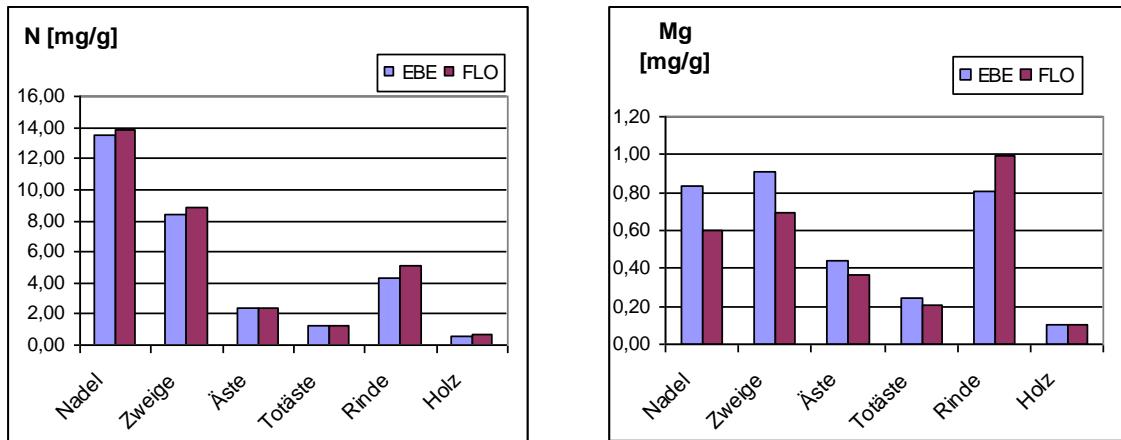


Abb. 8: Stickstoff- (links) und Magnesiumgehalte (rechts) in verschiedenen Baumkompartimenten. Vergleich der Standorte Flossenbürg und Ebersberg

## 5.5 Elementmengen am Einzelbaum

Da sich Elementmengen aus Gehalten und Massen der Probetypen herleiten, verwundert es nicht, dass sich wie bei den Biomassen selbst für jeden Standort vergleichsweise straffe, nicht lineare Beziehungen zum jeweiligen BHD für jedes Kompartiment ergeben. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 9 dargestellt. Mit großer Genauigkeit können so standorttypische Nährstoffmengen für einzelne Elemente und Baumkompartimente jedes Baumes der Fläche berechnet und Vorräte ermittelt werden.

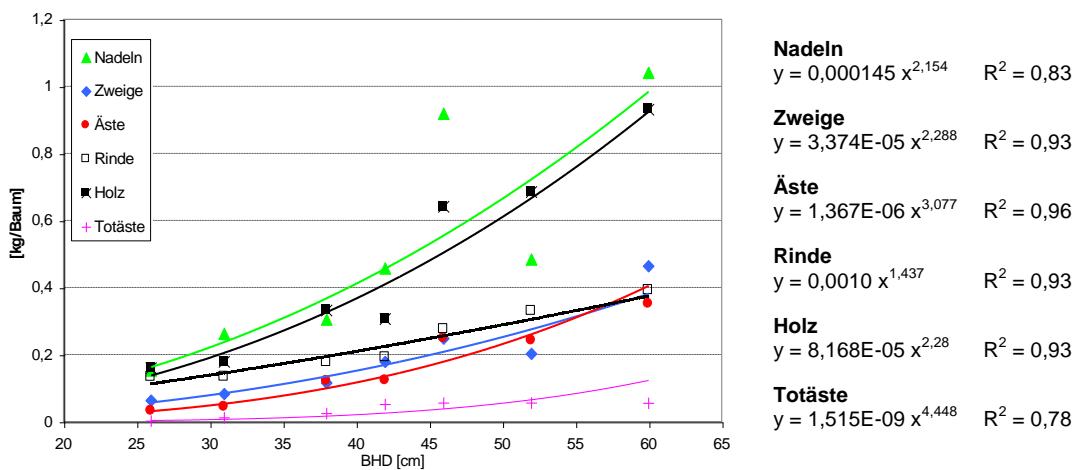


Abb. 9: Beziehungen zwischen BHD und N-Menge verschiedener Baumkompartimente in Ebersberg

Aus dem Vergleich der Regressionen für die Gesamt-N-Mengen der Bäume an den drei Standorten wird der Einfluß der unterschiedlichen Elementgehalte in den verschiedenen Baumkompartimenten deutlich (Abbildung 10). Die Anordnung und der Kurvenverlauf der Ausgleichsfunktionen für die

Gesamtstickstoffmengen ähneln eher den Regressionen für die Kronenbiomassen (Abbildung 7) als jenen für die Gesamtmassen (Abbildung 5). Verständlich wird dies, wenn man berücksichtigt, dass Stickstoff ungeachtet der geringen Gewichtsanteile von Nadeln und Zweigen bevorzugt in diesen angereichert wird.

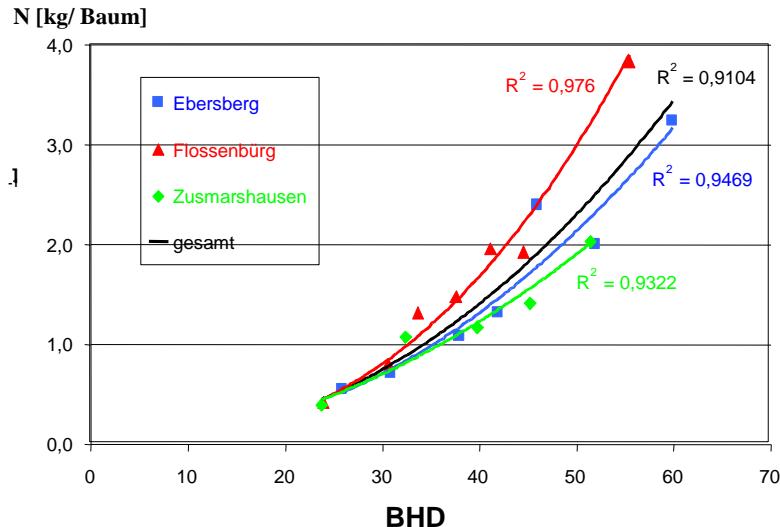


Abb. 10 Beziehungen zwischen BHD und N-Menge; Vergleich der drei Standorte

Bei der Ermittlung von Nährstoffvorräten ist somit die Variabilität nährstoffreicher Kompartimente (Nadeln, Äste und Rinde) in Abhängigkeit von Bestandesstruktur und Wuchsleistung der Bestände besonders bedeutsam.

Für standortübergreifende Schätzfunktionen bedarf es folglich des Wissens um Gesetzmäßigkeiten, z.B. dem bestandesspezifischen Einfluß auf die Verteilungen der Biomassen, oder der standörtlichen Variabilität der Elementanreicherung in verschiedenen Kompartimenten. Einzelbaumbezogene Schätzfunktionen aus sogenannten Regressionsverfahren bieten hierbei geeignete Ansatzpunkte. Ebenso erforderlich sind Verfahren zur Abschätzung der Nährelementgehalte verschiedener Baumkompartimente aus einfach bestimmmbaren Kenngrößen (z.B. standardisiert erhobener Blattspiegelwerte).

## 5.6 Nährstoffvorräte der Bestände

Trotz geringer Massenanteile werden in den Ästen, Nadeln, und der Stammrinde überproportional hohe Mengen an Nährstoffen (z.B. Stickstoff, Magnesium oder Kalium) gespeichert (Tabelle 3, Abbildung 11).

Mit wachsendem Anteil dieser Kompartimente an der Gesamtbiomasse nehmen die Nährstoffvorräte rasch zu. Alleine in den Nadeln, die nur 3 bis 6% der Gesamtbiomasse ausmachen, sind 30 bis 40% des Stickstoffs, 20 bis 30% des Kaliums oder 10 bis 18% des Magnesium gespeichert.

Ungeachtet der erheblich geringerer Biomassen (174 statt 420 t/ha) und Gesamt-Stickstoffvorräte (500 statt 700 kg) unterscheiden sich die Bestände in Flossenbürg und Zusmarshausen kaum in ihren Nadel- und Astbiomassen (40 bzw. 50 t/ha) oder in den darin gespeicherten N- Vorräten (310 bzw. 320 kg/ha; vgl. Tabelle 3, Abbildung 11).

Tab. 3: Biomasse- und Elementvorräte an den Waldklimastationen Flossenbürg, Ebersberg und Zusmarshausen.

|          |     |         | Nadeln | Zweige | Äste | Totäste | Rinde | Holz  | Summe |
|----------|-----|---------|--------|--------|------|---------|-------|-------|-------|
| Biomasse | FLO | [t/ha]  | 14,7   | 7,2    | 14,5 | 4,7     | 13,2  | 174,0 | 228,4 |
|          | EBE |         | 16,4   | 9,8    | 28,0 | 11,8    | 25,3  | 343,3 | 434,7 |
|          | ZUS |         | 13,7   | 7,9    | 19,3 | 9,7     | 31,0  | 420,2 | 501,8 |
| C        | FLO | [kg/ha] | 7,8    | 3,8    | 7,6  | 2,4     | 6,5   | 87,0  | 115,3 |
|          | EBE |         | 8,7    | 5,2    | 14,6 | 6,2     | 12,6  | 171,7 | 219,2 |
|          | ZUS |         | 7,2    | 4,3    | 10,1 | 5,1     | 16,3  | 215,5 | 258,4 |
| N        | FLO | [kg/ha] | 202,8  | 64,2   | 35,3 | 5,7     | 68,3  | 110,6 | 486,8 |
|          | EBE |         | 222,7  | 82,9   | 68,0 | 14,1    | 109,4 | 200,5 | 697,6 |
|          | ZUS |         | 191,0  | 72,4   | 48,4 | 10,0    | 169,7 | 206,1 | 697,6 |
| S        | FLO | [kg/ha] | 15,6   | 4,9    | 2,7  | 0,5     | 6,2   | 10,6  | 40,5  |
|          | EBE |         | 15,9   | 6,9    | 5,8  | 1,2     | 10,7  | 17,2  | 57,6  |
|          | ZUS |         | 13,2   | 6,1    | 4,5  | 1,0     | 15,0  | 21,8  | 61,7  |
| P        | FLO | [kg/ha] | 18,0   | 6,2    | 2,6  | 0,3     | 7,4   | 6,8   | 41,3  |
|          | EBE |         | 20,0   | 9,1    | 5,6  | 0,8     | 10,9  | 10,2  | 56,6  |
|          | ZUS |         | 14,6   | 7,2    | 3,8  | 0,6     | 15,7  | 12,6  | 54,5  |
| K        | FLO | [kg/ha] | 79,0   | 24,3   | 13,7 | 3,1     | 34,5  | 61,2  | 215,9 |
|          | EBE |         | 66,5   | 33,1   | 26,8 | 8,2     | 49,6  | 114,4 | 298,5 |
|          | ZUS |         | 50,2   | 29,1   | 19,0 | 5,9     | 65,2  | 125,2 | 294,5 |
| Ca       | FLO | [kg/ha] | 38,5   | 25,6   | 33,2 | 4,1     | 103,1 | 105,4 | 309,9 |
|          | EBE |         | 90,4   | 44,4   | 93,3 | 12,8    | 248,6 | 241,4 | 730,9 |
|          | ZUS |         | 74,4   | 29,9   | 53,5 | 9,2     | 239,0 | 271,6 | 677,6 |
| Mg       | FLO | [kg/ha] | 8,9    | 5,0    | 5,4  | 1,0     | 13,0  | 17,8  | 51,1  |
|          | EBE |         | 13,6   | 9,0    | 12,3 | 2,8     | 20,4  | 33,9  | 92,1  |
|          | ZUS |         | 8,6    | 5,9    | 6,6  | 1,5     | 24,8  | 28,9  | 76,3  |

An allen drei Standorten wird annähernd gleich viel Stickstoff im jährlichen Kreislauf von Nadelneubildung und Nadelfall umgesetzt, aber am schlechtwüchsigen Standort Flossenbürg wesentlich weniger Stickstoff in der Holzmasse fixiert. Das gleiche Bild zeigt sich beim Magnesium. Etwa 20 bis 30% der Magnesiumvorräte sind alleine in den Stammrinden festgelegt. Bei der Holzernte können deshalb insbesondere auch auf Standorten mit hoher Holz-Massenleistung erhebliche Mengen an Nährstoffen über die Stammrinden den Beständen dauerhaft entzogen werden.

## 6. Folgerungen

Über Regressionsverfahren lassen sich Massen und Vorräte eines Bestandes gut schätzen. In einzelnen Beständen variieren die Verhältnisse an Bäumen unterschiedlicher Dimension jedoch stark. Solche bestandesspezifischen und standörtlichen Einflußgrößen werden bei der Anwendung von Regressionsverfahren - anders als bei Mittelwertverfahren - aber sichtbar und interpretierbar (soziale Einflüsse, Stammzahlhaltung, Standortsqualität). Von den am Einzelbaum orientiertem Vergleich

verschiedener Standorte, Bestandesalter und Bestandesstrukturen lassen sich Gesetzmäßigkeiten erkennen. Mit dem dort abgeleiteten Wissen sollten auch praktikable Schätzgrößen für einzelne Kompartimente in ihrem Bezug zu Ertragstafelwerten (z.b. Rindenanteile, Nadel- oder Kronenanteile) abgeleitet oder geprüft werden können. Bei ausreichender Datenlage ist eine gute Übertragbarkeit von Ergebnissen zu erwarten. Schätzwerte auf Einzelbaumbasis sind aber für die verschiedenen Baumarten bislang rar. Sowohl für die Massenleistung als auch die Nährstoffspeicherung stellt sich die Frage der Aktualität bisheriger, z.t. historischer Erkenntnisse. In der Zusammenfassung und Aufbereitung zahlreicher Fallstudienergebnisse wird eine vordringliche Aufgabe gesehen.

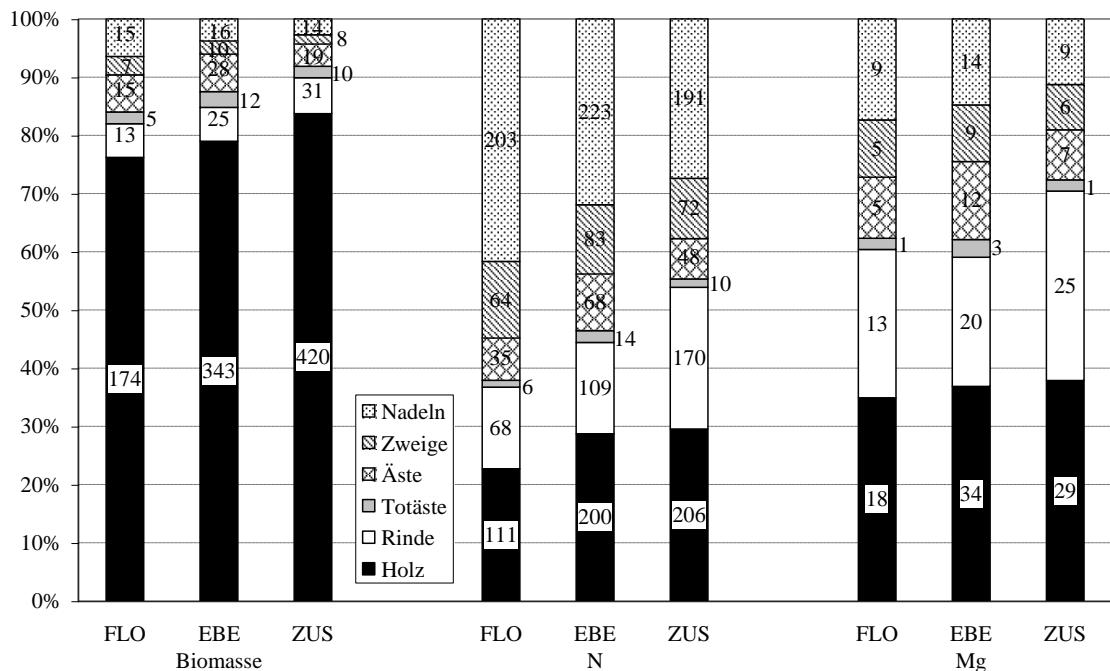


Abb. 11: Relative Verteilung der Biomasse- und Elementvorräte auf die oberirdischen Baumkompartimente an den Waldklimastationen Ebersberg (EBE) Flossenbürg (FLO) und Zusmarshausen (ZUS). Die Zahlen in der Grafik geben die absoluten Vorräte in t/ha (Biomasse) bzw. kg/ha (N- und Mg-Vorräte) an.

Im Einzelnen sollten:

- die Inventurdaten von Einzelbäumen verschiedener Standorte und Alter zusammengestellt und die Einflußgrößen auf die Schätzfunktionen an den Standorten getestet oder funktional beschrieben werden,
- bei ausreichender Datengrundlage die Fehler von ertragstafelbezogenen Schätzgrößen vergleichend beurteilt werden,
- einfache Schätzgrößen für die Beschreibung des Standorteinflusses z.b. der Elementgehalte unterschiedlicher Kompartimente geprüft werden (Eignung leicht erhebbarer Nadelkennwerte),
- durch Bereitstellung von geeigneten Parametern (Blattflächenindizes, Rohdichtekennwerte) ein Beitrag zur Optimierung von Modellen geleistet werden.

## 7. Literatur

- BURGER, H. (1929-1953), zit in MITSCHERLICH, G. (1978): Holz, Blattmenge und Zuwachs: Mitt. d. Schweizer Anst. F. d. forstl. Versuchswesen. Bde. 20;22;28;29
- BMVEL (1997): Dauerbeobachtungsflächen im Wald- Methodenleitfaden für das Level-II-Programm. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 1. Auflage, Bonn 1997, 124 S.
- HEINSDORF, D. und KRAUß, H.-H. (1990): Schätztafeln für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung von Kiefernbeständen; IFE Berichte aus der Forschung und Entwicklung 18, 1990.
- LWF (1995-1999): Bayerische Waldklimastationen- Jahrbücher 1994-1998. Bayer. Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (Hrsg.).
- LWF (2002): Inventur der Biomasse- und Nährstoffvorräte in Fichtenbeständen Bayerischer Waldklimastationen, Bay. Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (Hrsg.); Materialien der LWF (in Vorbereitung)
- MARKLUND, L. G. (1987): Biomass functions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Sweden. Dept. Forest Surrey, Swedish Univ. Agric. Sci. Umeå, Rep. 43. 127 S.
- MOOSBURGER, W. (1999): Biomasse und Nährlementgehalte von Fichte *Picea abies* K. und Rotbuche *Fagus sylvatica* und Elemententzug durch forstwirtschaftliche Nutzung am Beispiel Höglwald. Freising: Diplomarbeit am Fachbereich Forstwirtschaft der Fachhochschule Weihenstephan, 105 S.
- MÜNCH, D. (1989): Bioelementinventur und Waldnutzungsgeschichte eines 45-jährigen Fichtenbestandes *Picea abies* L. Karst auf Bärhaldegranit im Südschwarzwald. Freiburg: Diplomarbeit unveröffentlicht am Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Forstwiss. Fakultät der Universität Freiburg. 107 S.
- OVINGTON, J. D.; FORREST, W. G.; ARMSTRONG, J. S. (1967): Tree Biomass Estimation. In: Symposium on Primary Productivity and mineral cycling in natural exosystems. Univ. Maine, Ecol. Soc. Amer. S. 4 – 31.
- SCHMID, M. (1989): Oberirdische Biomasse- und Elementvorräte eines 100-jährigen Fichtenreinbestandes *Picea abies* L. Karst. auf Buntsandstein-Braunerde im Stadtwald Villingen. Freiburg: Diplomarbeit unveröffentlicht am Institut für Bodenkunde und WALDERNÄHRUNGSLEHRE DER FORSTWISS. FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT FREIBURG I. BR. 151 S.
- SCHWARZMEIER, M. (2000): Erhebung der oberirdischen Biomassevorräte von Fichtenbeständen *Picea abies* L. Karst im Bereich der Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg. Diplomarbeit Fachbereich Forstwirtschaft, FH Weihenstephan.
- YOUNG, H. E. (1976): A summary and analysis of weight table studies. In: Oslo biomass studies: Life Sci. Agri. Expt. Station, Univ. Maine, Orone, S. 251 – 282.

# Beispiele zur Erhebung der Biomasse- und Mineralstoffvorräte von Fichtenwurzeln

**Stephan Raspe**

## **1. Einleitung**

Die unterirdische Baumbiomasse stellt einen nicht unerheblichen Teil der gesamten Dendromasse von Waldökosystemen dar. Umfassende quantitative Erhebungen der Wurzelbiomasse von Altbeständen liegen nur für wenige Standorte vor. Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf andere Standorte ist nur beschränkt möglich, da das Wurzelwerk einer Baumart auf verschiedenen Böden noch größere Unterschiede aufweisen kann als das verschiedener Baumarten auf gleichen Böden (WIEDEMANN, 1972). Daher lässt sich das Wurzelsystem geradezu als Indikator für die Bodenbedingungen ansehen (WELLER, 1965).

Neben dem hohen Arbeitsaufwand beim Ausgraben der Wurzelsysteme von älteren Bäumen ist vor allem die Schwierigkeit, den „unterirdischen Wald“ (KRUEDENER, 1935) konkreten Einzelbäumen zuzuordnen, ein wichtiger Grund für das geringe Wissen um die Wurzelbiomasse von Waldbäumen. Die Wurzelsysteme der Einzelbäume durchdringen sich nämlich gegenseitig und bilden so, vor allem im Oberboden, ein dichtes Netzwerk, das eine Zuordnung von Einzelwurzeln unmöglich macht (RASPE ET AL., 1989).

In dieser Arbeit wird eine Methode zur flächenbezogenen Erfassung des unterirdischen Biomasse- und Elementvorrates an bestandesrepräsentativen Bäumen vorgestellt, bei dem eine direkte Zuordnung der Wurzeln zu Einzelbäumen nicht notwendig ist. Durch weitere horizontale und vertikale Stratifizierungen können die Biomasse und Elementgehalte verschiedener Wurzelklassen räumlich differenziert aufgenommen werden. Dadurch können einerseits die Poolgrößen Biomasse- und Elementvorräte der Wurzeln exakter berechnet und andererseits auch ihre räumliche Verteilung beschrieben werden.

## **2. Standorte**

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des forstökologischen Projektes ARINUS\* (RASPE ET AL., 1998) an zwei typischen Fichtenstandorten im Süd- bzw. Mittelschwarzwald durchgeführt.

Der Standort Schluchsee liegt im zentralen Hochschwarzwald 8 km südöstlich des Feldberges an einem NO-exponierten Hang in einer Höhe von 1150 bis 1250 m ü. NN. Das Klima ist kühlperhumid mit einer Jahresmitteltemperatur von ca. 5 °C und einer durchschnittlichen Niederschlagssumme um 1900 mm a<sup>-1</sup>. Ausgangsmaterial für die Bodenbildung sind periglaziale Schuttdecken und Moränenmaterial aus dem extrem Ca- und Mg-armen Bärhaldegranit (vgl. ZÖTTL ET

---

\* Das Forschungsprojekt ARINUS (Auswirkungen von Restabilisierungsmaßnahmen und Immissionen auf den N- und S-Haushalt der Öko- und Hydrosphäre von Schwarzwaldstandorten) wurde gefördert aus Mitteln des Landes Baden-Württemberg und der Kommission der Europäischen Gemeinschaften (PEF Karlsruhe).

AL., 1977). Die Böden (Eisenhumuspodsole, Podsol-Braunerden) sind meist lehmige Sande mit hohen Skelettgehalten zwischen 40 bis 60 %, wobei das Feinskelett (2-6 mm) überwiegt (ARMBRUSTER UND FEGER, 1998). Die bis in den tieferen Mineralboden niedrigen pH-Werte und Basensättigungen (FEGER UND RASPE, 1992) sind typisch für solche Granitstandorte. Die forstliche Standortskarte weist das Gebiet als „sauren bis stark sauren, lehmig-grusigen Hochlagen-Winterhang“ mit einer Feuchtestufe von „mäßig frisch bis stellenweise frisch“ aus. Die Vegetation zum Aufnahmepunkt bestand aus einem etwa 45 jährigen Fichtenreinbestand, der in Tab. 1 charakterisiert wird. Eine ausführliche Charakterisierung des Bestandes sowie der Bestandesgeschichte ist MÜNCH ET AL. (1990) zu entnehmen.

Tab. 1: Ertragskundliche Kennzeichnung der beiden untersuchten Fichtenbestände

|                                                                                              | Schluchsee | Villingen |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| Alter (a)                                                                                    | 45         | 100       |
| Durchmesser BHD (cm)                                                                         | 20,0       | 27,3      |
| Mittelhöhe (m)                                                                               | 14,9       | 25,2      |
| Stammzahl je ha                                                                              | 1120       | 664       |
| Durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs im Alter Hundert dGZ <sub>100</sub> (Vfm D.m.R.) | 9,0        | 7,4       |
| Laufender jährlicher Zuwachs im nächsten Jahrzehnt lz (Vfm D.m.R.)                           | 14,0       | 8,2       |

Der Untersuchungsstandort Villingen liegt in 900 m ü. NN auf einer Hochfläche der Ostabdachung des Mittleren Schwarzwaldes. Als Teil des Wuchsbezirks „Baar-Schwarzwald“ ist der Standort klimatisch durch starke Schwankungen im jährlichen und täglichen Temperaturgang gekennzeichnet (mittlere Jahrestemperatur 6 °C). Mit ca. 1250 mm a-1 fallen deutlich weniger Niederschläge als in den Schwarzwaldhochlagen. Ausgangsgestein der Böden ist der Obere Buntsandstein (so). Die forstliche Standortskarte weist für diese so-Hochflächen sandig-lehmige Böden aus mit weitverbreiteten lithogenen tonigen Stauhorizonten in 50-90 cm Tiefe. Als Folge ergeben sich für die Fichte eine geringe Tiefendurchwurzelung, starke Windwurfgefährdung sowie Engpässe in der Wasserversorgung während sommerlicher Trockenperioden. Der 100jährige Fichtenreinbestand stockt auf der am weitesten verbreiteten Standortseinheit „schwach podsolige, schwach pseudovergleyte Braunerde“. Die Ernährung der Bäume zeichnet sich durch eine schlechte N-, P- und K-Versorgung aus (FEGER UND RASPE, 1992). Die Wuchsleistung ist sehr gering (Tab. 1).

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Baumauswahl

Die Erfassung der Wurzelverhältnisse eines Bestandes ist nur durch Stichprobennahme möglich (KERN ET AL., 1961). Bei der Fichte besteht zwischen der sozialen Stellung des Stammes und der Ausbildung des gesamten Wurzelsystems ein enger Zusammenhang (WAGENKNECHT, 1960). Als

repräsentativer „Mittelbaum“ zur Bestimmung der oberirdischen Biomasse wird vielfach der arithmetische Grundflächenmittelstamm angesehen (OVINGTON ET AL., 1967). Es ist anzunehmen, dass diese Feststellung auch auf die unterirdischen Teile der Bestände zutrifft (vgl. FIEDLER ET AL., 1963).

Die Freilandaufnahmen in Villingen wurden im Herbst 1987, die in Schluchsee im Herbst 1989 durchgeführt. Nach einer Bestandesinventur mit Vollkluppung und Erstellen einer Bestandeshöhenkurve wurde an beiden Standorten je ein herrschender Probebaum im Bereich des Grundflächenmittelstamms ausgewählt. Zusätzlich sollte der Standraum der Probetäume dem mittleren Standraum des jeweiligen Bestandes entsprechen ( $10000 \text{ m}^2 / \text{Stammzahl pro ha}$ ). In Villingen wurde zum Methodenvergleich mit der Bohrkernmethode ein weiterer Grundflächenmittelstamm beprobt.

### 3.2. Probeflächenabgrenzung

In älteren Beständen ist es kaum möglich, das gesamte Wurzelwerk eines Einzelbaumes auszugraben, da technisch bedingt immer nur eine eng begrenzte Fläche freigelegt werden kann. Außerdem gibt es erhebliche Wurzelverflechtungen zwischen den Bäumen (VGL. RASPE ET AL., 1989). Daher wurde in der vorliegenden Untersuchung eine klar umgrenzte Probefläche bestimmt, aus der sämtliche Wurzeln entnommen werden konnten. Die Probefläche sollte zudem eine lückenlose Aufteilung der Gesamtfläche auf die Einzelbäume in Abhängigkeit von ihrem Standraum ermöglichen. Dies gewährleistet die Polygonbestimmung nach THIESSEN (1911), wonach die Schnittpunkt der Mittelsenkrechten auf den Abstandslinien vom Untersuchungsbaum zu seinen nächsten Nachbarbäumen die Eckpunkte der Probefläche bilden (Abb. 1). Unter der Annahme einer relativ gleichmäßigen Zwischenflächendurchwurzelung (vgl. KRAUSS ET AL., 1934; GROSSKOPF, 1950) ist davon auszugehen, dass die Wurzelmasse, die vom Untersuchungsbaum außerhalb dieser Fläche liegt, ungefähr der Masse entspricht, die sich von den Nachbarbäumen innerhalb der Probefläche befindet.

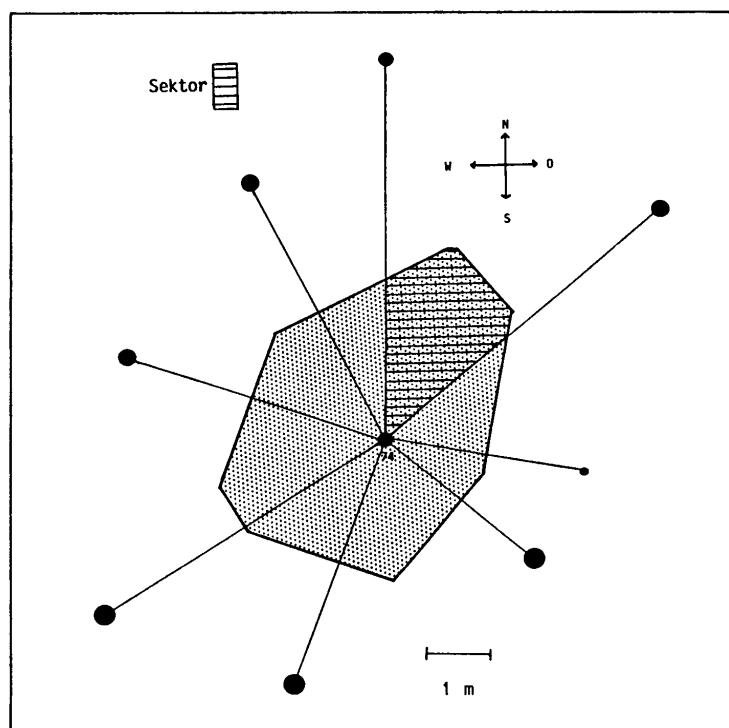


Abb. 1: Probefläche ( $15,9 \text{ m}^2$ ) zur Ausgrabung des Wurzelsystems am Standort Villingen.

Um auch die horizontale Variabilität der Wurzelverteilung zu erfassen, wurde das Polygon um den Probebaum am Standort Schluchsee in verschiedene Sektoren untergliedert (Abb. 2). Der zentrale Stockbereich bildete mit einem Radius von 37 cm den innersten Sektor. Der Rest der Fläche wurde in einen mittleren und einen äußeren Bereich abgegrenzt, wobei als Trennlinie ein Viertel des Abstandes zu den Nachbarbäumen gewählt wurde. Alle Wurzeln aus den einzelnen Sektoren wurden getrennt ausgegraben und ausgewertet.

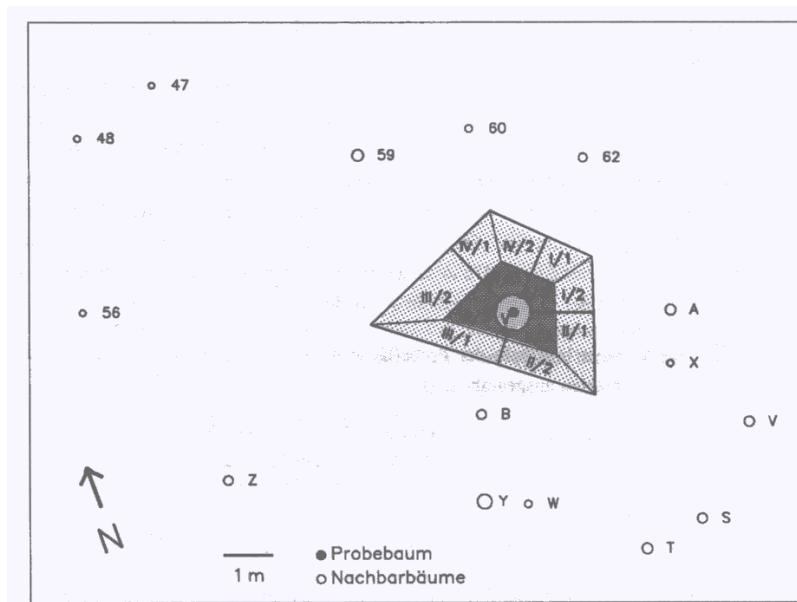


Abb. 2: Probefläche mit Untergliederung in die Sektoren I – V und die jeweiligen Teilsektoren (1 - /3) am Standort Schluchsee. Im Zentrum der Stockbereich. Die mittlere Fläche ist dunkelgrau, die äußere hellgrau gekennzeichnet.

Sämtliche Wurzeln innerhalb der Probeflächen wurden schichtweise bis zur tiefsten Wurzelendigung entnommen. Die Einteilung in verschiedene Tiefenstufen erfolgte nach klar erkennbaren Unterschieden in der Durchwurzelungsintensität jeweils an einer Bodenprofilwand. Aus ökonomischen und technischen Gründen wurden die Wurzeln aus den einzelnen Tiefenstufen in Schluchsee und Villingen in unterschiedlicher Weise gewonnen:

- An beiden Standorten wurde die oberste Tiefenstufe, wurde in Schluchsee und Villingen abgerollt, verpackt und später im Labor die Wurzeln sorgfältig herauspräpariert, nachdem tiefergehende Wurzeln vorsichtig abgeschnitten worden waren.
- In Villingen wurde bis in eine Tiefe von 50 cm das Bodenmaterial schichtweise mit einem Spaten abgestochen, zu einem Waschplatz transportiert und über einem großen Sieb mit 1,6 mm Maschenweite die Wurzeln ausgewaschen. Im tieferen Mineralboden wurden die Wurzeln direkt vor Ort mit Spachtel und Präpariernadel ausgegraben. Ab 90 cm Tiefe wurde bis zur letzten Wurzelendigung in 120 cm Tiefe gegraben.
- In Schluchsee wurden unterhalb der obersten Tiefenstufe alle Wurzeln direkt vor Ort ausgegraben, da der Boden hier einen hohen Feinskelettgehalt aufwies und so eine Auswaschung nicht in Frage kam.

Die Geländearbeit nahmen jeweils ca. 2 - 3 Monate in Anspruch. Zum Herauslesen der Wurzeln aus der obersten Tiefenstufe wurde ein weiterer Monat benötigt.

### 3.3. Probenaufbereitung im Labor und chemische Analyse

Die Wurzeln jeder Tiefenstufe wurden in 7 Durchmesserklassen eingeteilt (Tab. 2). Nur eindeutig als tot erkennbare Wurzeln, die sich schon im Stadium der Zersetzung befanden, wurden verworfen. Nach gründlichem Waschen wurden die Wurzelfraktionen im Umlufttrockenschrank bei 70 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend gewogen.

Tab. 2: Einteilung der Wurzeln in Durchmesserklassen.

| Klasse | Durchmesser [mm] |     |     | Bezeichnung    |
|--------|------------------|-----|-----|----------------|
| I      | <                | 2   |     | Feinwurzeln    |
| II     | 2                | -   | 5   | Schwachwurzeln |
| III    | 5                | -   | 10  | Mittelwurzeln  |
| IV     | 10               | -   | 20  | Grobwurzeln    |
| V      | 20               | -   | 50  | Derbwurzeln    |
| VI     | 50               | -   | 100 | Starkwurzeln   |
| VII    | >                | 100 |     | Wurzelstock    |

Nach Einteilung der Wurzeln in die verschiedenen Durchmesserklassen (vgl. Tab. 2) wurden für die chemische Analyse jeweils aliquote Anteile als Mischproben entnommen. Um die Stoffauswaschung möglichst gering zu halten, wurde jedes Wurzelstück entweder einzeln in einem kleinen Gefäß mit Deionat und einer Zahnbürste oder im Ultraschallbad (Schoellerschall TG 400 Frequenz 20 kHz) sorgfältig gereinigt und anschließend mit ca. 4 bar Wasserdruck über einem Sieb (Maschenweite 1 mm) mit deionisiertem Wasser abgespritzt. Um Auswaschungsverluste beim Waschen so gering wie möglich zu halten, wurde der Wasserkontakt der Wurzeln auf weniger als 2 Minuten beschränkt. Das Waschen der Wurzeln mit Ultraschall erwies sich bei einem Methodenvergleich als das Verfahren mit dem höchsten Reinigungsgrad bei den geringsten Auswaschungsverlusten (vgl. Raspe, 1992).

Nach dem Trocknen wurden alle Proben in einer Brabender-Mühle (Fa. Wiley) pulverisiert und nach folgenden Methoden aufgeschlossen und analysiert:

N - Gesamtstickstoffbestimmung nach Kjeldahl

S - Verbrennungsaufschluss nach Schöniger;  
Messung ionenchromatographisch (BIOTRONIC IC 1000) als  $\text{SO}_4^{2-}$

Veraschungsaufschluss zur Bestimmung der übrigen Elemente:

Trockenveraschung bei 550 °C; Aufnahme der Asche in HNO<sub>3</sub> (20 %); nach abrauchen auflösen in HCl (10 %).

P - Photometrische Messung als blauer Phosphat-Molybdat-Komplex

K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al - AAS/AES-flammentechnische Messung (PERKIN ELMER 403):

K in Emission in oxidierender Luft/Azetylen-Flamme;  
 Mn, Fe in gleicher Flamme in Absorption;  
 Ca, Mg nach Verdünnung in 1 % La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>-Lösung in reduzierender Lachgas/Azetylen-Flamme in Absorption.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1. Biomasse

In Abb. 3 sind die Biomasseverteilungen der einzelnen Wurzelklassen an den beiden Standorten dargestellt. Der Wurzelstock mit den Hauptwurzelanläufen (Klasse VII) konnte aufgrund der großen Durchmessers nicht auf die einzelnen Tiefenstufen aufgeteilt werden. An beiden Standorten ist der Wurzelstock bis 30 cm Tiefe verankert. Auch die Stark- und Derbwurzelmasse befindet sich überwiegend in den oberen Bodenschichten. Nur ein geringer Teil der Wurzelmasse erschließt in Form mächtiger Senker den Unterboden. Insbesondere die Fein- bis Mittelwurzeln weisen im Tiefenprofil eine exponentielle Abnahme auf. Die maximale Wurzeltiefe liegt in Villingen bei 1,20 m Tiefe und in Schluchsee bei 2 m.

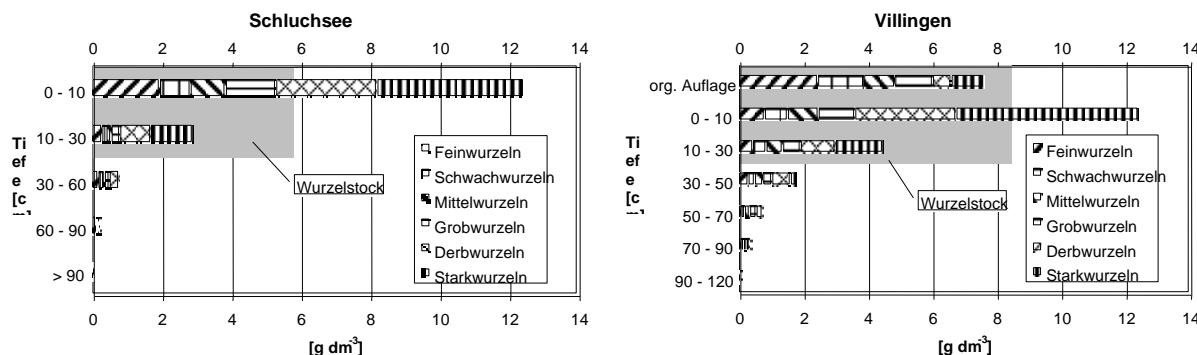


Abb. 3: Durchwurzelungsintensität in g Wurzelrohrensubstanz pro dm<sup>3</sup> Boden. Der Wurzelstock konnte nicht auf die einzelnen Tiefenstufen aufgeteilt werden und ist deshalb als graue Fläche bis 30 cm Tiefe dargestellt.

Die horizontale Variabilität der Fein- und Schwachwurzelintensität liegt in Schluchsee bei 50 bis 70 %. Eine ähnliche Variabilität der Feinwurzelverteilung im Oberboden unter Fichte fand Zöttl (1964). Bei seinen Untersuchungen mittels Bohrkernmethode lagen die Variationskoeffizienten im Unterboden sogar bei weit über 100 %. In Abb. 4 sind die Fein- und Schwachwurzelintensitäten bis 60 cm Tiefe mit zunehmendem Stammabstand dargestellt. In der obersten Tiefenstufe ist eine signifikante (MWU-Test  $p < 0,05$ ) Konzentration der Fein- und Schwachwurzeln auf den mittleren Ring zu beobachten. Im zentralen Stammbereich treten diese Wurzelklassen erwartungsgemäß in geringerer Intensität auf, da ein großer Teil des Volumens durch den Wurzelstock und die Hauptwurzeln eingenommen wird. In der zweiten Tiefenstufe ist dieser Effekt weniger stark ausgeprägt, so dass hier beide inneren Ringe ( $z+n$ ) signifikant mehr Fein- (60 %) und Schwachwurzelmasse (70 %) enthalten als der Zwischenstammbereich. In alten Fichtenbeständen fanden Fiedler et al. (1963) ebenfalls eine zunehmende Feinwurzelintensität im Auflagehumus mit wachsender Stockentfer-

nung, die sie vor allem mit einer besseren Wasserversorgung im Bereich der Kronentraufe und Zwischenfläche erklärten. GÖTTSCHE (1972) konnte dagegen in Buchenaltbeständen eine Abhängigkeit der horizontalen Schwachwurzelverteilung vom Nährstoffangebot nachweisen. Auch auf dem basenarmen Standort Schluchsee dürfte das erhöhte Nährstoffangebot im Kronentraubereich für die Fein- und Schwachwurzelverteilung von größerer Bedeutung sein (VGL. RASPE, 1992).

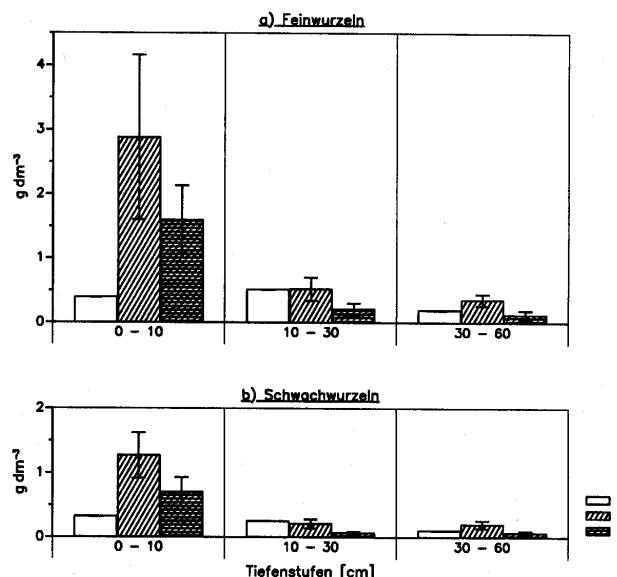


Abb. 4: Fein- und Schwachwurzelintensitäten in unterschiedlichem Stammbstand ( $z$  = zentraler Stammbereich;  $n$  = Nahbereich;  $a$  = äußerer Ring) am Standort Schluchsee. Die Balken geben die Standardabweichung an.

Abb. 5 zeigt die Verteilung der ober- und unterirdischen Dendromasse. Die oberirdische Biomasse derselben Bäume wurde in Schluchsee von MÜNCH (1989) und in Villingen von SCHMID (1989) aufgenommen. Der ältere Bestand in Villingen weist mit gut 310 t ha<sup>-1</sup> fast die doppelte Gesamtbiomasse wie der jüngere Bestand in Schluchsee auf (170 t ha<sup>-1</sup>).

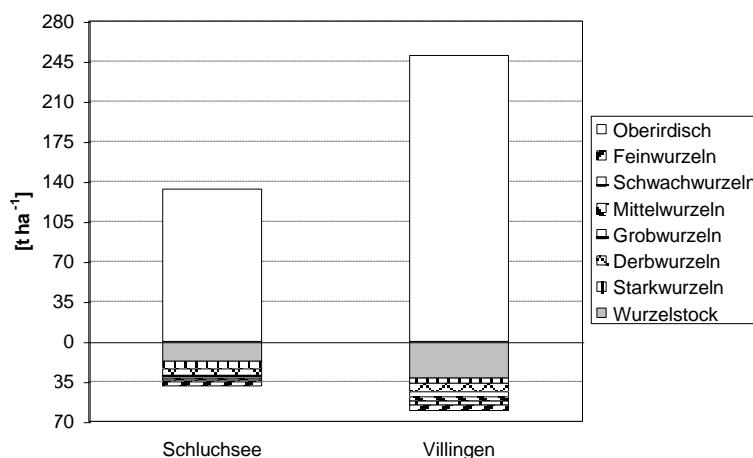


Abb. 5: Verteilung der Bestandesbiomassevorräte an den Standorten Schluchsee und Villingen. Daten für die oberirdische Biomasse für Schluchsee aus Münch (1989) und für Villingen aus Schmid (1989).

Danach ergeben sich Spross/Wurzel-Verhältnisse von 3,4 im besserwüchsigen Schluchseebestand (vgl. Tab. 2) und 4,1 in Villingen. Nach einer Zusammenstellung von SANTANTONIO ET AL. (1977) ergeben sich weitere Spross/Wurzelverhältnisse mit zunehmender Wuchsleistung. Entsprechend

erreicht ein 55jähriger Fichtenbestand bester Bonität in Schweden ein Spross/Wurzelverhältnis von 5,2, hingegen ein 110jähriger, schlechtwüchsiger Bestand in Russland nur 2,0. Danach sind die Verhältnisse der beiden ARINUS-Standorte als mittel einzustufen. Das engere Spross/Wurzel-Verhältnis in Schluchsee dürfte vor allem durch das geringere Alter und die höhere Bestockungsdichte bedingt sein, da die Biomasseverteilung und die individuelle Zuwachsentwicklung stark vom Standraum der Bäume abhängt (MÜNCH ET AL., 1990). Ein reiner Alterseffekt steht jedoch im Widerspruch zu Beobachtungen von Heinrichs und GÖTTSCHE (1986), wonach bei der Fichte mit dem Alter der Grobwurzelanteil von einem Viertel auf ein Drittel der oberirdischen Biomasse zunimmt. Allerdings ist ein direkter Vergleich verschiedener Biomasseinventuren aufgrund methodischer Unterschiede nur eingeschränkt möglich. Auch der unterschiedlichen Höhenlage (Kap. 2) der beiden Standorte könnte in diesem Zusammenhang eine Bedeutung zukommen.

## 4.2. Elementvorräte

In Abb. 6 ist die Verteilung der Elementvorräte in der ober- und unterirdischen Dendromasse dargestellt. Sie wird im wesentlichen durch die Biomasse-Verteilung (Abb. 5) bestimmt. Aufgrund der höheren Gehalte beinahe aller Elemente in den einzelnen Baumkompartimenten in Schluchsee sind die Elementvorräte an beiden Standorten trotz der Unterschiede in den Biomassevorräten nahezu gleich hoch. Aufgrund der besseren Ernährungssituation sind die N- und S-Vorräte in Schluchsee sogar höher als in Villingen. Unabhängig vom Standort betragen die unterirdischen Vorräte der meisten Nährelemente ca. 25 % der oberirdischen Vorräte. Ausnahme bildet das Al, dessen Vorräte in der Wurzelbiomasse ca. 80 % der Gesamtressourcen betragen. Die Verhältnisse der Elementvorräte zwischen oberirdischer und unterirdischer Biomasse sind auf beiden Standorten mit Ausnahme des Mangans sehr ähnlich. Aufgrund der hohen Mobilität des Mangans auf dem wechselfeuchten Standort kann in Villingen offenbar eine größere Menge Mn in der oberirdischen Biomasse festgelegt werden.

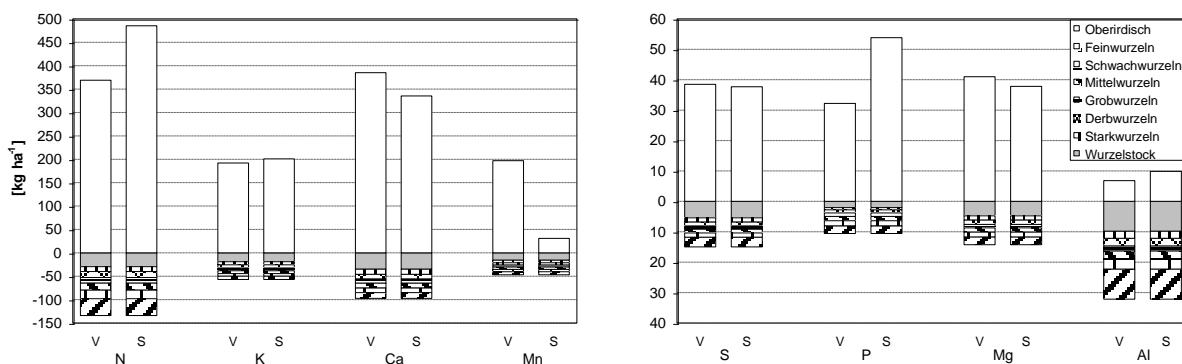


Abb. 6: Verteilung der Elementvorräte in der Biomasse. Daten für die oberirdischen Vorräte für Schluchsee aus Münch (1989) und für Villingen aus Schmid (1989).

Obwohl die Feinwurzeln weniger als 10 % der gesamten Biomasse bilden, sind sie für die Elementvorräte aufgrund der höheren Gehalte von größerer Bedeutung. Den Feinwurzeln kommt daher bei

der Betrachtung der Nährstoffdynamik in den unterirdischen Baumkompartimenten eine besondere Bedeutung zu.

## 5. Schlussfolgerung

Untersuchungen an 2 Standorten sind sicher zu wenig um standortsunabhängige Beziehungen ableiten zu können. Ein Vergleich mit Literaturdaten ist jedoch im Bereich der Wurzel noch wesentlich problematischer als bei den oberirdischen Baumorganen, da aufgrund des nochmals wesentlich höheren Arbeitsaufwandes beim Ausgraben der Wurzeln häufiger mit stark vereinfachenden Methoden gearbeitet wird. Dabei wird häufig das Wurzelwerk "nur" herausgezogen, so dass die erfasste Wurzelmasse und damit auch die Elementvorräte stark von den Bodeneigenschaften abhängig sind. Auch ist die Zuordnung zu Tiefenstufen oder zur Fläche mit dieser Methode nur schwer zu erreichen. Hier liegen die Stärken des hier vorgestellten flächenbezogenen Verfahrens. Aussagen zur vertikalen und horizontalen Wurzelbiomasse- und Elementvorratsverteilung sind mit der Totalausgrabung auf der Grundlage des Thiessen-Polygons möglich. Andererseits beschränkt der hohe Arbeitsaufwand bei Totalausgrabungen den Probenumfang erheblich, so dass i.d.R. nur wenige Bäume pro Fläche untersucht werden können. Somit kommt dem Auswahlverfahren der Probebäume für die Repräsentanz eine besondere Bedeutung zu. Aus diesen Gründen ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse äußerst schwierig und eine Methodenharmonisierung dringend erforderlich.

## 6. Literatur

- ARMBRUSTER, M.; FEGER, K.H. (1998): 2.1 Naturräumliche Grundlage und Waldbestände. In : Raspe, S.; Feger, K.H.; Zöttl, H.W. (Hrsg.): Ökosystemforschung im Schwarzwald - Auswirkungen von atmogenen Einträgen und Restabilisierungsmaßnahmen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Fichtenwäldern. Verbundprojekt ARINUS.Umweltforschung in Baden-Württemberg. ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg, 21-30.
- MÜNCH, D.; FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W. (1990): Nadelvergilbung, Elementverteilung und Wachstum von Fichten eines Hochlagenstandortes im Südschwarzwald. Allg. Forst- u. Jagdz. 162, 210-218.
- FEGER, K.H.; RASPE, S. (1992): Ernährungszustand von Fichtennadeln und -wurzeln in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot im Boden. Forstw. Cbl. 111, 73-86.
- FIEDLER, H.J.; HUNGER, W.; ZANT, R. (1963): Untersuchungen über die Bodendurchwurzelung der Fichte. Archiv für Forstwesen 12/11, 1214-1223.
- GÖTTSCHE, D. (1972): Verteilung von Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil eines Buchen- und Fichtenbestandes im Solling. Mitt. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 88, 102 S.
- GROSSKOPF, W. (1950): Bestimmung der charakteristischen Feinwurzel-Intensitäten in ungünstigen Waldprofilen und ihre ökologische Auswertung. Mitt. Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 11, 1-19.
- HEINRICHS, H.; GÖTTSCHE, D. (1986): Biomasse-Messungen an Buche und Fichte. In: Ellenberg, H.; Mayer, R.; Schauermann, J. (Hrsg.): Ökosystemforschung, Ergebnisse des Solling-Projektes. Ulmer-Verlag, 109-127.
- KERN, K.G.; MOLL, W.; BRAUN, H.J. (1961): Wurzeluntersuchungen in Rein- und Mischbeständen des Hochschwarzwaldes (Vfl. Todtmoos 2/I-IV). Allg. Forst u. Jagdz. 132, 241-260.
- KRAUSS, G.; WOBST, W.; GÄRTNER, G. (1934): Humusauflage und Bodendurchwurzelung im Eibenstocker Granitgebiet. Tharandter Forstl. Jahrb. 85, 291-369.
- KRUEDNER, FREIHERR VON (1935): Zur Frage der Stockrodung. Dt. Forstwirt 22, 225-228 und 235-255.
- MÜNCH, D. (1989): Bioelementinventur und Waldnutzungsgeschichte eines 45-jährigen Fichtenbestandes (*Picea abies* (L.) Karst.) auf Bärhaldegranit im Südschwarzwald. Diplomarbeit (unveröffentlicht) am Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg i.Br. 107 S.
- MÜNCH, D.; FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W. (1990): Nadelvergilbung, Elementverteilung und Wachstum von Fichten eines Hochlagenstandortes im Südschwarzwald. Allg. Forst- u. Jagdz. 162, 210-218.

## Methoden

---

- OVINGTON, J.D.; FORREST, W.G.; ARMSTRONG, J.E. (1967): Tree biomass estimation. In Young, H.E. (ed.): On primary productivity and mineral cycling in natural ecosystems. Ecol. Soc. of America, State University of Main.
- RASPE, S. (1992): Biomasse und Mineralstoffgehalte der Wurzeln von Fichtenbeständen (*Picea abies Karst*) des Schwarzwaldes und Veränderungen nach Düngung. Freiburger Bodenkundl. Abh. 29, 197 S.
- RASPE, S.; FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W. (1989): Erfassung der Elementvorräte in der Wurzelbiomasse eines 100jährigen Fichtenbestandes (*Picea abies Karst.*) im Schwarzwald. Angew. Botanik 63, 145-163.
- RASPE, S. FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W. (1998): Ökosystemforschung im Schwarzwald - Auswirkungen von atmogenen Einträgen und Restabilisierungsmaßnahmen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Fichtenwäldern. Verbundprojekt ARINUS.Umweltforschung in Baden-Württemberg. ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg, 533 S.
- SANTANTONIO, D.; HERMANN, R.K.; OVERTON, W.S. (1977): Root biomass studies in forest ecosystems. Pedobiologia 17, 1-31.
- SCHMID, M. (1989): Oberirdische Biomasse- und Elementvorräte eines 100jährigen Fichtenbestandes (*Picea abies (L.) Karst.*) auf Buntsandstein-Braunerde im Stadtwald Villingen. Diplomarbeit (unveröffentlicht) am Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg i.Br., 151 S. + Anhang.
- THIESSEN, A.H. (1911): Precipitation for large areas. Monthly Weather Rev. 39, 1082-1089.
- WAGENKNECHT, E. (1960): Beiträge zur Kenntnis der Wurzelbildung verschiedener Bestockungen. Mitt. Bayer. Staatsforstverw. 31, 252-274.
- WELLER, F. (1965): Die Ausbreitung der Pflanzenwurzeln im Boden in Abhängigkeit von genetischen und ökologischen Faktoren. Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim 32, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- WIEDEMANN, E. (1927): Der Wurzelbau älterer Waldbäume. Forstarchiv 3, 229-233.
- ZÖTTL, H.W. (1964): Düngung und Feinwurzelverteilung in Fichtenbeständen. Mitt. Bayer. Staatsforstverw. 34, 333-342.
- ZÖTTL, H.W.; Stahr, K.; Keilen, K. (1977): Bodenentwicklung und Standortseigenschaften im Gebiet des Bärhaldegranites (südlicher Hochschwarzwald). Allg. Forst- u. Jagdz. 148, 185-196.

# **Quantifizierung der oberirdischen Phytomassekompartimente von Waldökosystemen - Voraussetzung und Bestandteil der Modellierung von Potenzialen, Zuständen und Leistungen von Waldökosystemtypen**

**Wolfgang Beck**

## **1. Einleitung**

Die Betrachtung der gesamten in einem Waldökosystem vorhandenen Phytomasse-Vorrats-struktur sowie deren Nettoprimärproduktion ist eine entscheidende methodische Voraussetzung bei der Erforschung und Modellierung seiner Potenziale, Zustände und Leistungen. Während noch vor Jahrzehnten nur die verkaufbaren Holzsortimente Gegenstand forstwissenschaftlicher Untersuchungen waren, hatte sich vor allem durch das Internationale Biologische Programm (IBP, 1969) initiiert, eine neue Qualität in der Erforschung der zwischen Primärproduktion und Umweltfaktoren bestehenden Relationen durchgesetzt. Kennzeichnend für die Arbeiten im Rahmen des IBP sowie auch der UNESCO (MAB) war das Bestreben, eine tiefgreifende Ursache-Wirkungsanalyse zu betreiben und die Stoffproduktion von ihren naturwissenschaftlichen Grundlagen her zu interpretieren.

## **2. Eberswalder Forschungsarbeiten zur Quantifizierung von Phytomassekompartimenten seit den 1970er Jahren**

Der neuen, auf die Gesamtheit des Ökosystems Wald gerichteten, Betrachtungsweise folgend, fanden mit den 1970er Jahren beginnend, Forschungsarbeiten zur Modellierung der ökofaktorenabhängigen Stoffproduktion gleichaltriger Baumholzreinbestände von Kiefer und Buche (ANDERS, 1988) ihren Anfang. Das Ziel der Arbeiten bestand in der Modellierung der oberirdischen Stoffproduktion von Waldökosystemen in Abhängigkeit von Standortstrophe, Wasserversorgung und Wärmehaushalt sowie in der Ermittlung des Produktionspotenzials weitverbreiteter Waldstandorte mit Kiefernforst- bzw. Buchenwaldökosystemen. Diese Zielstellung schloss die Notwendigkeit der Quantifizierung der gesamten Dendromasse einschließlich Astholz und Nadeln bzw. Blättern ein. Dabei wurden aus Gründen des Aufwandes und der technischen Machbarkeit nur die oberirdischen Phytomassefraktionen untersucht. Verbunden mit der Quantifizierung der gesamten Phytomassestrukturen war auch die Untersuchung der Nicht-Dendromassekompartimente Bodenpflanzendecke und Strauchsicht hinsichtlich Vorrat und Nettoprimärproduktion. Die aus allen oberirdischen Phytomassekompartimenten zusammengefasste Nettoprimärproduktion eines Ökosystems wurde in einem multiplen Mitscherlich-Modell der ökologischen Standortsausstattung gegenübergestellt (ANDERS, 1988):

$$Y = A \cdot (1 - e^{-c_T \cdot DK_T}) \cdot (1 - e^{-c_F \cdot DK_F}) \cdot (1 - e^{-c_W \cdot DK_W}) \quad (1)$$

Y: oberirdische Nettoprimärproduktion, bzw. Bonität HG<sub>100</sub>

A: asymptotischer Maximalwert      **DK<sub>T</sub>**: komplexer Trophie-Term

**DK<sub>F</sub>**: komplexer Feuchte-Term      **DK<sub>W</sub>**: komplexer Wärme-Term

**c<sub>T</sub>, c<sub>F</sub>, c<sub>W</sub>**: Wirkungsfaktoren für Trophie, Feuchte und Wärme

Der gewählte multiple Mitscherlich-Ansatz ist prinzipiell auch geeignet, von der ökologischen Standortsausstattung auf die Bonität HG100 eines Kiefern- bzw. Buchenbestandes zu schließen. Die Quantifizierung des Trophie-, Wasser- und Wärmehaushalts der Ökosysteme hat die objektivierte Auswahl und Aggregation aus einer Vielzahl von Einzelfaktoren zur Grundlage. Der angewendete mathematische Apparat, der Verfahren der künstlichen Intelligenz einschließt, kann hier nicht dargestellt werden. Einzelheiten sind bei ANDERS (1988) nachlesbar.

Die damals entwickelten und bewährten Methoden und die in der aktuellen Forschung weiterhin verwendbaren Ergebnisse der Quantifizierung der oberirdischen Dendromassekompartimente Kiefernadeln mit der davon abgeleiteten Größe Nadeloberfläche, Buchenlaub, sowie der Bodenvegetation sollen im Folgenden kurz dargestellt werden.

### **Vorgehensweise bei der Datenerfassung**

#### Buchenlaub:

Erfassung der Masse des Falllaubes mittels Proberahmen bei systematischer (geometrischer) Stichprobennahme; Erfassung des Grundflächenmittelstamms und der Stammzahl des Untersuchungsbestandes; Untersuchungsbreite: terrestrische Standorte von ziemlich armer über mittlere bis reiche Trophie; Dickungsstadium bis Baumholzstadium.

#### Kiefernadeln:

Fällung von Probetümmlern in Beständen aller Entwicklungsstadien (Kulturen, Dickungen, Stangenhölzer, Baumhölzer) im gesamten von Kiefernbeständen eingenommenen Trophiebereich (ziemlich arm bis kräftig) und in den Kraft'schen Stammklassen 1 bis 3. Entnahme aller benadelter Kurztriebe des letztjährigen (jüngsten) Nadeljahrgangs, Trocknung, Differenzierung, Wägung. Erfassung von BHD und Baumhöhe.

#### Nadeloberflächen:

Gewinnung von grünen Nadelproben; Ermittlung der Nadellängen; Anfertigung von Dünn schnitten und Messung der Nadelbreite und des Nadelumfangs unterschiedlich langer Nadeln; Trocknung und Wägung der Nadeln.

#### Bodenvegetation:

Vollständige Vegetationsaufnahme; Proberahmenverfahren analog zur Buchen-Falllauberfassung; Gruppierung der Pflanzenarten zu morphologischen Gruppen; Anschätzung des Deckungswertes der morphologischen Gruppen innerhalb der Proberahmen; Entnahme aller Bodenpflanzen innerhalb der Rahmen; Differenzierung, Trocknung, Wägung; Weiterentwicklung der Erfassungsmethoden unter Einschluss der Elementvorräte durch BOLTE (1999).

### **Vorgehensweise bei der Bildung von Phytomasse-Kompartimentmodellen**

#### Buchenlaub:

Berechnung der Laubmasse/ha als Hochrechnung der Probenahmen; Berechnung einer mittleren baumbezogenen Laubmasse; Gegenüberstellung von DG (Durchmesser des Grundflächenmittelstamms) und mittlerer baumbezogener Laubmasse in einem Regressionsmodell.

Für DG <10cm gilt:

$$NPP_L = a \cdot DG^b + c \quad (2)$$

*NPP<sub>L</sub>: Nettoprimärproduktion an Buchenlaub [g/Baum]*

*a=15,829005; b=1,7430006; c=7,211*

Für DG >10cm gilt:

$$NPP_L = e^{a \cdot DG^b + c} \quad (3)$$

*NPP<sub>L</sub>: Nettoprimärproduktion an Buchenlaub [g/Baum]*

*a= 2,0277252 b= 0,34435277 c= 2,3025851*

Die Berechnung hektarbezogener Werte erfolgt durch Multiplikation der mittleren baumbezogenen Laubmasse mit der Stammzahl je Hektar.

#### Nettoprimärproduktion an Kiefernnadeln, BECK (1990)

$$NPP_N = 10^\beta \quad (4/5)$$

$$\beta = p_1 \cdot \alpha + p_2 \cdot \lg\left(\frac{H}{D_{1,3}}\right) + p_3 \cdot lv \cdot \lg^2\left(\frac{H}{D_{1,3}}\right)$$

$$lv = \lg(VS \cdot 1000) \quad (6)$$

$$\alpha = a_0 + a_1 \cdot lv + a_2 \cdot lv^2 \quad (7)$$

*NPP<sub>N</sub>: Nettoprimärproduktion an Kiefernnadeln [g/Baum]*

*H: Baumhöhe D<sub>1,3</sub>: Brusthöhendurchmesser VS: Schaftholzvolumen [m<sup>3</sup>]*

*p<sub>1</sub>= 0,9879218 a<sub>0</sub>= 2,496942*

*p<sub>2</sub>= -1,41643 a<sub>1</sub>= 0,2432201*

*p<sub>3</sub>= -1,151085 a<sub>2</sub>= 0,07041428; Anpassungsgüte B<sup>\*</sup>=0,8729*

$$VS = 10^\gamma \cdot 0,001 \quad \underline{\text{Volumengleichung der Ki-Ertragstafel}} \quad (8)$$

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot \lg(D_{1,3}) + \gamma_2 \cdot \lg(H) \quad (9)$$

*γ<sub>0</sub>= -1,247667; γ<sub>1</sub>= 1,960466; γ<sub>2</sub>= 0,894433*

#### Vorrat an Astholz (Baumart Kiefer):

$$VB = VS \cdot F \quad (10)$$

*VB: Baumholzvolumen des Einzelbaums [m<sup>3</sup>]*

$$F = a + b \cdot e^{c \cdot H} \quad (11)$$

*F: Korrekturfaktor ; a= 1,11 b= 2,867348 c= -0,2291306*

### Nadeloberflächen von Kiefernbeständen - Berechnung des Blattflächenindexes, BECK (1990)

Die Gestalt von Kiefernneedeln wurde mit Hilfe des geometrischen Modells eines Prismas beschrieben, das von der Umfassungslinie des Nadelquerschnitts (Nadelumfang NU) und der Nadellänge (NL) bestimmt ist. Zwischen den Größen Nadellänge, Nadelbreite, Nadelumfang und Nadelmasse bestehen hochsignifikante Beziehungen:

$$\begin{aligned} NO_E &= NL \cdot NU \\ NU &= f(NB) \\ NB &= f(NL) \\ NM_E &= f(NL) \end{aligned} \quad (12,13,14,15)$$

$NO_E$ : Oberfläche einer einzelnen Kiefernneedel

$NL$ : Nadellänge

$NU$ : Nadelumfang

$NB$ : Nadelbreite

$NM_E$ : Masse einer einzelnen Kiefernneedel

Ist die Nadelmasse eines Kiefernbestandes bekannt, kann die Bestandes-Blattfläche bzw. der Blattflächenindex berechnet werden:

$$\begin{aligned} BFI &= NA \cdot NO_E \\ NA &= \frac{NM_B}{NM_E} \end{aligned} \quad (16/17)$$

$BFI$ : Blattflächenindex [ha/ha]

$NA$ : Anzahl Needeln eines Kiefernbestandes

$NM_B$ : Bestandesnadelmasse

Die Nadellänge stellt somit den zentralen Modell-Input dar. Die durchschnittliche Nadellänge in Kiefernbeständen kann als Funktion der Bonität HG100 und des Bestandesalters beschrieben werden:

$$NL = f(HG_{100}, A) \quad (18)$$

Einzelheiten der Datenerfassung, der Erarbeitung der Phytomasse-Kompartimentmodelle sowie die entsprechenden Modellparameter können bei BECK (1990) nachgelesen werden.

### **3. Forschungsprojekte der 1990er Jahre**

Die in den 90er Jahren am Institut für Forstökologie und Walderfassung Eberswalde der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft aufgenommenen und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekte hatten die bis dahin entwickelten Methoden zur Quantifizierung von Phytomassekompartimenten und deren Modellierung als wesentliche Voraussetzung. Die erarbeiteten Ergebnisse und die gewonnenen Erfahrungen stellten den Ausgangspunkt für die jetzt anlaufende Forschung dar.

Das BMBF-Verbundprojekt "Waldökosystemforschung Eberswalde - Struktur, Dynamik und Stabilitätsverhalten von Kiefern- und Buchenwaldökosystemen unter Normal- und multiplen Stressbedingungen unterschiedlicher Ausprägung im nordostdeutschen Tiefland (FKZ 0339500B)", Laufzeit 07/1991 bis 12/1994 mit den Teilprojekten

- • Struktur, Dynamik und Nettoprimärproduktion,
  - • Stoffhaushalt,
  - • Wasserhaushalt,
  - • physiologische Stabilität,
  - • Erkenntnisintegration in Modellen von Leitwaldökosystemen
- 

baute ganz wesentlich auf den früher erbrachten Grundlagen auf (ANDERS, 1996). Die Forschungsarbeiten wurden von 01/1995 bis 01/1999 unter dem Projekttitel "Einfluss von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-, Eichen-, und Buchen-Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflandes (FKZ 0339500C)" fortgesetzt (ANDERS, 2001). Im Verlaufe der Bearbeitung dieses Projektes wurden die Blattflächen von Buchen- und Eichenbeständen quantifiziert. Methodisch waren hierzu folgende Teilschritte zu gehen:

#### Erfassung der Daten:

- Entnahme von bestandesrepräsentativen Falllaubproben
- Unterteilung des Materials in Licht-, Halblicht- und Schattenblätter durch Befühlen des feuchten Materials (Lichtblätter sind deutlich dicker und derber, teilweise fast ledrig, Schattenblätter sind dünn, pergamentartig; Halblichtblätter haben dazwischenliegende Eigenschaften.)
- Ermittlung der entsprechenden Masseanteile der Licht-, Halblicht- und Schattenblätter für den Untersuchungsbestand (Abb. 1)
- Erzeugung von Bild-Files der Blätter am Computerscanner (mind. 100dpi, 1 Bit Farbtiefe)
- Ermittlung der Blattfläche in einem Computerprogramm durch Zählung der Bildpunkte; Ermittlung der maximalen Blattbreite und -länge (vgl. Tabelle 1)
- Trocknung und Wägung der Blätter

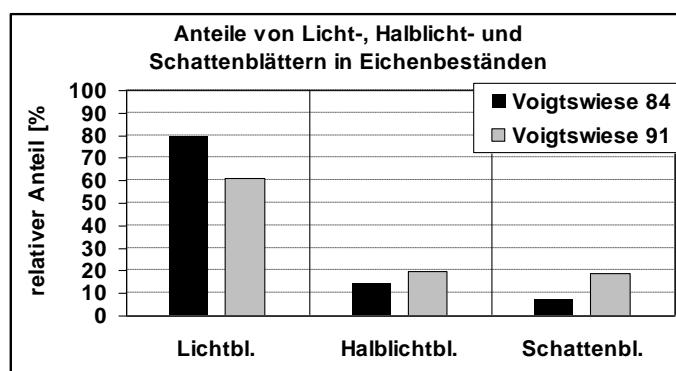


Abb. 1: Relative Masseanteile von Licht-, Halblicht- und Schattenblättern in untersuchten Buchen- und Eichen-Versuchsflächen

Tab. 1: Beispiel eines Ergebnis-Datenfiles des Computerprogramms LEAFAREA zur Ermittlung von Blattflächen aus BMP-Scanner-Files

| Blatt-Nr. | Blattfläche [cm <sup>2</sup> ] | X-Auflösung | Y-Auflösung | Flächenrepräsentanz mm <sup>2</sup> /Pixel | Blattlänge [mm] | Blattbreite [mm] |
|-----------|--------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------|
| 1         | 73,38                          | 100         | 100         | 0,06452                                    | 142,58          | 92,25            |
| 2         | 56,80                          | 100         | 100         | 0,06452                                    | 114,73          | 84,37            |
| 3         | 49,82                          | 100         | 100         | 0,06452                                    | 126,50          | 66,30            |
| 4         | 65,70                          | 100         | 100         | 0,06452                                    | 131,83          | 88,90            |
| 5         | 48,73                          | 100         | 100         | 0,06452                                    | 139,28          | 64,30            |
| 6         | 15,34                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 59,78           | 42,33            |
| 7         | 17,69                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 80,99           | 43,22            |
| 8         | 37,70                          | 100         | 100         | 0,06452                                    | 97,87           | 60,43            |
| 9         | 41,22                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 111,63          | 72,17            |
| 10        | 42,80                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 114,43          | 68,99            |
| 11        | 36,14                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 91,22           | 62,06            |
| 12        | 21,32                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 79,95           | 47,62            |
| 13        | 23,51                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 80,61           | 49,11            |
| 14        | 19,70                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 75,30           | 45,45            |
| 15        | 24,36                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 81,92           | 49,55            |
| 16        | 25,67                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 90,76           | 46,48            |
| 17        | 33,94                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 87,13           | 60,86            |
| 18        | 25,78                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 85,42           | 50,14            |
| 19        | 19,27                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 72,24           | 43,62            |
| 20        | 16,44                          | 150         | 150         | 0,02867                                    | 78,68           | 36,46            |

#### Blattflächenberechnung:

- Berechnung von Beziehungen zwischen Blattmasse und Blattfläche für Licht-, Halblicht- und Schattenblätter (Abb. 2)
- Berechnung der Bestandesblattfläche:

$$BFI = BM_B \cdot (rMA_L \cdot f_L + rMA_{HL} \cdot f_{HL} + rMA_S \cdot f_S) \quad (19/20)$$

$$UF = rMA_L \cdot f_L + rMA_{HL} \cdot f_{HL} + rMA_S \cdot f_S$$

BFI: Blattflächenindex [ha/ha]; BM<sub>B</sub>: Blattmasse des Bestandes  
 rMA<sub>L</sub>, rMA<sub>HL</sub>, rMA<sub>S</sub>: relative Masseanteile von Licht-, Halblicht-, Schattenbl.  
 f<sub>L</sub>, f<sub>HL</sub>, f<sub>S</sub>: Faktoren für Licht-, Halblicht-, Schattenblätter  
 UF: Umrechnungsfaktor

Bisherige Untersuchungen zeigten, dass der Umrechnungsfaktor UF nur eine relative Schwankungsbreite von ca 10% zwischen den untersuchten Probeflächen aufweist. Näherungsweise kann deshalb der Blattflächenindex über einfache Umrechnungsfaktoren aus der Bestandesblatt- bzw. Nadelmasse berechnet werden:

$$- Kiefer: 1,0848 \quad Eiche: 1,7370 \quad Buche: 2,4698$$

Eine einfache Berechnung der Fläche von Einzelblättern ist mit Hilfe der Blattlänge und der maximalen Blattbreite (einrahmendes Rechteck) möglich (Abb. 3).

$$BF_E = F \cdot BL \cdot BB \quad (21)$$

BF<sub>E</sub>: Fläche eines Einzelblattes; F: Umrechnungsfaktor  
 BL: Blattlänge; BB: Blattbreite

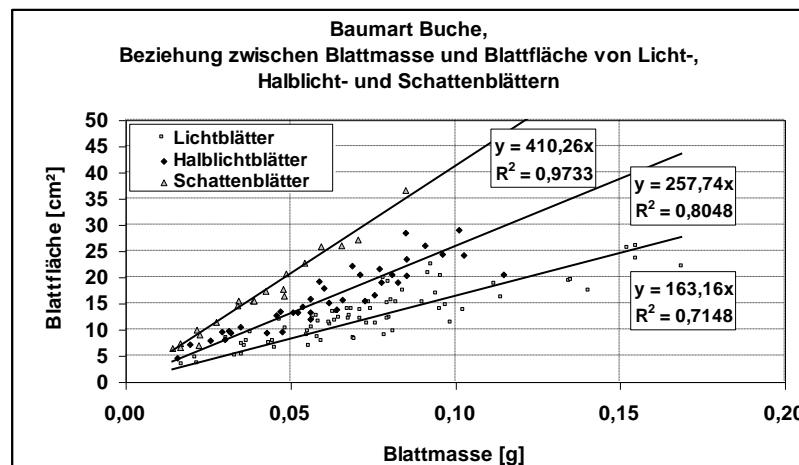


Abb. 2: Masse-Oberfläche-Beziehungen für Licht-, Halblicht- und Schattenblätter eines untersuchten Buchenbestandes

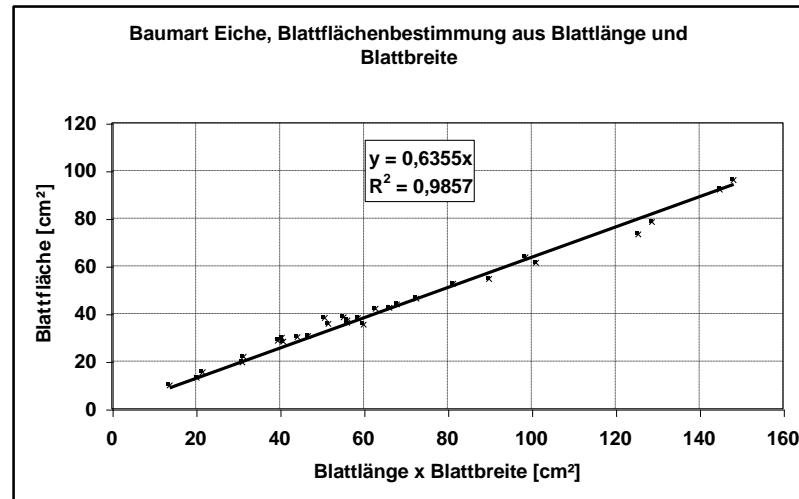


Abb. 3: Zwischen Blattlänge und maximaler Blattbreite, aus denen das einrahmende Rechteck um ein Blatt berechnet werden kann, und der Blattfläche besteht eine signifikante Beziehung.

In der gegenwärtig am Institut für Forstökologie und Walderfassung laufenden ökologischen Forschung, die "Untersuchungen zur Ökologie von Kiefern-Buchen-Mischbeständen im nordostdeutschen Tiefland und Ableitung von Empfehlungen zur Durchführung des Buchen-Unterbaus in Kiefernbeständen" zum Gegenstand hat, sind die für Reinbestände entwickelten Phytomasse-Kompartimentmodelle einer kritischen Überprüfung zu unterziehen. Anzunehmen ist, dass sowohl die Blattmassen von unterständigen Buchen als auch deren Verteilung auf Licht- und Schattenblätter von den Gegebenheiten in Reinbeständen abweichen.

#### 4. Bedeutung der Quantifizierung der Phytomassekompartimente in Waldökosystemen für die Erforschung von Struktur-Prozess-Beziehungen

Die Forschungsarbeiten zum BMBF-Verbundprojekt "Waldökosystemforschung Eberswalde" führten unter anderem zu der grundsätzlichen Erkenntnis, dass zwischen den Vegetationsstrukturen der Waldökosysteme und den in ihnen ablaufenden Prozessen typische Beziehungen und Wechselwirkungen bestehen. So stellt die Nettoprimärproduktion eines Ökosystems einerseits die Resultante

aller im System ablaufenden Prozesse dar, andererseits ist sie selbst der strukturschaffende Prozess und wirkt so auf den Ablauf der anderen Prozesse. Besonders die Wasserflüsse sind von den Struktureigenschaften der Phytomassekompartimente und deren vertikaler Schichtung maßgeblich beeinflusst (MÜLLER, 2001). Die Höhe der Grundwasserneubildung unter Wäldern wird unter anderem bestimmt von der Niederschlagsinterzeption durch die Kronenschicht und die Bodenpflanzendecke sowie von der Transpiration der Baum- und Krautschicht. Notwendig zur schichtenweisen Kalkulation von Interzeption und Transpiration ist also die hinreichend genaue Quantifizierung dieser Phytomassekompartimente (Abb. 4). MÜLLER (2001) stellte bei der Erarbeitung des Wasserhaushaltsmodells VERMO-Wald die engen Zusammenhänge zwischen dem Blattflächenindex von Waldbeständen und der Größe des Interzeptionsspeichers des Kronenraums heraus.

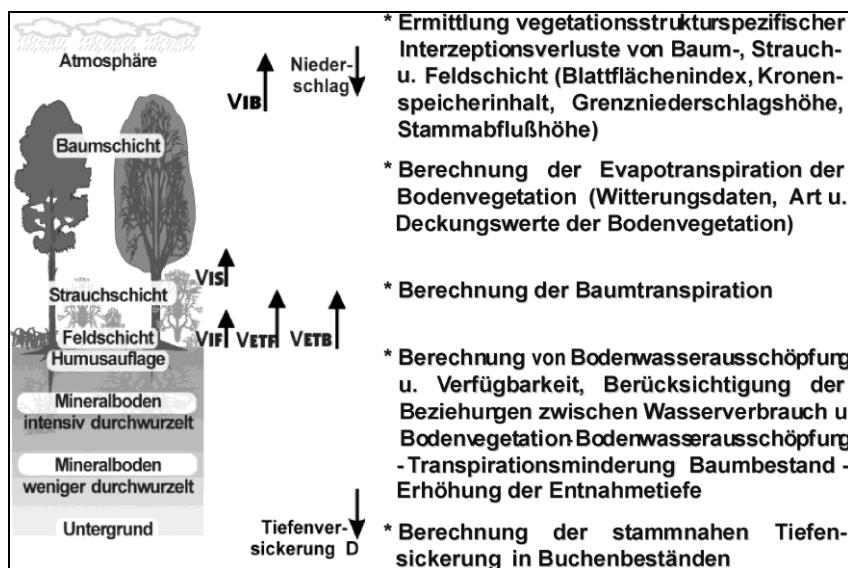


Abb. 4: Wirkung der Vegetationsstrukturen auf die Wasserflüsse in Wäldern (MÜLLER, 2001)

Die Phytomassekompartimente nehmen eine zentrale Stellung im Stoffhaushalt ein, indem sie Nährlemente inkorporieren und diese kurzfristig in den Assimilationsorganen und Zweigen und längerfristig im Derbholz einlagern. Der Streufall sorgt für eine beständige Nachlieferung an organischer Substanz und Nährlementen zur Humusbildung und für den Nährstoffkreislauf im Oberboden. Die Baumholzvorräte eines Waldbestandes entscheiden über das Maß der längerfristigen oberirdischen Kohlenstofffixierung im Holz wie auch über die im Boden als Wurzelnekromasse langfristig festgelegten Kohlenstoffvorräte.

## 5. Potenziale, Zustände und Leistungen von Waldökosystemtypen

Die Erarbeitung des notwendigen Datenmaterials zur Quantifizierung der Phytomassekompartimente von Waldökosystemen ist äußerst kostenaufwändig. Um diese Arbeit vielseitig nutzbar zu machen, wurde der Weg der Modellierung von Zusammenhängen zwischen leicht messbaren Parametern (Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser) und dem interessierenden Phytomassekompartiment (Äste, Assimilationsorgane) beschritten. Eine Kalkulation von Phytomassewerten für Bestände, in denen keine speziellen Untersuchungen hierzu stattfanden, ist anhand dieser Modelle mit hinreichen-

der Genauigkeit möglich, solange deren Gültigkeitsbereich (Baumart, geografische Region, Wuchsgebiet, Dimensions-, Alters-, Standortsbereich) eingehalten wird. Ein in diesem Gültigkeitsbereich befindliches Ökosystem kann also aufgrund seiner leicht zugänglicher Strukturkennwerte mit Phytomassekompartiment-Daten belegt werden. Soll jedoch der Schritt von der Fallstudie, das heißt der Aussage zu einem örtlich und zeitlich konkreten Ökosystem hin zu größeren Flächen- und Landschaftseinheiten gegangen werden, wäre der Aufwand für eine vollständige, flächenhafte Belegung aller Ökosysteme in einem solchen Gültigkeitsrahmen trotzdem riesig. Er resultiert aus der selbst in einem abgesteckten Rahmen vorhandenen Mannigfaltigkeit von Ökosystemzuständen und -ausprägungen.

Eine methodische Lösung besteht in dem System der Wald- und Forstökosystemtypen nach HOFMANN (1997). Hierarchisch sind Wald- und Forstökosystemtypen ökologische Elementareinheiten des Waldes, die über Wirkungszusammenhänge von biotischen und abiotischen Faktoren in Raum und Zeit determiniert sind. Sie stellen einmalige Merkmalskonfigurationen dar, die in sich weitgehend homogen sind in

- wesentlichen strukturellen Merkmalen (Baumarten, Schichtung, Folge u. Dauer der internen Stadien, Bodenvegetation (Artenzusammensetzung, Mengenentfaltung), Anzahl der Pflanzenarten);
- Qualität und Quantität wuchsbestimmender ökologischer Faktoren (Bodenphysiologie, Luft- und Bodenfeuchte, Strahlungsgewinn und Wärme);
- wesentlichen Prozessabläufen (geochemische Stoffflüsse, Nettoprimärproduktion, inter- und intraspezifische Konkurrenz, Regeneration).

Sie grenzen sich von anderen Wald- und Forstökosystemtypen durch qualitative und quantitative Unterschiede im Zustand und der Ausprägung dieser Merkmale ab. Forstpraktisch stellen Wald- und Forstökosystemtypen flächenkonkrete Informationsträger zu ökologischen, biologischen, ökonomischen sowie sozialen Leistungen und Funktionen des Waldes dar.

Im Zusammenhang mit der Typisierung der Wald- und Forstökosystemen nimmt die Kenntnis der Phytomassestrukturen und ihrer Verteilung nach Kompartimenten eine zentrale Stellung ein.

## 6. Weiterer Forschungsbedarf

Im Zusammenhang mit der Quantifizierung des Blattflächenindexes als Maß für die Größe des Niederschlags-Interzeptionsspeichers ist dessen zeitliche Dynamik von Belang. Es muss daher die Dynamik des Nadel- bzw. Laubaustriebs im Frühjahr und des Nadel- bzw. Laubfalls im Herbst über phänologische Beobachtungen und durch zusätzliche Steufallbeobachtungen erfasst werden. Während bei Nadelbaumarten die Masse des letztjährigen Nadeljahrgangs, welcher der Nettoprimärproduktion an Nadeln entspricht, über Probebaummethoden untersucht und über Modelle dargestellt werden kann, sind Masse und Oberfläche der aus mehreren Nadeljahrgängen bestehenden Gesamtbenadelung weitestgehend unbekannt. Im Interesse einer objektivierten Kronentransparenzschätzung ist zu klären, wieviele Nadeljahrgänge in welcher Verhältnismäßigkeit zueinander in Abhängigkeit von der ökologischen Ausstattung des jeweiligen Standorts als normal, also als gesund und

ungeschädigt bewertet werden. Okulare Kronentransparenzschätzungen sind anhand von Probebaumbeurteilungen und Streufallmessungen zu kalibrieren und zu verifizieren.

Der überwiegende Teil aller Phytomasse-Untersuchungen hat sich bisher auf die oberirdischen Anteile konzentriert. So verständlich dieses auch in Anbetracht des sehr viel höheren Aufwandes für die Untersuchung der unterirdischen Phytomassekompartimente ist, wird man in Zukunft in verstärktem Maße der Notwendigkeit ihrer Erforschung nachgehen müssen. Hierbei sollten alle methodischen Erkenntnisse und Erfahrungen bei der Quantifizierung der oberirdischen Phytomassekompartimente genutzt werden, um Aufwände in Grenzen zu halten.

## **7. Literatur**

- ANDERS, S. (1988): Modelle der ökofaktorenabhängigen Stoffproduktion gleichaltriger Baumholzreinbestände von Kiefer und Buche. Diss B, Techn. Univ. Dresden, 1988
- ANDERS, S. (ed.)(1996): Waldökosystemforschung Eberswalde - Struktur, Dynamik und Stabilität von Kiefern- und Buchenwaldökosystemen unter Normal- und multiplen Stressbedingungen unterschiedlicher Ausprägung im nordostdeutschen Tiefland. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Nr. 182, 1996, ISSN 0368-8798
- ANDERS, S. (ed.) (2001): Ökologie und Vegetation der Wälder Norsostdeutschlands. Verlag Dr. N. Kessel, Remagen, 2001, [www.forstbuch.de](http://www.forstbuch.de), ca. 270 S., im Druck
- BECK, W. (1990): Zur Quantifizierung und Modellierung der oberirdischen Nettoprimärproduktion ausgewählter Kiefernökosysteme im Tiefland der DDR. Diss. A, Akademie der Landwirtschaftswiss., 1990
- BOLTE, A. (1999): Abschätzung von Trockensubstanz-, Kohlenstoff- und Nährlementevorräten der Waldbodenflora - Verfahren, Anwendung und Schätztafeln. Diss. Tharandt, 1999
- HOFMANN, G. ( 1997): Mitteleuropäische Wald- und Forst-Ökosystemtypen in Wort und Bild. AFZ - Der Wald, Sonderheft B 1089, 1997
- MÜLLER, J. (2001): Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes in Kiefern- und Buchenbeständen des nordostdeutschen Tieflands. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, Berlin, 35, 2001, S. 14-18

# **Modellschätzungen zum Trockensubstanz- und Elementvorrat der Waldbodenflora – Verfahren und Anwendung in der waldökologischen Forschung<sup>1</sup>**

**Andreas Bolte**

## **1. Einleitung und Zielsetzung**

Der Nährelementvorrat der Waldbodenflora kann einen erheblichen Anteil am gesamten Elementvorrat von Waldökosystemen einnehmen. Dies zeigt eine Auswertung von mehr als 20 publizierten Biomasse- und Nährelementinventuren mit Berücksichtigung der Bodenvegetation durch SCHMIDT (2000). Danach kann die Bodenvegetation in Kiefernbeständen zum Teil mehr als ein Drittel des Stickstoff- und Phosphorvorrats des Baumbestandes erreichen. Von besondere Bedeutung ist der Kaliumvorrat der Bodenpflanzen. Dieser kann den Baumbestandesvorrat in unterwuchsreichen Fichten- und Kiefernbeständen übersteigen. Auch in Buchenbeständen macht der Kalium-Vorrat der Bodenpflanzen maximal etwa die Hälfte des Baumvorrats aus.

Biomasse- und Nährstoffinventuren der Waldbodenvegetation mit gebräuchlichen Beerntungsverfahren (NEWBOULD 1970, EVANS 1972) erfordern einen hohen Arbeitsaufwand, um zu flächenrepräsentativen Angaben zum Biomasse- und Elementvorrat zu kommen. Dies liegt an der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität von Artenzusammensetzung und Pflanzenstruktur (Bodenbedeckung, Sprosslänge). Außerdem zerstören Beerntungen das Untersuchungsobjekt und sind daher für eine Dauerbeobachtung im Rahmen von Umweltmonitoring-Programmen (z. B. EU Level II) nicht geeignet.

Daher wurde ein zerstörungsfreies Modell-Schätzverfahren entwickelt, um den oberirdischen Trockensubstanz- und Elementvorrat der Bodenvegetation aus den schnell und einfach zu erhebenden Größen Deckungsgrad und oberirdische Sprosslänge abzuschätzen.

## **2. Modellgrundlagen**

Zur Entwicklung der Schätzmodelle wurden 40 deckenbildende Arten der Waldbodenflora auf 129 Standorten untersucht. Die Untersuchungsflächen wurden so gewählt, dass weitgehend alle Standorte und die wichtigsten Waldvegetationseinheiten in unterschiedlichen Regionen Nordostdeutschlands erfasst wurden.

Nach einer Vegetationsaufnahme fand eine Humus- und Bodenansprache anhand von Oberbodenprofilen und Bohrstockentnahmen statt (Tab. 1). Zusätzliche Daten zum Standort und zur Bestandesstruktur (Baumalter, Altersstufe) wurden den Unterlagen der Forstbehörden entnommen.

---

<sup>1</sup> gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) im Rahmen des Verbundprojektes „Waldökosystemforschung Eberswalde“, FKZ: 0339500B und C.

Tab. 1: Standortskundliche und pflanzenanalytische Aufnahmegrößen und –verfahren

| Angaben zu Lage und Standort                                 | Literatur zur Aufnahmemethode                                        |                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Höhenlage [mm ü. NN], Hangneigung [ $^{\circ}$ ], Exposition | AK Standortskartierung (1996)                                        |                                                                                                                   |
| Wuchsgebiet                                                  | KOPP u. SCHWANECKE (1994)                                            |                                                                                                                   |
| Morphologische Humusform                                     | AG Boden (1994), AK Standortskartierung (1996)                       |                                                                                                                   |
| Bodenart (Fingerprobe)                                       | AG Boden (1994), AK Standortskartierung (1996)                       |                                                                                                                   |
| Horizontierung und Bodentyp                                  | AG Boden 1994, Kurzbezeichnung nach BMELF (1994)                     |                                                                                                                   |
| Pflanzenanalysen<br>Elementgehalt                            | Bestimmungsverfahren                                                 | Literatur                                                                                                         |
| Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N)                           | Gaschromatographie an lufttrockener Probe mittels CHN-Elementanalyse | <b>HEINRICHS et al. 1985,<br/>KÖNIG et al. 1989,<br/>MARKERT 1993,<br/>BMELF 1994,<br/>KÖNIG u. FORTMANN 1996</b> |
| Kalium (K)                                                   | Atom-Emissions-Spektroskopie (AES), Aufschlusslösung                 |                                                                                                                   |
| Kalzium (Ca) und Magnesium (Mg)                              | <b>Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS), Aufschlusslösung</b>        |                                                                                                                   |
| Phosphor (P) und Schwefel (S)                                | Plasma-Emissionsspektroskopie (ICP-AES), Aufschlusslösung            |                                                                                                                   |

Die Untersuchung der Bodenvegetation zur erfolgte in variablen Aufnahmerahmen von 0,05 m<sup>2</sup> bis 1,28 m<sup>2</sup> Größe (vgl. DONITA 1972). Von jeder untersuchten Bodenpflanzenart wurden die prozentuale Bodenbedeckung (Deckungsgrad) sowie die mittlere gestreckte Länge von mindestens 15 oberirdischen Sprossen erfasst. Anschließend erfolgte die Beurteilung der gesamten oberirdischen Pflanzensubstanz an stehenden Pflanzenorganen und die Bestimmung des absoluten Trockensubstanzgewichtes im Labor nach 48 h Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz. Insgesamt wurden 1652 Datensätze mit vollständigen Angaben zu den genannten oberirdischen Strukturgrößen der Bodenvegetation gewonnen.

Im Umfeld der Aufnahmen wurden zusätzlich insgesamt 350 Mischproben der oberirdischen Pflanzensubstanz artweise gewonnen und deren Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff in der lufttrockenen Probe (Trocknung bei 60°C) und die Konzentration der anderen Nährelemente in der absolut trockenen Probe (Trocknung bei 105°C) nach einem Salpetersäurer-Druckaufschluss ermittelt (Tab. 1). Vergleichswägungen der unterschiedlich getrockneten Proben erlaubten die Umrechnung aller Elementgehalte bezogen auf die absolut trockene Pflanzensubstanz. Die Elementanalysen wurden durch Zweitproben an zufällig ausgewählten Untersuchungsstandorten erfolgreich überprüft. Die Deckungsgradschätzung wurde zusätzlich mit einer Rastererhebung an Aufsicht-Fotos von 126 ausgewählten Flächen objektiviert (s. nähere Angaben bei BOLTE 1999, BOLTE et al. 2002).

### 3. Trockensubstanz- und Elementvorratsmodelle der Waldbodenflora

#### 3.1 Oberirdische Trockensubstanz

Zur Ableitung von Modellen zur oberirdischen Trockensubstanz wurden die Untersuchungsergebnisse zur Bodenvegetationsstruktur einer multiplen Regressionsanalyse unterzogen (Abb. 1). Dabei gingen von den 1652 Beobachtungen nur 1602 in die Auswertung ein. 50 zufällig ausgewählte Beobachtungen wurden zur nachträglichen Modellvalidierung zurückbehalten.

Für die Bestimmung der Regressionskoeffizienten wurde nach Voruntersuchungen mit unterschiedlichen Anpassungsfunktionen eine nicht-lineare Potenzfunktion gewählt. Bei der Auswahl des optimalen Regressionsmodells wurde neben der nicht erklärten Reststreuung das berechnete nicht-lineare Bestimmtheitsmaß nach SACHS (1976) und die Ergebnisse der optischen Residualanalyse berücksichtigt (HARTUNG 1989).

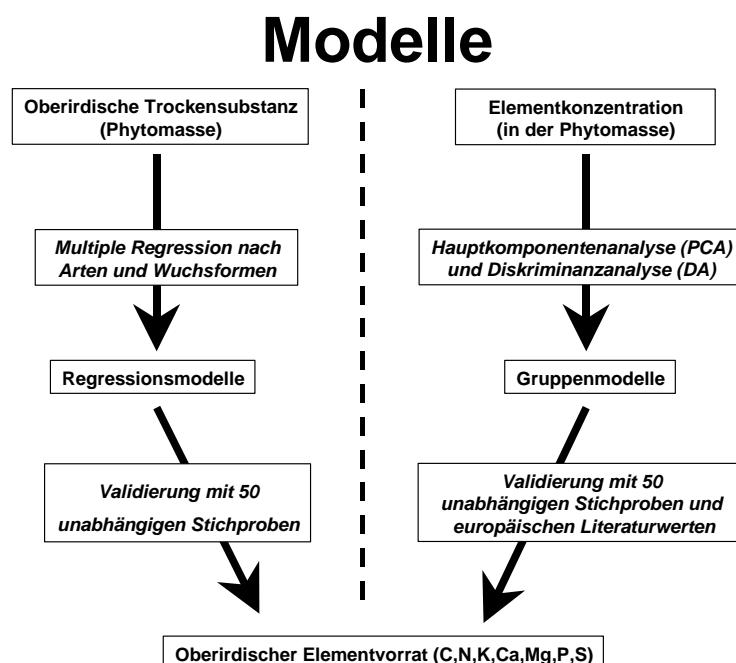


Abb. 1: Ablaufschema zur Bildung von Elementvorratsmodellen der Waldbodenflora

Die nicht-lineare Regressionsanalyse wurde zunächst nach Bodenpflanzenarten getrennt durchgeführt. Eine zweite Auswertung erfolgte nach Wuchsformengruppen, in die Arten nach ähnlicher Morphologie eingeordnet wurden. Die Gruppen wurden nach den Regressionsergebnissen bis zur Optimierung der Regressionsmodelle rekombiniert (Abb. 2).

Eine Validierung der Modelle erfolgte mit Hilfe der 50 zurückbehaltenen, unabhängigen Stichproben (Abb. 3)

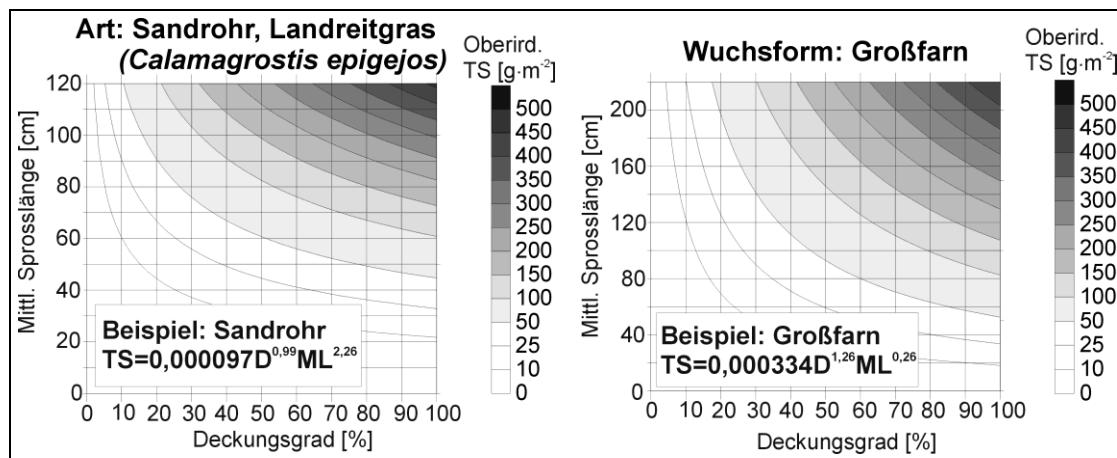


Abb. 2: Regressionsfunktionen und deren Isoliniendarstellung an Beispielen (TS: Oberird. Trockensubstanzvorrat, D: Deckungsgrad, ML: Mittlere Sprosslänge)

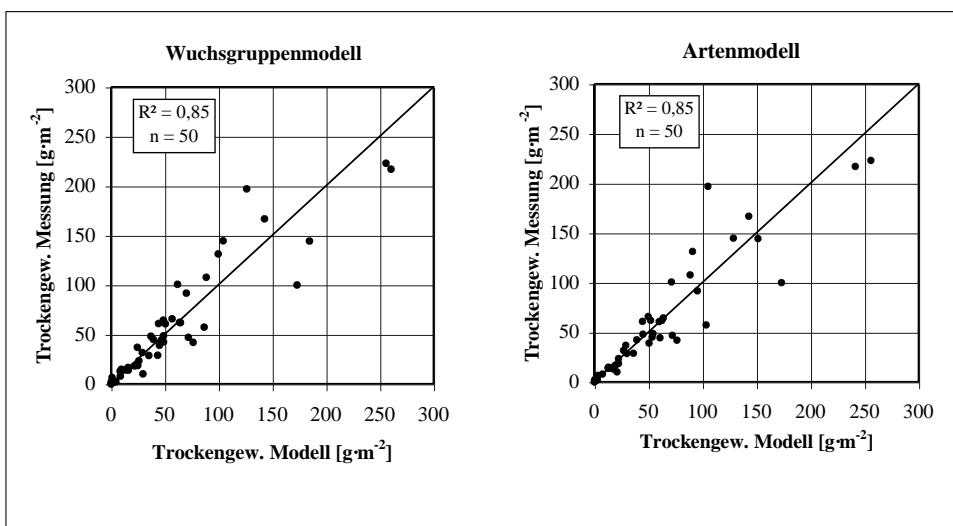


Abb. 3: Gegenüberstellung von Mess- und Modellwerten der oberird. Phytomasse (unabhängige Stichprobe)

### 3.2 Elementgehalt und Elementvorrat

Zur Abschätzung der Elementgehalte von Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Kalium (K), Kalzium (Ca), Magnesium (Mg), Phosphor (P) und Schwefel (S) in der oberirdischen Bodenvegetation wurden Gruppen von Bodenpflanzen gebildet (Abb. 3). Mit einer Hauptkomponentenanalyse konnten aus den Ausgangsvariablen Elementgehalte (C, N, K, Ca, Mg, P, S) zwei neue Hauptkomponenten als zusammengesetzte Kohlen- und Nährstoff-Variablen extrahiert werden. Diese Hauptkomponenten stellen unkorrelierte Linearkombinationen der unterschiedlich gewichteten Ausgangsvariablen dar. Hauptkomponente 1 wird hauptsächlich vom Gehalt an N, K, P positiv und C negativ bestimmt bzw. geladen und ist vom Standort her als Humus-/Tongehalts-Variable zu werten. Hauptkomponente 2 gewichtet den Ca- und Mg-Gehalt stark und stellt eine Kalk- bzw. Mergel-Variable dar.

Anschließend wurden die Hauptkomponentenwerte der Pflanzenproben nach den unterschiedlichen Objekten (Pflanzenart, Humusform) gruppiert dargestellt und die Stichprobe in Elementgehaltsgruppen zusammengefasst (Abb. 4, BOLTE 1999).

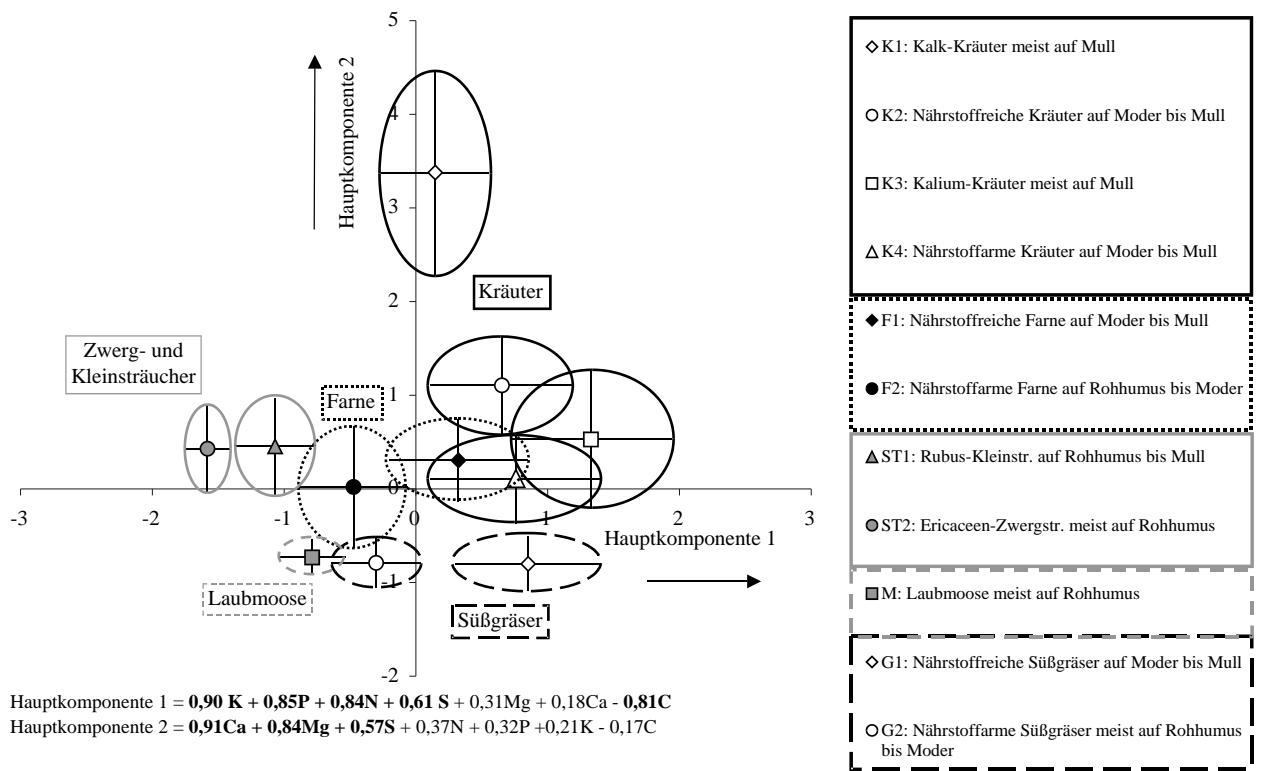


Abb. 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Hauptkomponentenwerte nach Elementgehaltsgruppen gegliedert

Diese Vorgruppierung wurde mit einer Diskriminanzanalyse überprüft. Ziel war, die vorklassifizierten Gruppen auf Trennschärfe und möglichst eindeutige Zuordnung zu überprüfen (DEICHSEL und TRAMPISCH 1985).

Es wurde das nicht-parametrische Verfahren der „Nächsten-Nachbarn“-Methode gewählt, bei der die Gruppenzuordnung von der Distanz eines Stichprobenwertes zu einer gegebenen Anzahl von k nächsten Nachbarn gesteuert wird (SAS Institute Inc. 1989). Anschließend erfolgte die Schätzung der Fehlzuweisungsrate der Gesamtstichprobe mit der Resubstitutionsmethode (S-Methode) sowie bei einer zufälligen Stichprobenauswahl von 50 Probanden mit der „Leaving-one-out“-Methode (L-Methode). Bei letzterer Methode wird die vorgegebene Gruppierung jeder einzelnen Beobachtung nachträglich mit der nach den Nachbarschaftsdistanzen errechneten Gruppenzugehörigkeit verglichen (BOLTE 1999).

Die mittleren Elementgehalte (C, N, K, Ca, Mg, P, S) der endgültig ausgewiesenen Elementgehaltsgruppen bilden die Schätzwerte des Elementmodells (BOLTE et al. 2002).

Eine Validierung der Modellwerte zu den Elementgehalten erfolgte mithilfe von 50 eigenen, unabhängigen Stichproben und Literaturangaben aus 30 europäischen Studien der letzten 120 Jahre (von EBERMAYER 1876 bis STEINER et al. 1998, s. Abb. 5 und 6).

## Methoden

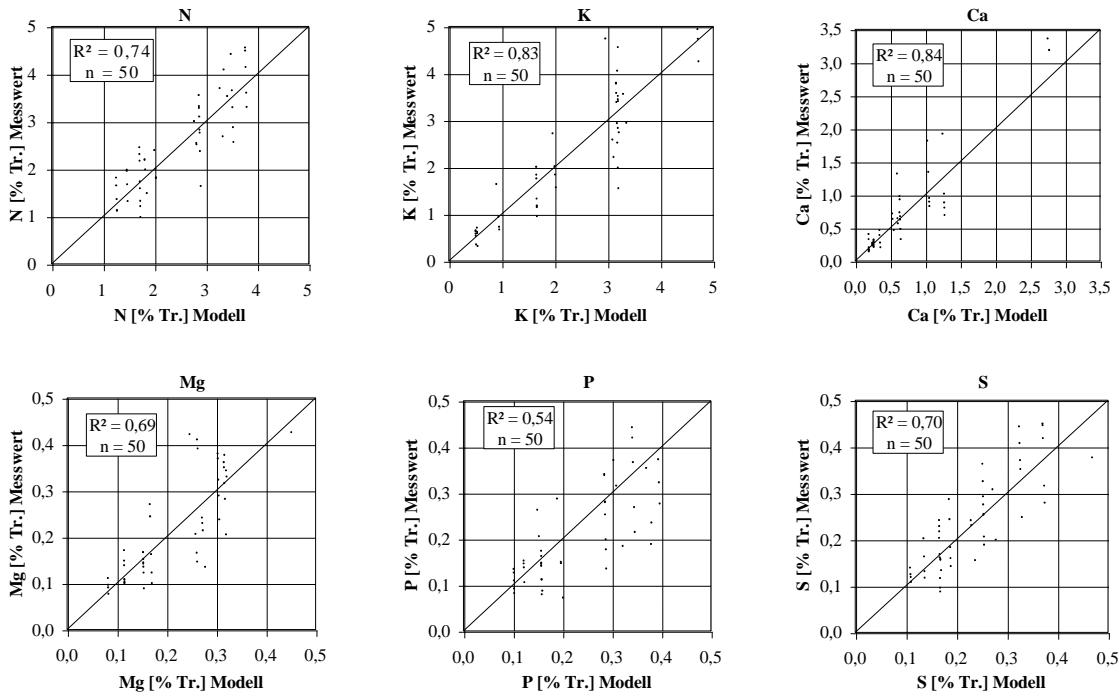


Abb. 5: Vergleich von Modell- und eigenen Messwerten der Elementgehalte der Bodenvegetation

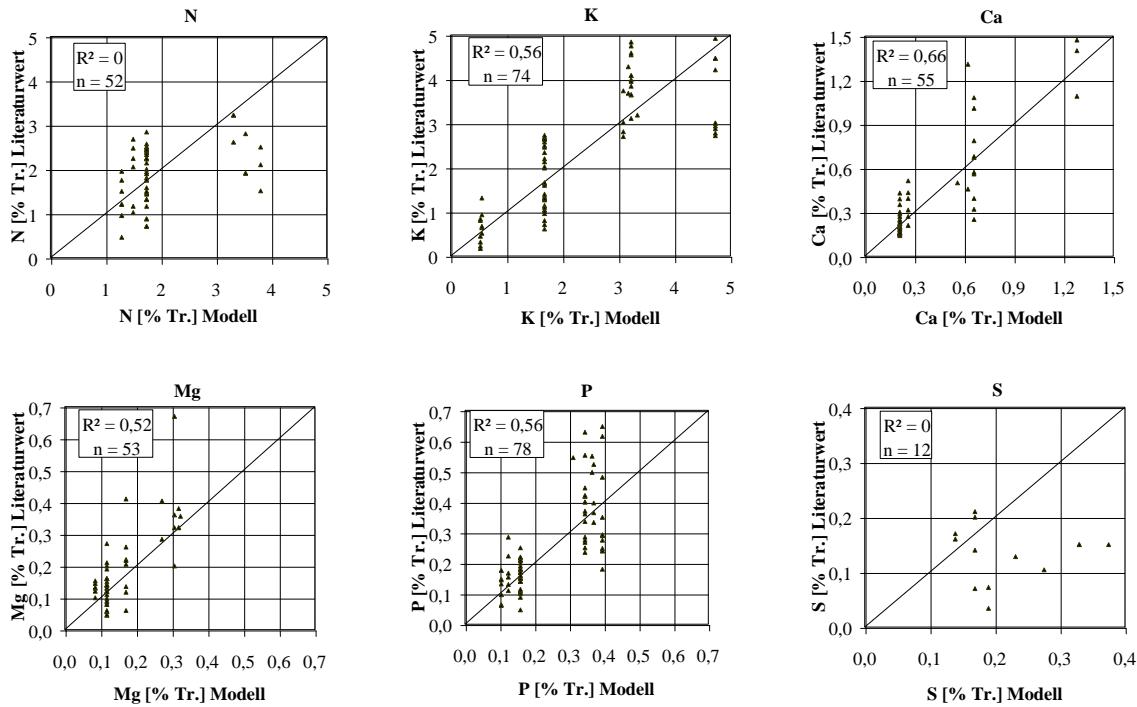


Abb. 6: Vergleich von Modell- und Literaturwerten der Elementgehalte der Bodenvegetation

Im Vergleich zeigen sich gute Übereinstimmungen beim Kalium, Kalzium, Magnesium und Phosphor. Beim Stickstoff und Schwefel zeigen sich größere Abweichungen mit meist höheren Modellwerten. Ursache hierfür könnte die im europäischen Vergleich bis in die neunziger Jahre hohe Belastung vieler Teile des nordostdeutschen Tieflandes mit atmogenen Stickstoff- und Schwefeleinträgen sein (GAUGER et al. 1999).

Das Modell zur Schätzung des oberirdischen Elementvorrates ergibt sich durch die multiplikative Verknüpfung der Modellwerte für den Trockensubstanz-Vorrat und den Elementgehalt (s. Abb. 7).

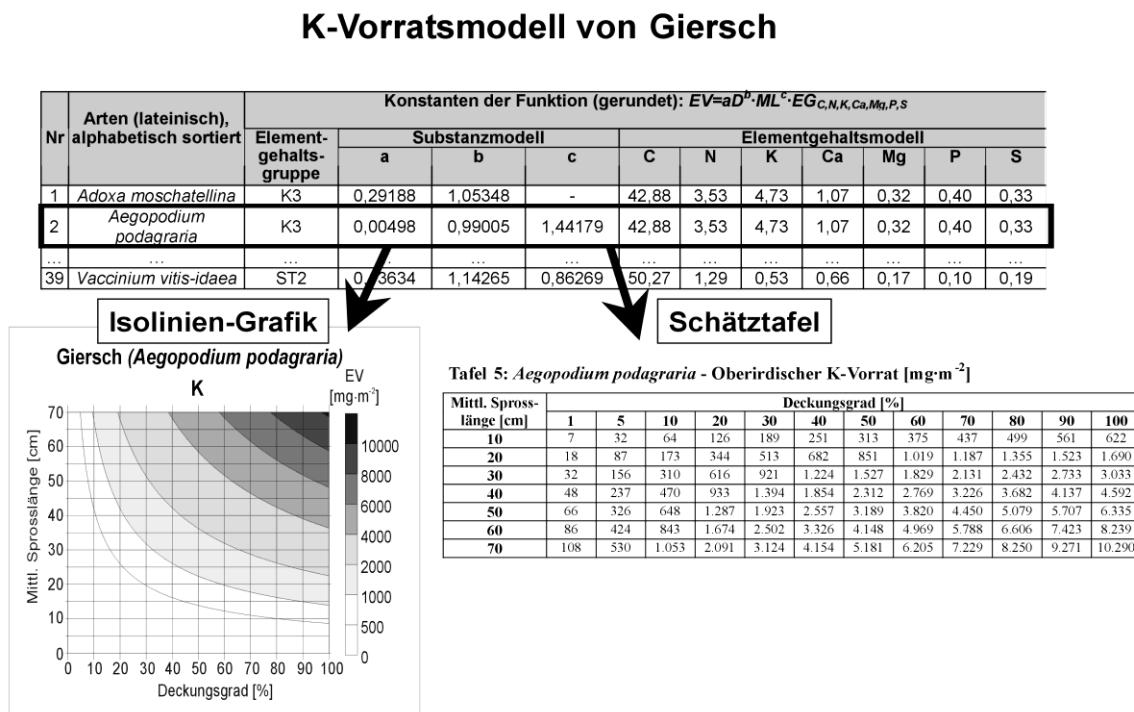


Abb. 7: Kalium-Vorratsschätzung für die Beipielart Giersch (*Aegopodium podagraria*)

## 4. Hilfen zum Praxiseinsatz der Schätzmodelle

### 4.1 Schätztafeln

Für den Praxiseinsatz enthält die Dissertation von BOLTE (1999) 282 Schätztafeln zum oberirdischen Trockensubstanz- und Elementvorrat der Waldbodenflora. Mit diesen Tafeln können für Standardangaben zum Deckungsgrad (1%, 5%, 10% bis 100%) und zur mittleren Sprosslänge (1cm-, 5cm- oder 10cm-Stufen) die Modellwerte direkt abgelesen werden. Zusätzlich gibt es Tafeln zur Umrechnung von maximalen Sprosslängen zu mittleren Längen sowie zur groben Einschätzung mittlerer Sprosslängen nach Vegetations- und Standortseinheiten. Damit ist die Bearbeitung von Vegetationsaufnahmen möglich, die keine Angaben zur Sprosslänge oder nur Werte zur maximalen Sprosslänge enthalten.

### 4.2 Programm zur automatisierten Berechnung

Zur weiteren Verbesserung des Praxistauglichkeit des Verfahrens wird gegenwärtig ein Programm zur automatisierten Berechnung von Trockensubstanz- und NährELEMENTVORRÄTEN der Bodenvegetation entwickelt. Dieses Programm basiert auf der weit verbreiteten Datenbank-Software Microsoft® ACCESS®97 und soll folgende Eigenschaften besitzen:

- Möglichkeit der direkten Daten-Eingabe und Verarbeitung bestehender Aufnahmelisten

- Berechnung von Faustzahlen zur mittleren Sprosslänge nach Standorts- und Bestandesangaben bei Arten ohne Längenbestimmung
- Benutzerführung bei der Einordnung „neuer“ Arten
- Wertberechnung für die gesamte Bodenvegetation und getrennt nach Arten
- Dokumentation in deutsch und englisch

Eine erste Testversion ist voraussichtlich ab Frühjahr 2002 verfügbar (Download unter <http://www.gwdg.de/~munger/Mitarbeiter/Bolte/Bolte.htm>).

## **5. Zusammenfassende Wertung**

Mit den vorliegenden Modellen ist ein allgemein verwendbares Verfahren entwickelt worden, um im mitteleuropäischen Raum die oberirdischen Elementvorräte der Bodenvegetation abschätzen zu können. Folgende Eigenschaften unterstreichen die Vorteile des Verfahrens für viele wald- und landschaftsökologische Fragestellungen:

- Zerstörungsfreie Aufnahme der Eingangsgrößen (Dauerbeobachtung möglich!)
- Einbeziehung „neuer“ Arten (Offene Modelle)
- Anwendung der Modelle grundsätzlich in allen mitteleuropäischen Regionen möglich (evtl. Einschränkungen bei der Modellschätzung des N- und S-Gehalts durch die im mitteleuropäischen Vergleich hohe N- und S-Depositionsbelastung im Untersuchungsgebiet Nordostdeutsches Tiefland)

## **6. Zusammenfassung**

Aus Untersuchungen von 40 deckenbildende Bodenvegetationsarten auf 129 Standorten im nordostdeutschen Tiefland wurde ein Modell-Verfahren zur Schätzung des oberirdischen Trockensubstanz-, Kohlenstoff- und NährELEMENTvorrats (N, K, Ca, Mg, P, S) der Bodenvegetation nach Angaben zum Deckungsgrad und zur mittlere Sprosslänge entwickelt.

Die Modelle zur oberirdischen Trockensubstanz-Schätzung von 31 Arten und Artenkombinationen und 13 Gruppen von morphologisch ähnlichen Bodenpflanzen (Wuchsformengruppen) bestehen aus nicht-linearen Regressionsfunktionen mit den unabhängigen Einganggrößen Deckungsgrad und mittlerer Sprosslänge.

Das Modell für den Elementgehalt basiert auf der Bildung von elf Pflanzengruppen mit ähnlichen Elementgehalten der oberirdischen Pflanzenorgane (Elementgehaltsgruppen) mit Hilfe von Hauptkomponenten- und Diskriminanzanalyse. Als Schätzwerte für die Elementgehalte werden die mittleren Gehalte der untersuchten Arten in den einzelnen Elementgehaltsgruppen verwendet.

Durch die multiplikative Verknüpfung der Trockensubstanz- und Elementgehalts-Modelle kann der Elementvorrat wichtiger Bodenvegetationsarten kalkuliert werden. Schätztafeln und ein in der Entwicklung befindliches Programm zur automatisierten Kalkulation des oberirdischen Trockensubstanz- und Elementvorrates erleichtern die Praxisanwendung.

Eine Validierung der Modelle erfolgte mit eigenen unabhängigen Beobachtungen sowie bei den Elementgehalten zusätzlich mit europäischen Literaturangaben. Nach den Ergebnissen ist davon

auszugehen, dass das Verfahren auch in anderen mitteleuropäischen Regionen außerhalb des Untersuchungsgebietes grundsätzlich angewendet werden kann.

## 7. Literatur

- AG Boden [der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe] (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 4). 4. Aufl., Stuttgart.
- AK Standortskartierung [in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung] (1996): Forstliche Standortsaufnahme. 5. Aufl., Eching, 1996.
- BMELF [Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten] (1994): Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) – Arbeitsanleitung. 2. Aufl., Bonn.
- BOLTE, A. (1999): Abschätzung von Trockensubstanz-, Kohlenstoff- und Nährelementvorräten der Waldbodenflora – Verfahren, Anwendung und Schätztafeln. Forstwiss. Beiträge Tharandt/Contributions to Forest Science 7, Stuttgart, 1999.
- BOLTE, A., ANDERS, S. und ROLOFF, A. (2002): Schätzmodelle zum oberirdischen Vorrat der Waldbodenflora an Trockensubstanz-, Kohlenstoff und Makronährlementen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 173 (im Druck)
- CHAPIN III., F. S. (1980): The mineral nutrition of wild plants. Ann. Rev. Ecol. Syst. 11, S. 233-260.
- DEICHSEL, G. und TRAMPISCH, H. J. (1985): Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse. Stuttgart.
- DONITA, N. (1972): Zahl und Größe der Probeflächen bei der direkten Bestimmung der Krautschicht-Biomasse im Walde. Oecol. Plant. 7, S. 85-94.
- EBERMAYER, E. (1876): Die gesamte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische Statik des Waldbaus. Berlin.
- EVANS, G. C. (1972): The quantitative analysis of plant growth. Oxford.
- GAUGER, Th., KÖBLE, R. und ANSELM F. (1999): Kritische Luftschatstoff-Konzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 108 03 079. Institut für Navigation, Universität Stuttgart.
- HARTUNG, J. (1989): Statistik. 7. Aufl., München/Wien.
- HEINRICH, H., KÖNIG, N. und SCHULTZ, R. (1985): Atomabsorptions- und Emissionsspektroskopische Bestimmungsmethoden für Haupt- und Spurenelemente in Probelösungen aus Waldökosystemuntersuchungen. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme/Waldsterben d. Univ. Göttingen A 8.
- KÖNIG, N., LOFTFIELD, N. und LÜTER, K.-L. (1989): Atomabsorptionsspektroskopische Bestimmungsmethoden für Haupt- und Spurenelemente in Probelösungen aus Waldökosystemuntersuchungen. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme d. Univ. Göttingen B 13.
- KÖNIG, N. und FORTMANN, H. (1996): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabors II des Forschungszentrum Waldökosysteme. Teile 1 bis 3. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme d. Univ. Göttingen B 46 bis B48.
- KOPP, D. und SCHWANECKE, W. (1994): Standörtlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft. Berlin.
- MARKERT, B. (1993): Instrumentelle Multielementanalyse von Pflanzenproben. Weinheim.
- NEWBOULD, P. J. (1970): Methods for estimating the primary production of forests. IBP Handbook 2 (Reprint), Blackwell Scientific Publ. Oxford/Edinburgh.
- PERSSON, H. (1975): Deciduous woodland at Andersby Eastern Sweden: field-layer and below-ground production. Acta Phytogeogr. Suec. 62.
- SACHS, L. (1976): Angewandte Statistik. 5. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York.
- SAS Institute Inc. (1989): SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4th Edition, Vol. 1 and Vol. 2, Cary, NC.
- SCHMIDT, W. (2000): Beitrag der Kraut- und Strauchsicht zur Stoffproduktion und zum Nährstoffkreislauf von Buchen-, Fichten- und Kiefernwäldern (Literaturauswertung). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Göttingen.
- STEINER, A., BOLTE, A., SCHNEIDER, B. U. und HÜTTL, R. F. (1998): Phytomasse- und Nährelementvorräte unterschiedlich stickstoffbeeinflußter Kiefernbestände (*Pinus sylvestris* L.) des nordostdeutschen Tief-landes. Verh. d. Ges. f. Ökologie 28: S. 421-428.

# Baumbiomasse als Bilanzgröße im N-Haushalt: Fallstudie Waldumbau\*

Richard Heitz

## 1. Einführung

Die Bioelementfestlegung in der Baumbiomasse von Wäldern wirkt quantitativ und funktionell als eine wichtige Flußgröße im ökosystemaren Stoffhaushalt.

Für die quantitative Verschneidung z.B. mit Eintrags- und Austragsgrößen in Bilanzen sind Gesamtvorräte oder mittlere Aufnahmeraten über das gesamte Bestandesalter wegen der zumeist relativ kurzen Zeitreihen für ökosystemare Flußgrößen wie Deposition und Sickerwasseraustrag nur bedingt geeignet. Andererseits birgt die Herleitung und Berechnung laufender jährlicher Flüsse große methodische Schwierigkeiten in sich. Ziel des Beitrages ist es, anhand eines Fallbeispiels die ökologische Bedeutung der Ermittlung von laufenden jährlichen Flüssen aus einmaligen Biomasseinventuren zu unterstreichen, einen möglichen methodischen Ansatz zu ihrer Ermittlung vorzustellen, dabei insbesondere auch die methodischen Schwierigkeiten und Schwachpunkte aufzuzeigen und daraus Empfehlungen für ein konzertiertes Vorgehen abzuleiten.

## 2. Fragestellung

Ausgangspunkt für die Biomasseuntersuchung im Rahmen der Fallstudie Waldumbau1 war die Eintrag/Austrags-Bilanz für Stickstoff am Standort Deisenhofen auf der südlichen Münchner Schotterebene. Bei vergleichbaren N-Einträgen um 20 kg/(ha a) im Kronendurchlaß wurden unter reiner Fichtenbestockung im Alter von 90, 120 und 50 Jahren mittlere Austräge mit dem Sickerwasser von 30, 15 bzw. 10 kg/(ha a) gemessen (Abbildung 1). Dagegen wurden unter 40-jähriger Umbaubestockung mit Buche, Tanne bzw. Bergahorn/Linde Austragsverluste von 3 kg N/ha a nicht überschritten. Es sollte geklärt werden, inwieweit diese Differenzierung auf unterschiedliche Festlegungsraten in der Baumbiomasse zurückgeführt werden kann.

## 3. Methodik

Auf der Basis von insgesamt 15 Bäumen im Alter zwischen 40 und 50 Jahren wurde eine Biomasse/Bioelementinventur durchgeführt. Für 5 Baumarten (Bu, BAh, Li, Ta, Fi) wurden jeweils den gesamten Durchmesserbereich repräsentierende Probäume (Abbildung 2) im Winterzustand gefällt und in die Kompartimente „jüngster Trieb“ sowie alle älteren Baumteile nach dem Durchmesser in cm-Stufen zerlegt.

---

\* Der vorliegende Beitrag basiert auf Daten und Auswertungen, welche im Rahmen des Forschungsprojektes „Umbau von Fichtenreinbeständen in naturnahe Mischwälder – Auswirkungen auf bodenchemischen Zustand und Bioelementhaushalt“ (HEITZ 1999) am Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortslehre der LMU München durchgeführt und vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten finanziert wurden.

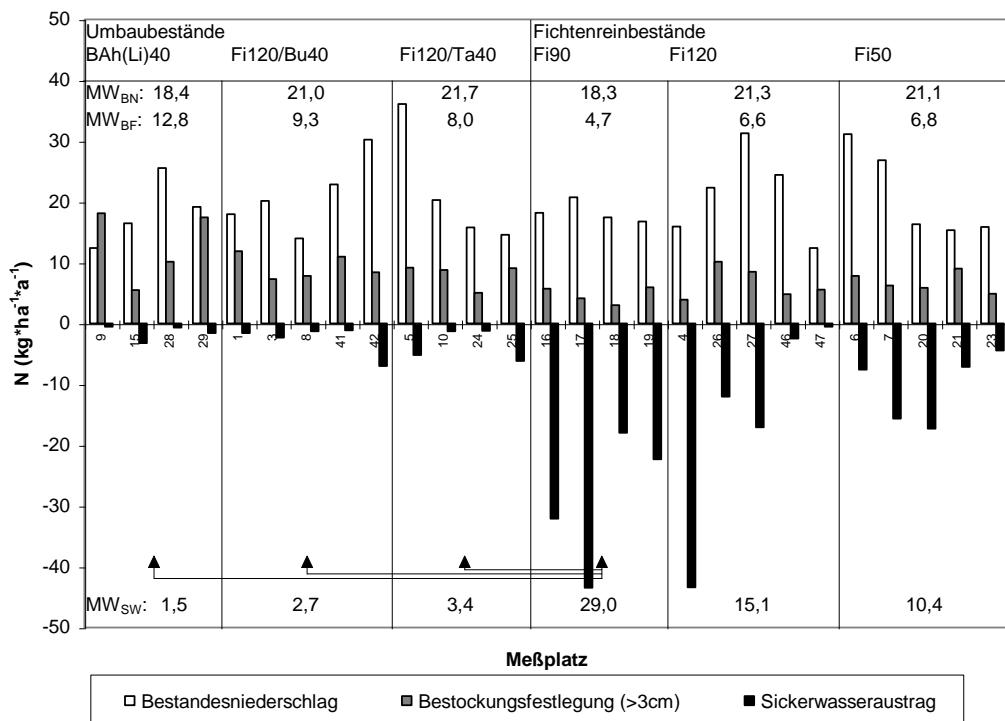


Abb. 1: N-Eintrag mit dem Bestandesniederschlag, N-Festlegung in der oberirdischen Baumbiomasse und N-Austrag mit dem Sickerwasser je Meßplatz auf der Untersuchungsfläche Deisenhofen (südliche Münchener Schotterebene); Mittelwerte (MW); signifikanter Mittelwertsunterschied nach Varianzanalyse und TUKEY HSD:

|                        |               | 40-jährig       |                     |                   |            |             | 50-jährig |
|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------|-------------|-----------|
|                        |               | Fagus silvatica | Acer pseudoplatanus | Tilia platiphylla | Abies alba | Picea abies |           |
| Durchmesser-Verteilung | Winterzustand |                 |                     |                   |            |             |           |
|                        | Stark         | 10,7            | 21,1                | 15,1              | 17,4       | 21,0        |           |
|                        | Mittel        | 5,0             | 14,9                | 7,7               | 8,2        | 11,4        |           |
|                        | Schwach       | 3,0             | 5,3                 | 4,1               | 4,5        | 5,0         |           |

Abb. 2: Probäume für die Biomasseinventur Deisenhofen nach Baumart und BHD

Nach Wägung und chemischer Analyse konnten so feinunterteilte Nährstoffvorräte je Baum errechnet werden. Die Einzelbaumvorräte wurden getrennt nach Baumarten über der Grundfläche ausgeglichen (Abbildung 3) und anhand dieser allometrischen Funktionen auf die Fläche übertragen.

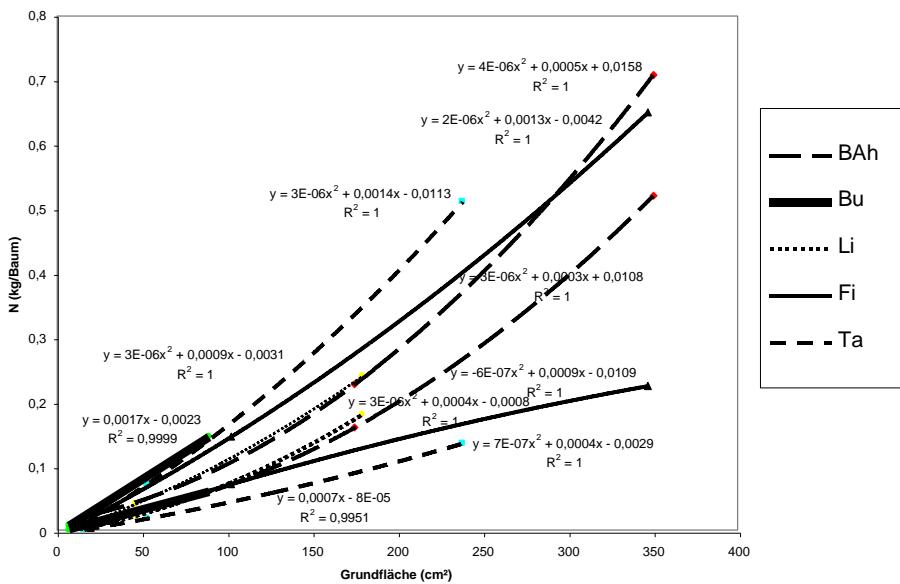


Abb. 3: Ausgleichsfunktionen der N-Vorräte je Probebaum (Gesamtbaum = jeweils obere Linie bzw. Kompartimente mit Durchmesser > 3cm = untere Linie) über dem BHD für verschiedenartige Baumarten am Standort Deisenhofen

Für die Berechnung der Altholzvorräte wurden die Daten für die jüngeren Probetäume linear ausgereglichen und extrapoliert; dieses Vorgehen konnte durch einen Vergleich mit Literaturdaten als befriedigende Schätzgrundlage bestätigt werden. (Abbildung 4)

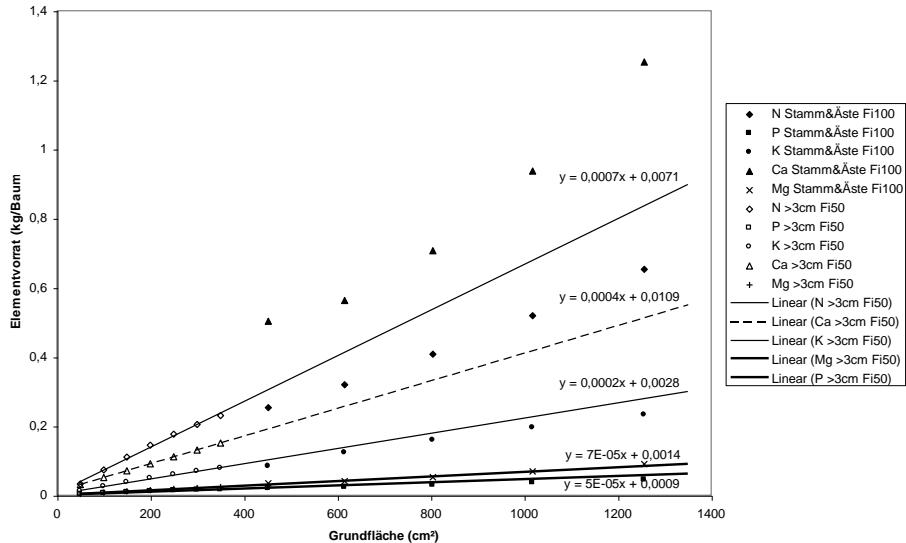


Abb. 4: N-, P-, K-, Ca- und Mg-Vorrat in der oberirdischen Biomasse von Einzelbäumen in Stamm und Ästen, bezogen auf die Grundfläche: Fichte in „Deisenhofen“, 50-jährig, Fraktion >3cm (über die Ausgleichsfunktionen berechnete Werte für 50-cm<sup>2</sup>-Stufen der Grundfläche im erfassten Durchmesserbereich); Fichte 100-jährig, Stamm und Äste ohne Nadeln und Reisig: Rhyolith-Standort (NEBE, HERRMANN 1987, aus LYR, FIEDLER, TRANQUILLINI 1992)

Folgende Schritte führen zur Berechnung der aktuellen N-Festlegungsrate in der oberirdischen Baumbiomasse: Anhand spezifischer „BHD/BHD-Zuwachs“ – Beziehungen für die verschiedenen Baumarten (Abbildung 5) und Altersstufen (Altholz nach SCHMITT 1994) konnten die Klupplisten der verschiedenenartigen Bestände um ein Jahr fortgeschrieben werden.

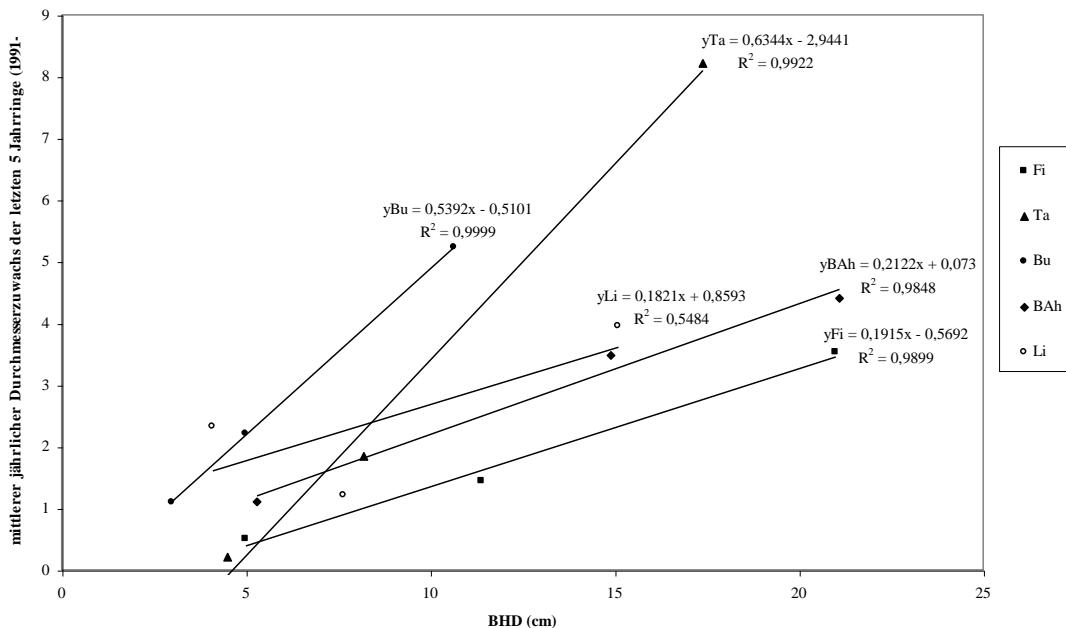


Abb. 5: Mittlerer Durchmesserzuwachs der Biomasse-Probebäume in den Jahren 1992-96 auf der Untersuchungsfläche Deisenhofen, aufgetragen über dem Brusthöhendurchmesser

Nach Daten von Le Goaster et al. (1991) findet aber in Reinbeständen ab einem Alter von 30 Jahren ein Nettozuwachs nur noch am Stamm, nicht bei Nadeln und Ästen statt (Abbildung 6).

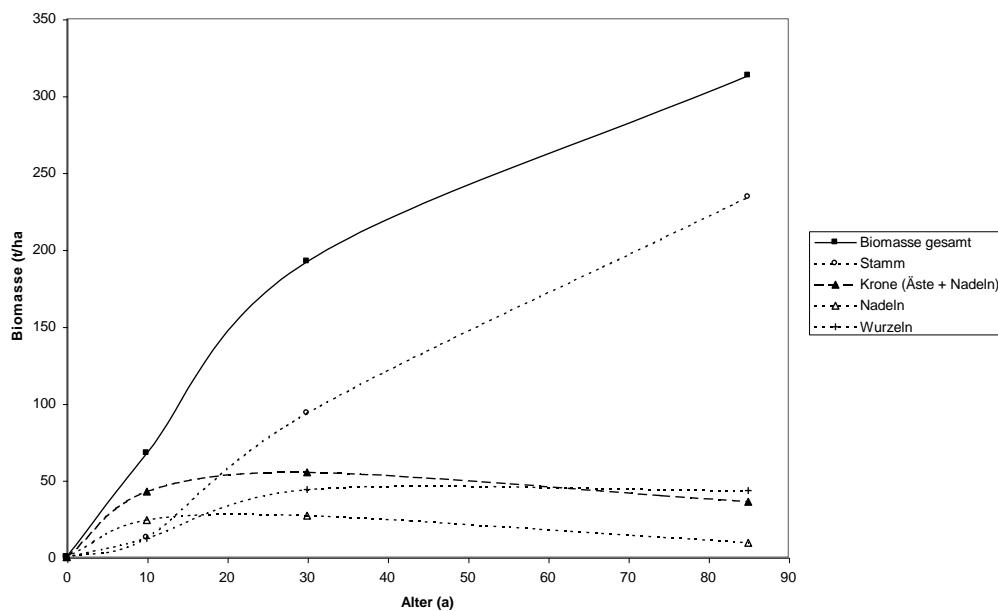


Abb. 6: Entwicklung der Bestandesbiomasse für die Kompartimente Stamm, Krone (Nadeln+Äste), Nadeln und Wurzeln in einer Topo-Chronosequenz von gleichaltrigen Fichtenbeständen (nach LE GOASTER et. al., 1991, mit Originaldaten nachgezeichnet und verändert)

Dieser Befund wurde für die Berechnung der laufenden Bioelementfestlegung insofern umgesetzt, als die Kompartimente < 3cm Durchmesser nicht berücksichtigt wurden (vgl. Abbildung 3, jeweils untere Linie). Die aktuelle Festlegungsrate bestimmt sich somit als Vorratsdifferenz zwischen Zeitpunkt x-1 und Zeitpunkt x der Kompartimente > 3cm.

#### 4. Ergebnisse

Bezogen auf die Grundfläche sind die Nadelbaumarten Fichte und Tanne den Laubbaumarten Bergahorn und Linde im Winterzustand im Einzelbaumvorrat an Stickstoff deutlich überlegen (Buche ist wegen des geringeren Durchmesserbereichs nicht unmittelbar vergleichbar). Nach Kappung der Kompartimente mit Durchmesser < 3cm (Nadeln und schwächere Äste), auf welche im Fall der Coniferen ca. 70% des N-Vorrats entfallen, drehen sich die Verhältnisse zu Gunsten der Laubbaumarten um; hier konzentrieren sich 60-70% des N-Vorrats auf die Kompartimente mit Durchmesser > 3cm. (vgl. Abbildung 3)

Die BHD-bezogenen Einzelbaum-Durchmesserzuwächse (Abbildung 5) wurden an den Probebäumen ermittelt und stimmen gut mit den von SCHMITT (1994) am gesamten Bestandeskollektiv ermittelten Werten überein. Die Unterlegenheit der Fichte ist sicherlich mit auf den Dichtstand dieses Bestockungstyps zurückzuführen.

In Abbildung 7 sind die (flächenbezogenen) aktuellen jährlichen Festlegungsraten in den einzelnen Bestockungstypen meßplatzweise (Radius für Altholz 10m, für Verjüngung 5m) und nach Baumarten, für Fichte nach Alt-/Jungbestand aufgetrennt dargestellt.

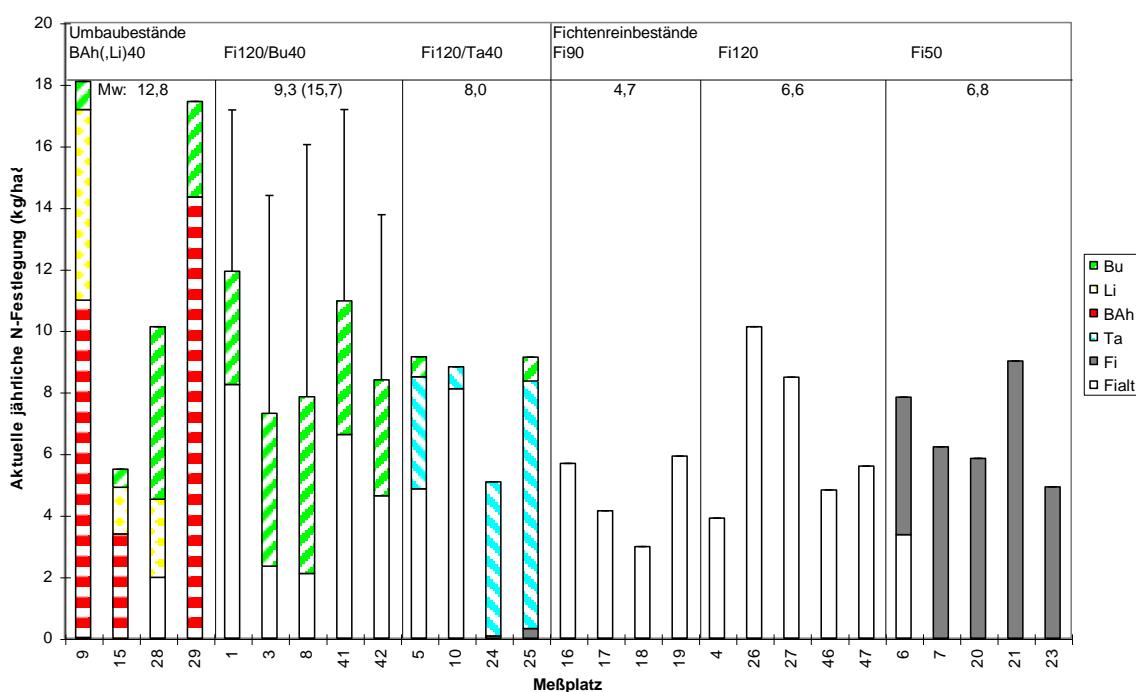


Abb. 7: Aktuelle jährliche N-Festlegung in der oberirdischen Baumbiomasse je Meßplatz, aufgetrennt nach Baumart, Altholz und Verjüngung auf der Untersuchungsfläche Deisenhofen; Fehlerbalken: maximale N-Festlegung bei Mitberücksichtigung der Buchen-Biomassefraktion  $\leq 3$  cm für die Berechnung

Die Mittelwerte für die Bestockungstypen reihen sich wie folgt: BAh/Li > Bu > Ta > Fi50 > Fi120 > Fi90. Während der BAh/Li40-Bestockungstyp praktisch schirmfrei ist, leistet das Fichtenaltholz über dem 40-jährigen Buchenumbau ca. 50% der aktuellen N-Festlegung in diesem Bestockungstyp. Möglicherweise ist die Annahme eines Gleichgewichtszustandes für die Kronenkompartimente < 3cm in diesem Fall wegen dichter Schirmstellung noch nicht zutreffend (evtl. auch Ta40 Meßplatz 5 und 10). Die Fehlerbalken kennzeichnen die rechnerische Zunahme der N-Festlegungsrate

unter der Annahme, daß sich der Zuwachs der gesamten oberirdischen Baumbiomasse für Buche proportional zum BHD-Zuwachs verhält.

Die im Durchschnitt größeren N-Festlegungsraten in den Umbaubestockungen im Vergleich zu den Fichtenreinbeständen leistet offenbar einen Erklärungsbeitrag zur Differenzierung der N-Austräge im Sickerwasser (Abbildung 1). Die Differenz zwischen Eintrag und Austrag wird aber auch durch die oberirdische Biomassfestlegung nicht völlig bilanziert. Als weiterer Faktor der Austragsdifferenzierung kommt im konkreten Fall insbesondere das Quellen- und Senkenverhalten des Bodens (incl. Wurzeln) in Betracht. Das nachfolgende Regressionsmodelle ( $R^2 = 0,67$   $p < 0,001$ ; Gl. 1) unterstützt diese Befunde:

$$N\text{-NO}_3\text{-Austrag} = \beta_1 * Vu_1 + \beta_2 * Vu_2 + \beta_3 * Vu_3 \quad (1)$$

|    | $\beta$                               | unabh. Variable (Vu)                          |
|----|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1) | 0,61 x<br>42 % der erklärten Varianz  | Temperturniveau Boden und bodennahe Luftsicht |
| 2) | -0,50 x<br>35 % der erklärten Varianz | N-Festlegung Baumbiomasse oberirdisch         |
| 3) | -0,34 x<br>23 % der erklärten Varianz | Basensättigung 0-5cm                          |

Gl. 1: Ergebniszusammenstellung zur Regressionsanalyse: N-Flüsse mit dem Sickerwasseraustrag als abhängige Variable; Humusvorrat im Boden bis 30 cm Tiefe, erste („allgemeines Temperturniveau am Meßplatz“) Hauptkomponente der Meßplatztemperatur, Bestandesniederschlagsdepositionsrationen (Fluß BN), „Basensättigung“ im Boden und aktuelle Elementfestlegung in der oberirdischen Baumbiomasse (Durchmesser > 3cm) als unabhängige Variablen

Demnach leisten neben der N-Festlegung in der oberirdischen Baumbiomasse auch Variablen, die sich als Rahmenfaktoren der N-Senkenkapazität des Bodens interpretiert lassen, einen signifikanten Erklärungsbeitrag für die Differenzierung der N-Austräge zwischen den Meßplätzen und Bestockungseinheiten. 35% der erklärten Varianz entfallen auf die oberirdische Biomassesequestrierung.

## 5. Bewertung und Folgerungen

Die Ermittlung aktueller Sequestrierungsraten in der oberirdischen Baumbiomasse kann einen wesentlichen Beitrag zum Prozessverständnis und zur Beantwortung wichtiger ökologischer Fragestellungen leisten.

Schlüsselgröße für die Übertragung von Probebaumvorräten auf die Fläche wie auch für die Dynamisierung zu aktuellen Flußgrößen kann die Grundfläche bzw. der BHD sein. Ein besonders kritischer Punkt bei der Berechnung der Festlegungsrate ist die Verwendung der „statischen“ BHD / Vorrat – Beziehung für die Berechnung der zeitlichen Vorratsveränderung. Es wird gewissermaßen unterstellt, daß ein Baum eines bestimmten BHDs in Raum und Zeit den gleichen Bioelementvorrat

bindet. Diese Annahme wurde aber im Anhalt an Untersuchungen von Le Goaster (1991) insofern modifiziert, als für Nadeln und schwächere Kronenkompartimente (Durchmesser < 3cm) im gegenwärtigen Stadium weitgehenden Kronenschlusses kein Nettozuwachs zugelassen wurde. Da diese Kronenkompartimente besonders große Nährstoffgehalte aufweisen, hat diese Modifikation natürlich großen Einfluß auf die berechneten Bioelementfestlegungsraten. Zur besseren Absicherung dieser gutachterlichen Komponente wären weitere Biomasseuntersuchungen z.B. in Topo-Chronosequenzen an Beständen insbesondere < U/2 erforderlich.

Eine wichtige Grundfrage im forstlichen Ökosystemmanagement (wie auch in der vorgestellten Fallstudie) ist diejenige nach der Baumartenwahl. Unter diesem Gesichtspunkt wäre eine Erweiterung der Biomasseuntersuchungen auf alle wichtigen Waldbauarten wünschenswert.

Dieser Bedarf an einer breiteren Biomassedatenbasis impliziert zugleich die Notwendigkeit der Bündelung und Straffung von Daten und Aufwand. Folgende Schritte wären aus Sicht des Autors denkbar und wünschenswert:

- (1) Schaffung einer umfassenden einzelbaumbezogenen Biomassedatenbank i.w.S. (incl. Bioelementgehalte) auf Basis vorhandener Daten
- (2) Aufteilung in zwei Arbeitsrichtungen: (A) Biomassemodellierung i.e.S. (z.B. Implementierung von Biomassemodulen in bestehende Wachstumsmodelle mit ausreichender Kompartimentierung (zumindest: Nadeln, Reisig, Äste, Splint/Reifholz, Kernholz, Rinde). (B) Allometrische Beschreibung von Bioelementgehalten in diesen Kompartimenten in Abhängigkeit von gängigen Parametern wie Blattspiegelwerten oder bodenchemischen Kennwerten zur Operationalisierung vorhandener (vgl. (1)) und ggf. zu ergänzender Daten für beliebige Standorte.
- (3) Iterative Abstimmung und Anpassung beider Arbeitsrichtungen

## **6. Literatur**

- SCHMITT, M. (1994): Waldwachstumskundliche Untersuchungen zur Überführung fichtenreicher Baumhölzer in naturnahe Mischbestände mit Dauerwaldcharakter. Forstl.Forschungsber.München Nr. 144.
- LE GOASTER, S.; DAMBRINE, E.; RANGER, J. (1991): Croissance et nutrition minérale d'un peuplement d'épicéa sur sol pauvre. I - Evolution de la biomasse et dynamique d'incorporation d'éléments minéraux. Acta Oecologica 12(6), 771-789.
- LYR, H.; FIEDLER, H.-J.; TRANQUILLINI W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart.
- HEITZ, R. (1999): Umbau von Fichtenreinbeständen in naturnahe Mischwälder – Auswirkungen auf bodenchemischen Zustand und Bioelementhaushalt. Geobotanica-Verlag Freising

# Dendrochemische Untersuchungen zur Rekonstruktion der Bodenversauerung im Schwarzwald

Klaus von Wilpert, Jürgen Schäffer

## 1. Ziele und Arbeitshypothese

Im Verlauf der Bodenversauerung werden die Stabilitätsbereiche unterschiedlicher geo- und pedogener Verbindungen unterschritten und deren Elemente in die Bodenlösung freigesetzt (ULRICH, 1981). Da die leicht verfügbaren Pools dieser Verbindungen limitiert sind, treten die Mobilisierungsphasen einzelner Elemente mehr oder weniger deutlich in Form abgegrenzter Peaks auf (Abb.1).

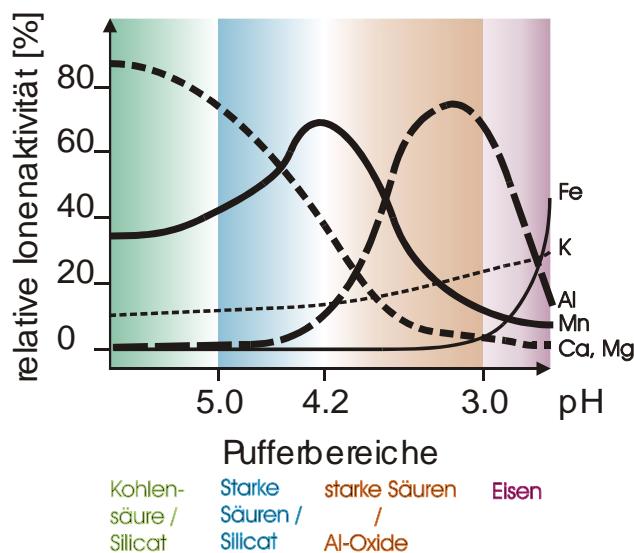


Abb. 1: Schematisierter, relativer Verlauf der Ionenaktivitäten in der Bodenlösung im Verlauf der Bodenversauerung

Besonders deutlich ist dies bei Mangan zu erwarten, da der Vorrat an pedogenen Manganoxiden in den meisten Böden niedrig ist. Manganoxide ( $Mn_2O_3$ ) werden unterhalb pH 6 schwellenartig instabil und als  $Mn^{2+}$  ausgewaschen. Deshalb „durchlaufen Oberböden eine relativ kurze Mn-Mobilisierungsphase ... die offensichtlich schnell durchschritten wird“ (HILDEBRAND, 1986). Diese Mn-Mobilisierungsphase markiert den Übergangsbereich zwischen dem Silikat- und dem Aluminiumpufferbereich. Aluminiumoxide und -hydroxide werden unterhalb pH 4.2 instabil und Eisen unterhalb pH 3. Die Verfügbarkeit der Mb-Kationen Magnesium und Calcium nimmt über den gesamten Bereich relevanter Versauerungsstufen ab, Kalium nimmt tendenziell durch eine erhöhte Intensität der chemischen Verwitterungsrate zu.

Ein Vergleich zwischen Oberböden im Schwarzwald im Rahmen der Dissertation von FRANK 1927 gemessenen pH – Werten und pH – Messungen der BZE 1992 im gleichen Raum zeigte, dass der pH-Wert während der letzten 5 – 7 Jahrzehnte auf den meisten Ausgangssubstraten um 1 – 2 pH-Stufen abgesunken ist (Abb.2). Einzige Ausnahme sind helle Granite, auf denen Oberböden

durch Podsolierung schon 1927 ähnlich stark versauert waren wie heute (v.WILPERT u. HILDEBRAND, 1994).

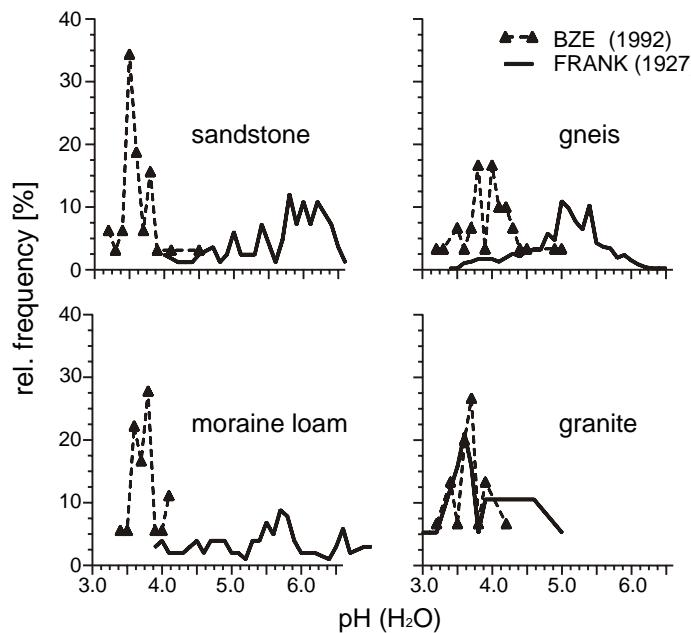


Abb.2: Relative Häufigkeitsverteilungen von pH-Werten auf unterschiedlichen geologischen Ausgangssubstraten im Schwarzwald 1927 und 1992.

Das Holz von Waldbäumen ist ein ideales Archiv für den zeitlichen Verlauf des „chemischen Klimas“, welches im wesentlichen durch Stoffdepositionen und Bodenversauerung beeinflusst wird, da die meisten durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung in die Bodenlösung ausgeschütteten Elemente über Massenfluss mit der Bodenlösung aufgenommen werden und an Ladungszentren im Holz sorbiert werden. (GUYETTE, 1992 AUSSENAC 1996).

Die Veränderung bodenchemischer Eigenschaften wird durch regionale Unterschiede in der Depositionshöhe, Ausgangsgestein, Bestandestyp und Geländemorphologie innerhalb der Projektregion Südschwarzwald variiert. Die Untersuchung der bodenchemischen Situation wurde an Straten dieser Einflussgrößen orientiert (Tab 1). In jedem Stratum wurden 10-15 Bodenprofile bis 90cm Bodentiefe beprobt.

In dieser Studie sollen Ansatzpunkte für die Verifikation der Dynamik der Bodenversauerung anhand dendrochemischer Methoden entwickelt und diskutiert werden.

## 2. Material und Methoden

Die Gehalte und Elementverhältnisse von Metallen und anderen Indexelementen in Jahrringzeitreihen alter Fichten werden als Indikatoren für die Dynamik der Bodenversauerung auf Landschaftsniveau verwendet. An 44 Probenahmepunkten wurden korrespondierend zu den chemisch charakterisierten Bodenprofilen Stammscheiben in 1,30 m Höhe an 70 – 150 Jahre alten Fichten entnommen. Die Untersuchungsstandorte wurden in 2 Gesteinsklassen (dunkle und helle Gneise), 2 Depositionsklassen (hoch und niedrig) und 2 geländemorphologische Straten (Ober- und Mittelhänge) stratifiziert. Für jede Faktorenkombination wurden mindestens 10 Wiederholungen beprobt.

Tab. 1: Verteilung der Bodenprofile auf Straten aus Bodentyp, Ausgangsgestein, Geländemorphologie, Bestandestyp und Depositionshöhe in der Projektregion Südschwarzwald.

| <b>Substrat</b>                                        | <b>Topographie</b>                  | <b>Baumarten</b>                                                                             | <b>Wiederholungen</b>            |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Areal mit niedriger Depositionsbelastung</b>        |                                     |                                                                                              |                                  |
| Braunerde auf<br>Granit oder<br>basenarmen<br>Gneisen  | Oberhang<br>Mittelhang<br>Unterhang | Buche-Tanne-Fichte<br>Fichte<br>Buche-Tanne-Fichte<br>Fichte<br>Buche-Tanne-Fichte<br>spruce | 10<br>10<br>10<br>10<br>10<br>10 |
| Braunerde auf<br>basenreichen,<br>dunklen Gnei-<br>sen | Oberhang<br>Mittelhang<br>Unterhang | Buche-Tanne-Fichte<br>Fichte<br>Buche-Tanne-Fichte<br>Fichte<br>Buche-Tanne-Fichte<br>Fichte | 10<br>10<br>10<br>10<br>10<br>10 |
| Braunerde auf<br>Höhenlehmen                           | Ebene                               | Buche-Tanne-Fichte<br>Fichte                                                                 | 15<br>15                         |
| <b>Areal mit hoher Depositionsbelastung</b>            |                                     |                                                                                              |                                  |
| Braunerde auf<br>Granit                                | Mittelhang                          | Buche-Tanne-Fichte<br>Fichte                                                                 | 15<br>15                         |
| <b>Summe</b>                                           |                                     |                                                                                              | <b>180</b>                       |

An den Stammscheiben wurden entlang 3 Radien Mischproben für jeweils 10 Jahresabschnitte entnommen. Die Beprobung erfolgte mit Titannitrit-Bohrern auf einem mittels einer Positionierspindel beweglichen Frästisch. Die Holzproben wurden nach dem Mahlen in der Scheibenschwingmühle im Salpetersäure-Druckaufschluss aufgeschlossen. Die Elemente Mn, Al, Fe, Ca, Mg, S, Ba, Pb und Mo wurden am ICP ES untersucht. Die Metalle Mn, Al und Fe sind Indikatoren für bestimmte Phasen der Bodenversauerung. Mangan wird zwischen dem Silikat- und Aluminiumpufferbereich (pH 6,2 – 4,2) mobilisiert, während die Auflösung von Aluminiumhydroxyd der dominante Pufferprozess bei pH-Werten < 5 ist. Die Elemente S, Pb und die Fixierung von Ba durch Sulfat sind Indikatoren industrieller Luftverschmutzung. Calcium und Magnesium sind essentielle Makronährstoffe, deren Pflanzenverfügbarkeit im Zuge der Bodenversauerung abnimmt.

### 3. Vorläufige erste Ergebnisse

Der aktuelle Versauerungszustand von Waldböden kann als schlaglichtartiger Ausschnitt aus der anthropogen bedingten Versauerungsgeschichte von Waldböden betrachtet werden. Wenn die Depositionshöhe in der ganzen Periode industrieller Luftverschmutzung hoch war und die Pufferkapazität der Böden niedrig, finden wir aktuell einen hohen Grad der Bodenversauerung und minimale Basenvorräte. Im umgekehrten Fall ist die Intensität der Bodenversauerung niedrig. So können wir die aktuelle Variation des bodenchemischen Zustandes zwischen den untersuchten Standortsstraten

als „unechte Zeitreihe“ der Versauerungsgeschichte in der Untersuchungsregion auffassen. Die Differenzierung der Versauerungsintensität zwischen Ober- und Unterhängen ist hoch und signifikant (Abb. 3). Geringere, aber Hypothesen konforme Unterschiede bestehen zwischen Gesteins- und Depositionsstraten ebenso wie zwischen Fichtenrein- und Laubholzbeständen.

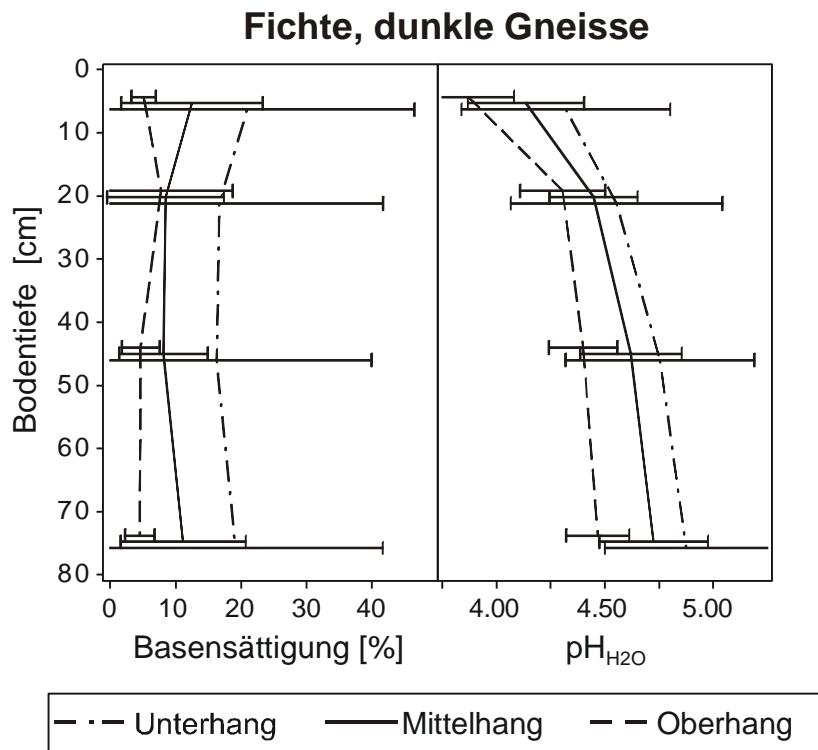


Abb. 3: Tiefenprofile von Basensättigung und pH-Wert nach Hangsituationen auf basenreichen, dunklen Gneisen unter Fichtenreinbeständen im Südschwarzwald in Leelagen mit vergleichsweise niedrigen Depositionen.

Die dendrochemische Studie wurde auf Fichtenbestände beschränkt. Es hat sich bestätigt, dass z.B. der Verlauf und das Niveau der Mangangehalte zwischen Ober- und Mittelhängen differenzieren. Insgesamt ist das Niveau der Mangankonzentrationen im Holz der Oberhangstandorte höher als an den Mittelhängen. Dies kann durch die ständige Mobilisierung gesteinsbürtiger Manganpools erkläbar sein. Der relative Verlauf der Mn-Konzentrationen zeigt, dass eine Kulmination an Oberhängen der Region vor dem Beginn der Beobachtungsperiode zu vermuten ist, also der Übergang zwischen Silikat und Al-Pufferbereich dort schon vor 1900 durchlaufen wurde. An den Mittelhängen sind Mn-Konzentrationen im Niveau durchwegs niedriger und in Einzelfällen lässt sich im Bereich von 1920 eine schwache Kulmination erkennen. Ähnlich interpretierbare Muster lassen sich bei den Elementen Ca und S erkennen (Abb. 4). Ca nahm sowohl an den Ober- als auch an den Mittelhängen über die gesamte Beobachtungsperiode deutlich ab, an den Oberhängen auf erkennbar niedrigerem Niveau. Die Schwefelkonzentrationen nahmen in beiden Kollektiven seit den 60er Jahren schwellenartig zu.

In Abbildung 4 sind Mediane der Elementkonzentrationen über 10 Wiederholungen je Stratum dargestellt. Dabei gehen u.U. individuelle Verläufe der Elementkonzentrationen unter.

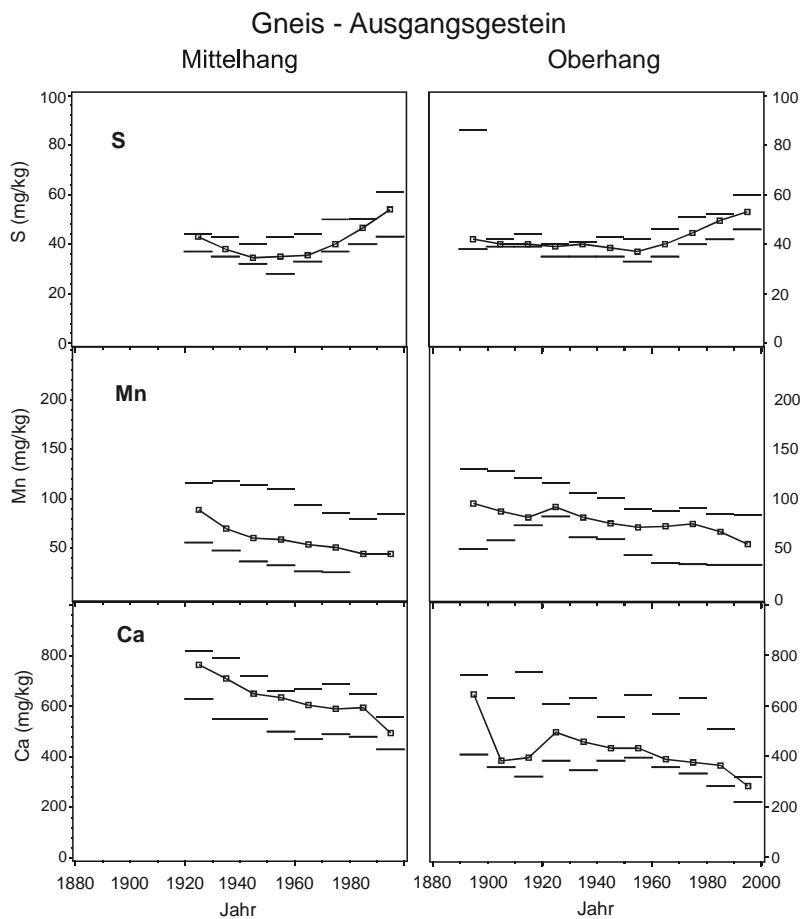


Abb.4: Mittlere Elementkonzentrationen im Fichtenholz für Schwefel, Mangan und Calcium (Mediane und 17. bzw. 83. Perzentile) an Mittel- und Oberhängen auf dunklen Gneisen.

So sind bei den gemittelten Verläufen der Mangankonzentrationen keine Optima zu erkennen, wie dies angesichts des chemischen Zusammenhangs zumindest in Mittelhangposition zu erwarten gewesen wäre. Bei einzelnen Manganverläufen ist ein Maximum erkennbar, das besonders deutlich durch Differenzenbildung zwischen benachbarten Messzeitpunkten (analog zur ersten Ableitung) herausgearbeitet werden kann. Bei dem in Abbildung 5 dargestellten Manganverlauf von Baum Nr. 20 liegt das Maximum der Mangankonzentration in den Jahren von 1910-1930. Danach nimmt die Mangankonzentration schwellenartig ab.

#### 4. Ausblick

Die ersten Ergebnisse der dendrochemischen Untersuchungen legen nahe, dass diese prinzipiell einen vertieften Einblick in die Dynamik der Bodenversauerung in Wäldern ermöglichen können. Die Untersuchungen sind jedoch aufwendig und stehen am Anfang. Interpretationsunsicherheiten, wie sie sich aus dem unterschiedlichen lateralen Transportverhalten der einzelnen chemischen Elemente am Übergang zwischen Splint und Reifholz ergeben (KARDELL, 1995) und durch die Tatsache, dass die Kationenaustauschkapazität des Holzes sich zwischen älterem und jüngerem Holz systematisch unterscheidet (MOMOSHIMA u. BONDIETTI, 1990) sowie durch die prinzipielle Möglichkeit von radialen Transportprozessen im Bereich von Holzstrahlen (BOSSHARD, 1976), müssen in vertiefenden Untersuchungen geklärt werden. Auch scheint die Länge der bislang vor-

liegenden Jahrring - Zeitreihen nicht auszureichen um z.B. eine durch Bodenversauerung entstandene Manganmobilisierungsphase zeitlich hinreichend exakt eingrenzen zu können. Es sollen für diesen Zweck gezielt möglichst alte Bäume beprobt werden.

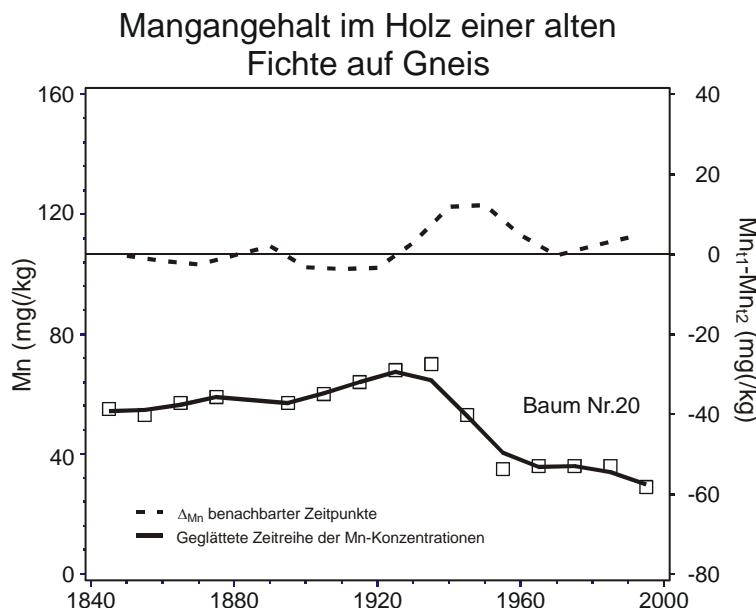


Abb. 5: Geglättete Zeitreihe und deren „erste Ableitung“ der Mangangehalte im Holz einer einzelnen Fichte in Mittelhangposition auf dunklem Gneis.

Wenn eine befriedigende Interpretation der dendrochemischen Zeitreihen in Richtung einer Rekonstruktion der Dynamik der Bodenversauerung möglich wird, was nach den ersten Ergebnissen als nicht unwahrscheinlich erscheint, kann damit das Ergebnis einer dynamischen Modellierung des bodenchemischen Zustandes, wie sie z.B. anhand des SAFE-Modells durchgeführt werden soll, empirisch validiert werden.

## 5. Literatur

- AUSSENAC, G. (1996): Element analysis of tree rings in pedunculate oak heartwood: an indicator of historical trends in the soil chemistry, related to atmospheric deposition. In: LEVY, G. BRECHET, C. BECKER, M. DREYER, E. (Hrsg.) Annales des Sciences Forestieres, 53 2/3 685-696.
- BOSSHARD, H.H. (1976): Jahrringe und Jahrringbrücken. Schweiz, Zeitschr. Forstwes.. 127 675-693.
- GUYETTE, R.P. (1992): Reconstructing Soil pH from Manganese Concentrations in Tree Rings. Forest Sci. 38/4 727-737.
- HILDEBRAND, E.E. (1986): Zustand und Entwicklung der Austauschereigenschaften von Mineralböden aus Standorten mit erkrankten Waldbeständen. Forstw. Cbl. 105 60-76.
- MOMOSHIMA, N. BONDIETTI, E.A. (1990): Cation binding in wood: applications to understanding historical changes in divalent cation availability to red spruce. Can. J. For. Res. 20 1840-1849.
- ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde 144 289-305.
- v. WILPERT, K. HILDEBRAND, E.E. (1994): Stoffeintrag und Waldernährung in Fichtenbeständen Baden-Württembergs. Forst und Holz 49 629-632.

# Themenschwerpunkt Modelle

|             |     |
|-------------|-----|
| K. Hammel   | 117 |
| R. Becker   | 124 |
| R. Grote    | 129 |
| E. Kaufmann | 139 |



# Bestandesparameter für die Modellierung des Wasser- und Stoffhaushalts in Wäldern

Klaus Hammel

## 1. Einführung

Komplexe Ökosysteme wie Waldbestände können kaum mit einfachen Methoden analysiert und durch einfache Regeln beschrieben werden. Prädestiniert sind dafür - zumindest prinzipiell - numerische Modelle, die im Idealfall den gegenwärtigen Stand des Wissens und der Erkenntnis repräsentieren. Der letztendliche Zweck solcher Modelle ist die präzise Vorhersage des Systemverhaltens. Davon sind die gegenwärtigen Wasser- und Stoffhaushaltsmodelle noch mehr oder weniger weit entfernt. Sie sind aber bewährte und effektive Werkzeuge, um unser Systemverständnis zu verbessern, Hypothesen zu prüfen und Szenarien zu entwerfen. Deshalb werden Modellrechnungen zunehmend in politische Entscheidungsprozesse einbezogen.

Wegen der Vielzahl der zu betrachteten Prozesse und ihrer Wechselwirkungen brauchen Wasser- und Stoffhaushaltsmodelle eine gewisse Grundausrüstung von Eingabegrößen (Parameter). Diese Parameter liegen oft nicht als gemessene Größen vor und müssen deshalb geschätzt werden. In Biomasseerhebungen werden eine Reihe von Vegetationsparametern erfasst (oder könnten mit wenig zusätzlichem Aufwand erfasst werden), welche die Parameterisierung entsprechender Modelle wesentlich verbessern können.

## 2. Modelle

Numerische Modelle versuchen, die wichtigsten Prozesse in einem Ökosystem korrekt abzubilden. Es ist dabei nicht von vornherein klar, welche Prozesse das Ökosystemverhalten dominieren. Modelle sind daher dynamische Objekte, die neuen Erkenntnissen angepasst werden müssen. Sie können natürlich auch nur die Prozesse beschreiben, über die Erkenntnisse vorliegen.

Im folgenden sollen typische Modelle kurz skizziert werden. Als Beispiel dienen das Wasserhaushaltsmodell Brook90 (Federer, 1985) und das Stoffhaushaltsmodell NuCM (Munson, 1992), die an der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) verwendet werden. Diese Modelle operieren primär auf der Skala einer Versuchsfläche und gehen von der Annahme im wesentlichen vertikaler Wasser- und Stoffflüsse aus (1-dimensionale Modelle).

### 2.1 Wasserhaushaltsmodell Brook90

Niederschlag und potenzielle Verdunstung repräsentieren diejenigen externen Größen, welche die Wasserbewegung im Boden antreiben. Dabei hängt es vom aktuellen Bodenwasserspeicher ab, in wieweit der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre befriedigt werden kann. Während für die Transpiration ein grosses Bodenvolumen - näherungsweise der gesamte Wurzelraum - dafür zur Verfügung steht, ist es für die Evaporation nur eine vergleichsweise dünne Schicht in der Nähe der Bodenoberfläche. Gegenüber der Verdunstung von einer Wasseroberfläche wird die Transpiration

durch einen stomatären Widerstand vermindert. Bei der Evaporation wird die geringere Windgeschwindigkeit im Bestand berücksichtigt.

Das Verhältnis zwischen potenzieller Transpiration und Evaporation wird anhand der Dichte und Art der Vegetation (genauer gesagt anhand des projizierten Blattflächenindex) bestimmt. Wie sehr der Boden diesem Anspruch nachkommen kann, ergibt sich aus den aktuellen Feuchteverhältnissen. Je trockener der Boden wird, desto schwerer kann ihm Wasser entzogen werden und desto mehr bleibt die aktuelle Transpiration und Evaporation hinter den potenziellen Werten zurück. Entscheidend sind hierbei die hydraulische Leitfähigkeit des Bodens und das minimale Wurzelpotenzial (oder die maximale Saugspannung, die die Wurzel aufrechterhalten kann). Während feuchterer Perioden, etwa infolge hoher Niederschlägen oder geringem Entzug, kommt es zur Sickerung. Bei grundwassernaher Situation kann auch kapillarer Aufstieg auftreten.

Die hydraulischen Eigenschaften eines Bodens bestimmen seine Wasserspeicherfähigkeit und damit die Wasserverfügbarkeit für einen bestimmten Bestand. Niederschlag kann auch als Schnee fallen und wird dem Schneedeckspeicher hinzugefügt, der in Abhängigkeit vom Energieaustausch mit der Atmosphäre und dem Boden durch Schmelzen geleert werden kann. Ein Teil des Niederschlags verdunstet direkt von den Vegetationsoberflächen. Diese Menge wird Interzeptionsverlust genannt. Die Fähigkeit eines Bestandes, einen Teil des Niederschlags auf seiner Oberfläche zu speichern wird durch die Interzeptionsspeicherkapazität quantifiziert.

## 2.2 Stoffhaushaltsmodell NuCM

Der Stofftransport erfolgt fast immer in gelöster Form. Deshalb ist die Beschreibung der Wasserflüsse auch ein wesentlicher Teil jedes Stoffhaushaltsmodells. Allerdings kommt noch eine ganze Reihe von Prozessen hinzu. Diese sind die trockene und feuchte Deposition entsprechend den zugrundeliegenden Transportmechanismen: Passiver Lösungstransport mit dem Niederschlag und Interzeptionsdeposition (turbulenter Transport in der Atmosphäre und bestandesabhängige Übergangswiderstände zu den Pflanzenoberflächen: Gase, Partikel). Auf den Vegetationsoberflächen können einige Stoffe oxidiert werden ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), andere können aufgenommen ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), aus dem Kronenraum exudiert oder ausgewaschen werden ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). In Abhängigkeit von diesen Prozessen ergeben sich die Stoffkonzentrationen im Bestandesniederschlag.

Vor dem Blattfall wird ein Teil der in den Blättern enthaltenen Nährstoffe in die Krone transloziert. Der Rest wird über den Streufall dem organischen Speicher im Boden zugeschlagen. Der Streuabbau wird über die Teilprozesse Zersetzung, Humifizierung und Mineralisation beschrieben. Dabei gelangen bestimmte Stoffe (DOC,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}^+$  und andere Kationen) in den mobilen Pool im Boden, die Bodenlösung, und an die Austauscher entsprechend den Verteilungsfunktionen zwischen sorbiertener und gelöster Phase. Grundsätzlich werden Kationenaustausch und Anionensorption berücksichtigt. Alle chemischen Prozesse folgen der Massenerhaltung und der Erhaltung der elektrischen Ladung von Anionen und Kationen. Die Dissoziationsgleichgewichte verschiedener schwacher Säuren und Basen wie beispielsweise Kohlensäure, organische Säuren, Aluminium- und Eisenhydroxide und humusorganische Aluminiumkomplexe werden über die Säureneutralisierungskapazität (ANC) beschrieben. Damit können Spezierung und pH-Wert der Bodenlösung be-

rechnet werden. Weiterhin wird die Mineralisierung von  $\text{NH}_4^+$  zu  $\text{NO}_3^-$  berücksichtigt und die Ge steinsverwitterung modelliert.

Der potenzielle Zuwachs des Bestandes wird extern vorgegeben. Die dazu benötigte Menge an Nährstoffen ergibt sich aus dem Biomassezuwachs der Kompartimente Blatt, Stamm und Wurzel und deren Nährstoffkonzentrationen, die innerhalb gewisser Grenzen schwanken dürfen. Gerät ein Nährstoff in Mangel, wird das gesamte Wachstum eingeschränkt (Liebing'scher Minimumansatz). Über die Sicherung und die Konzentrationen in der Bodenlösung kann schließlich der Austrag berechnet werden.

### 3. Bestandesparameter

Für Modellansätze wie die oben beschriebenen werden eine Reihe von Bestandesparametern benötigt. Dies sind unter anderem die maximale stomatäre Leitfähigkeit, Blattbreite, Bestandeshöhe, Vegetationsperiode, Wurzelverteilung, Blatt- und Stammflächenindex (LAI bzw. SAI jeweils projiziert), die Relation zwischen Blattmasse und Blattfläche, Biomasseverteilung (Wurzel, Stamm, Blätter als Startwerte), potenzieller (bestandestypischer) Zuwachs und Elementgehalte  $\pm$  zulässige Schwankungen (Wurzel, Stamm, Blätter).

#### 3.1 Beispiel Blattflächenindex

Als Schnittstelle zwischen Atmosphäre und Bestand sind die Kronen von entscheidender Bedeutung für eine Vielzahl von Prozessen (Transpiration, Interzeption, Streufall, Interzeptionsdeposition). Wesentlicher Parameter ist hier der Blattflächenindex (LAI), ein Parameter, der relativ aufwendig zu messen ist und deshalb oft nicht vor Ort vorliegt.

##### 3.1.1 Schätzverfahren

Ein Ansatz zur Schätzung des LAI, der zur Zeit an der LWF verwendet wird (Hammel und Kennel, 2001), basiert (i) auf den Untersuchungen von Burger (1929-1953) über die Beziehung zwischen Brusthöhendurchmesser (BHD) und Blattfläche (LA), LABur (BHD), und (ii) auf den Ertragstafeln (BayStMELF, 1981), die über die Bonität BON eine Beziehung zwischen dem Bestandesalter A und der Stammzahl N sowie BHD bereitstellen,  $BHD = BHD(BON, A)$  und  $N = N(BON, A)$ . Kombiniert man beide Funktionen, so erhält man

$$\text{LAI}_{\text{Bur}} = f \cdot N \cdot \text{LA}_{\text{Bur}}, \quad (1)$$

wobei der Faktor f die Relation zwischen gesamter (LA) und projizierter Blattfläche bezeichnet.

Wenn man die so gewonnenen Schätzwerte  $\text{LAI}_{\text{Bur}}$  mit Werten für LAI aus der Literatur vergleicht, findet man eine relativ gute Übereinstimmung für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche, Eiche und Lärche (Abbildung 1). Größere Abweichungen treten bei Jungbeständen auf, welche in ihrer Bestandesstruktur möglicherweise variabler sind als Altbestände. Tendenziell wird LAI bei der Kie-

fer zwar etwas unterschätzt, der leichte Abfall mit zunehmendem Alter wird jedoch auch von der Schätzung nachvollzogen.

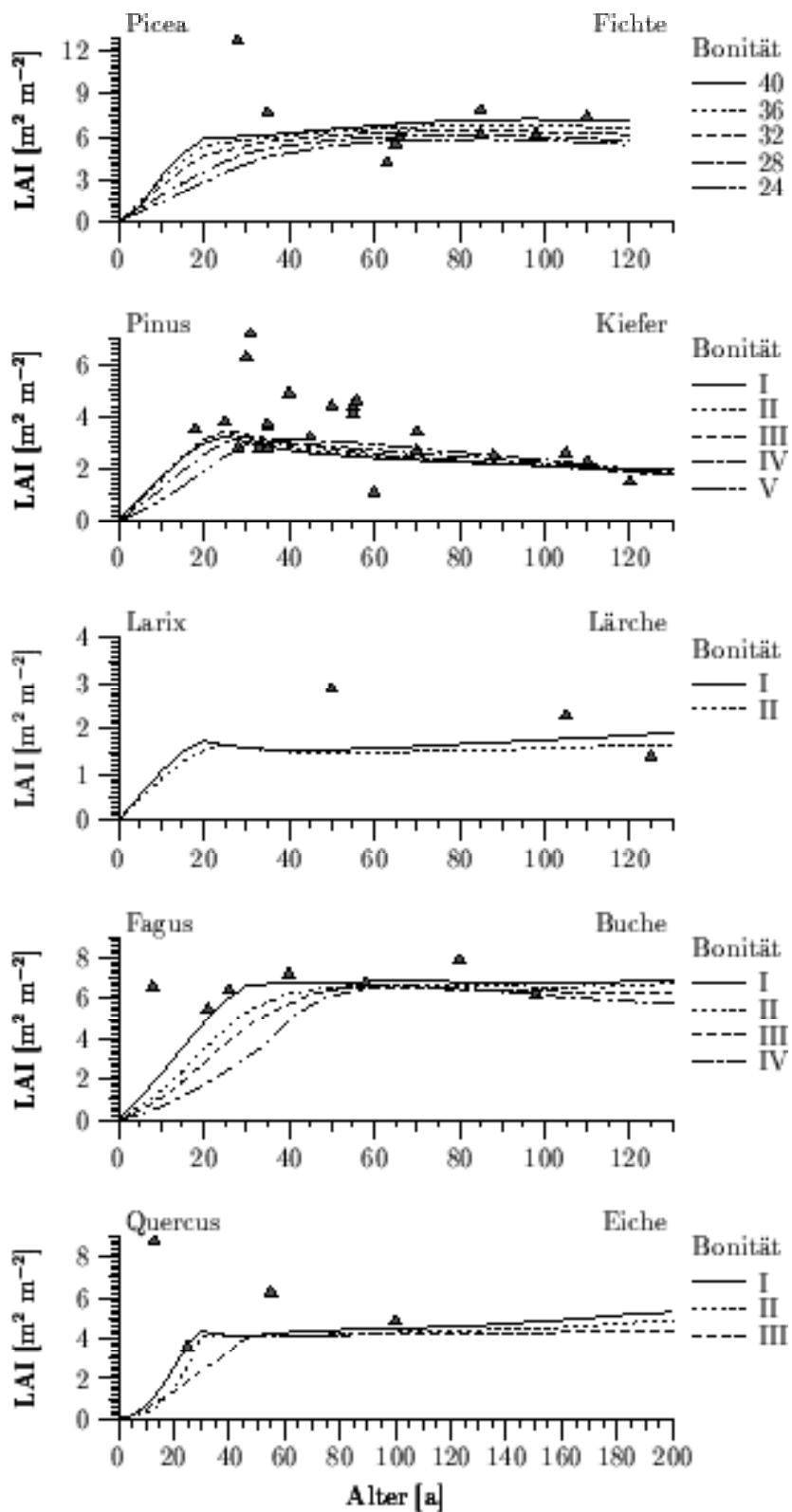


Abb. 1: Schätzung des projizierten Blattflächenindex (LAI) aus Spezies, Bonität und Alter. Die Symbole zeigen Werte aus der Literatur.

Um wieviel besser wird die Schätzung des LAI aus leicht erfassbaren Bestandesparametern, wenn man statt einer allgemeinen Schätzfunktion ein lokale, d.h. vor Ort (typischerweise im Rahmen einer Biomasseerhebung) abgeleitete Beziehung verwendet,  $\text{LAI}_{\text{Lok}} = f N \text{LAI}_{\text{Lok}}$  (BHD)? Um eine erste Antwort auf diese Frage zu erhalten, werden detaillierte Untersuchung an 2 Fichtenstandorten in Bayern (Schwarzmeier et al., 2000) und an 5 Buchenstandorten in den Niederlanden (Bartelink, 1997) betrachtet (Tabelle 1).

Tab. 1: Messung und Abweichung von lokaler und verallgemeinerter Schätzung (Gleichung 1) des Blattflächenindex (LAI) vom Messwert.

| Baumart | Messung | $\text{LAI}_{\text{Bur}} [\%]$ | $\text{LAI}_{\text{Lok}} [\%]$ |
|---------|---------|--------------------------------|--------------------------------|
| Fichte  | 7.1     | -13                            | -6                             |
| Buche   | 6.6     | -16                            | +1                             |

Wie die lokalen Schätzungen mit Abweichungen von maximal 6 % zeigen, ist auf Bestandesebene mit relativ straffen Beziehungen zwischen LA und BHD zu rechnen. Die Bestimmtsheitsmaße liegen im Mittel etwa bei  $r^2 = 0.9$ . Die allgemeine Schätzfunktion LAIBur liegt mit etwa 15 % Abweichung zwar deutlich höher, aber dennoch angesichts der groben Näherung relativ nahe am gemessenen Wert.

### 3.1.2 Fehlerfortpflanzung

Wenn man beispielsweise die Lichtextinktion der Krone betrachtet, die häufig über ein Beer - Lambert'sches Gesetz (abklingende Exponentialfunktion) beschrieben wird, so wird bei  $\text{LAI} = 1$  ein Anteil von 40 % des einfallenden Lichts absorbiert, bei  $\text{LAI} = 2$  sind es bereits 63 %, bei  $\text{LAI} = 4$  sind es 86 % und bei  $\text{LAI} = 8$  sind es 98 % (für einen Extinktionskoeffizient von 0.5). Ein Fehler von 20 % bei  $\text{LAI} = 1$  führt zu einem Fehler bei der Lichtextinktion von 12,5 %, der gleiche Fehler bei  $\text{LAI} = 4$  entsprechend der abnehmenden Sensitivität der Lichtextinktion mit steigendem LAI nur zu einer Abweichung von 6 %.

Tab. 2: Jahreswerte der potenziellen und aktuellen Transpiration,  $T_p$  bzw.  $T$ , der aktuellen Evaporation  $E$  des Interzeptionsverlustes  $I$  und der Gesamtverdunstung ( $T+I+E$ ) für die Standorte WKS Altdorf und Zusmarshausen für normalen und um 20 % erhöhten (+) LAI (alle Angaben außer zu LAI in mm).

| Standort                   | LAI  | $T_p$ | $T$ | $I$ | $E$ | $T+I+E$ |
|----------------------------|------|-------|-----|-----|-----|---------|
| Altdorf                    | 2.7  | 335   | 270 | 99  | 172 | 541     |
| Altdorf <sup>+</sup>       | 3.2  | 376   | 289 | 111 | 147 | 547     |
| Zusmarshausen              | 8.4  | 519   | 436 | 247 | 56  | 739     |
| Zusmarshausen <sup>+</sup> | 10.1 | 542   | 424 | 281 | 51  | 756     |

Da die Lichtextinktion die potenzielle Transpiration bestimmt, sollte der Einfluss von Fehlern bei LAI gedämpft werden, sofern nicht andere Prozesse, die wie die Interzeption von LAI abhängen, zu zusätzlichen Abweichungen führen. Für einen Fichten- und einen Kiefernbestand sind in Tabelle 2 Interzeptionsverlust, aktuelle Evaporation, aktuelle und potenzielle Transpiration für „normalen“

und um 20 % erhöhten LAI dargestellt. Dabei handelt es sich um simulierte, langjährige Mittelwerte für reale Bestände (Hammel und Kennel, 2001) an den bayerischen Waldklimastationen (WKS) Altdorf (Kiefer) und Zusmarshausen (Fichte).

Bei um 20 % höherem LAI in Altdorf erhöht sich die potenzielle Transpiration um 41 mm (12 %) die aktuelle Transpiration infolge von temporärem Wassermangel nur um 19 mm (7 %). Erwartungsgemäß erhöht sich auch der Interzeptionsverlust, hier um 12 mm (12 %). Da weniger Wasser auf den Boden kommt und der Bodenwasservorrat entsprechend stärker für die Transpiration beansprucht wird, sinkt die Evaporation um 25 mm (-15 %), sodass die Gesamtverdunstung fast unverändert bleibt (+1 %).

Etwas anders stellt sich die Situation in Zusmarshausen dar. Zwar erhöht sich die potenzielle Transpiration um 4 %, die aktuelle Transpiration dagegen fällt sogar um 12 mm (-3 %). Der Interzeptionsverlust steigt kräftig um 34 mm (+14 %), die Evaporation sinkt nur um wenige 5 mm (-9 %). In Zusmarshausen fällt zwar etwas mehr Niederschlag als in Altdorf, der Wasserbedarf des Fichtenbestandes ist allerdings auch weit höher. Zusammen mit der hohen Speicherfähigkeit des Bodens führt das dazu, dass fast der gesamte Niederschlag als Verdunstung an die Atmosphäre zurückgeführt wird. Während Interzeptionsverdunstung stattfindet, kann zwar die Transpiration eingeschränkt werden. Dabei geht aber mehr Wasser „unproduktiv“ verloren, als dies bei der Transpiration der Fall gewesen wäre. Dieses Wasser fehlt zu anderen Zeiten. Es kann nicht der Sickerung oder der Evaporation „weggenommen“ werden (wie es in Altdorf der Fall war) und führt deshalb zu verminderter Transpiration. Aufgrund des höheren Interzeptionsverlustes steigt die Gesamtverdunstung leicht an (+2 %).

Insgesamt sind die Fehler wichtiger Wasserhaushaltskomponenten relativ zum Fehler des LAI mehr (Transpiration, Gesamtverdunstung) oder weniger (Interzeptionsverlust, Evaporation) deutlich gedämpft. Wie die Beispiele zeigen, ist die Sensitivität einzelner Wasserhaushaltskomponenten standortspezifisch.

#### **4. Zusammenfassung**

Nützliche Modelle können oft nicht angewendet werden, weil erforderliche Bestandesparameter fehlen. Biomasseerhebungen stellen einen Teil dieser Parameter direkt zur Verfügung oder sie können mit wenig Mehraufwand ermittelt werden.

Es ist nicht realistisch, für jeden zu modellierenden Standort eine direkte Messung aller benötigten Parameter zu erwarten oder zu fordern. Es scheint zweckmäßiger und erfolgversprechender, aus solchen Untersuchungen die Spannweite wichtiger Bestandesparameter abzuschätzen und allometrische Funktionen zur Schätzung dieser Parameter abzuleiten.

Natürlich bedeuten solche „Transferfunktionen“ einen Verlust an Genauigkeit. Am Beispiel Blattflächenindex (LAI) wurde gezeigt, dass bereits grobe Schätzverfahren relativ gute Ergebnisse liefern können. Modellrechnungen zum Wasserhaushalt ergaben, dass dieser sich verhältnismäßig robust gegenüber Fehleinschätzungen des LAI verhält.

Diese Ergebnisse bestätigen, dass zumindest bestimmte allometrische Beziehungen mit Erfolg übertragen werden können. Dies sollte aber für andere Bestandesparameter, allometrische Beziehungen

und Bestände sorgfältig geprüft werden. Hierzu sind sicher noch eine Reihe von gezielten Untersuchungen oder Erhebungen nötig.

## 5. Literaturverzeichnis

- BARTELINK, H. H. 1997. Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L), Annales des Sciences Forestiers, 54, 39-50.
- BAYSTMELF 1981. Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- BURGER, H. 1929-1953. Holz, Blattmenge und Zuwachs: I. Die Weymouthsföhre, II. Die Douglasie, III. Föhren und Fichten Verschiedener Herkunft, IV. 80j. Buchenbestand, V. Föhren und Fichten Verschiedener Herkunft, VI. Ein Plenterwald Mittlerer Standortsgüte, VII. Die Lärche, VIII. Die Eiche, IX. Die Föhre, X. Die Buche, XI. Die Tanne, XII. Fichten im Plenterwald, XIII. Fichten im Gleichaltrigen Hochwald, Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Vers.-Wesen, : I. 1929, 15, 243-292, II. 1936, 19, 21-72, III. 1937, 20, 101-114, IV. 1939, 21, 307-348, V. 1942, 22, 10-62, VI. 1941, 22, 377-445, VII. 1945, 24, 7-103, VIII. 1947, 25, 211-279, IX. 1948, 25, 435-493, X. 1949, 26, 419-468, XI. 1951, 27, 247-286, XII. 1952, 28, 109-156, XIII. 1953, 29, 38-130.
- FEDERER, C. A. 1995. Brook90: A Simulation Model for Evaporation, Soil Water and Stream Flow, Version 3.1. Computer Freeware and Documentation, USDA Forest Service, PO Box 640, Durham NH 03824, USA.
- HAMMEL, K. UND KENNEL, M. 2001. Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90, Band 185, Forstliche Forschungsberichte München, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- MUNSON, R. K., LIU, S., GHERINI, S. A., JOHNSON, D. W., WILKINSON, D. J., HUDSON, R. J. M., WHITE, K. S. AND SUMMERS, K. V. 1992. NuCM Code Version 2.0 - An IBM PC Code for Simulating Nutrient Cycling in Forest Ecosystems, Electrical Power Research Institute, Palo Alto, California, USA.
- SCHWARZMEIER, M., RASPE, S., KENNEL, M., UND DIETRICH, H. P. 2000. Oberirdische Biomasse- und Elementvorräte der Fichtenbestände auf den Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg, Abschlussbericht Projekt ST74. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising

# Biomassen und deren Stoffgehalte – wesentliche Eingangsdaten für die Berechnung von Critical Loads und für die dynamische Modellierung des Stoffhaushalts

Rolf Becker

Angaben zu Biomassen der Baumkompartimente Derbholz, Rinde (am Derbholz), Feinholz, Nadel/Blatt und Wurzel sowie Informationen über deren Gehalte an basischen Kationen (Ca, Mg, K), Stickstoff und Schwermetallen (insbesondere Cd, Pb, Cu, Zn) sind in Verbindung mit Daten zur forstlichen Nutzung wesentliche Eingangsgrößen zur Bestimmung von Critical Loads (zum Konzept der Critical Loads siehe [www.icpmapping.com](http://www.icpmapping.com)) und für dynamische Stoffhaushaltsmodelle, auf ihre Bedeutung soll nachfolgend detaillierter eingegangen werden.

## 1. Critical Loads

Critical Loads sind international definiert als "a quantitative estimate of an exposure to deposition ... below which harmful effects in ecosystem structure and function do not occur according to the present knowledge" (UBA 1996). Die Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff – hier als Beispiel verwendet - lassen sich mittels nachfolgender Gleichung bestimmen:

$$CL_{nut}(N) = N_{u(crit)} + N_{i(crit)} + N_{l(acc)} + N_{de} \quad (1)$$

|               |                                                                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $CL_{nut}(N)$ | - Critical Load für den eutrophierenden Stickstoffeintrag [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]  |
| $N_{u(crit)}$ | - Stickstoffaufnahme durch den Bestand unter Critical Load [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] |
| $N_{i(crit)}$ | - Stickstoffimmobilisierung im Humus unter Critical Load [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]   |
| $N_{l(acc)}$  | - Tolerierbarer Stoffaustrag mit dem Sickerwasser [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]          |
| $N_{de}$      | - Denitrifikationsrate [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]                                     |

Beispielhaft für die Bedeutung von Biomassen und deren Gehalte für die Critical Load-Bestimmung sei die Stickstoffnettoaufnahme des Bestandes an den Level II-Standorten Bayerns in Abbildung 1 angeführt (also die Nährstoffmenge, die durch forstliche Nutzung der Fläche entzogen wird), die maßgeblich die Höhe des Critical Load für eutrophierenden Stickstoff beeinflußt. Sie lässt sich folgendermaßen bestimmen, wobei zu berücksichtigen ist, daß sowohl Elementgehalte wie auch entnommene Holzmengen - in der Gleichung wird die dGZ<sub>100</sub> als Näherung zur genutzten Holzmenge verwendet und eine Stammholzentnahme inklusive Rinde unterstellt - unter Critical Load-Bedingungen einzugeben sind, also unter Bedingungen, bei denen erhöhte N-Gehalte und Entnahmemengen aufgrund erhöhter atmosphärischer N-Einträge nicht berücksichtigt werden.

$$X_u = k_{gr} \cdot \rho_{st} \cdot (ctX_{st} + f \cdot ctX_{ri}) \quad (2)$$

|             |                                                                                                                                       |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $X_u$       | - Netto-Aufnahme für Stoff X durch den Bestand [eq $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]                                                   |
| $k_{gr}$    | - langjähriges Mittel der jährlichen Wachstumsrate des Derbholzes (dGZ <sub>100</sub> ) [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] |
| $\rho_{st}$ | - Holzdichte [ $\text{kg m}^{-3}$ ]                                                                                                   |

- $ctX_{st}$  - Gehalt von Element X im Stammholz [eq kg<sup>-1</sup>]  
 $ctX_{ri}$  - Gehalt von Element X in der Rinde [eq kg<sup>-1</sup>]  
 $f$  - Verhältnis von Rinde zu Stamm [kg kg<sup>-1</sup>]

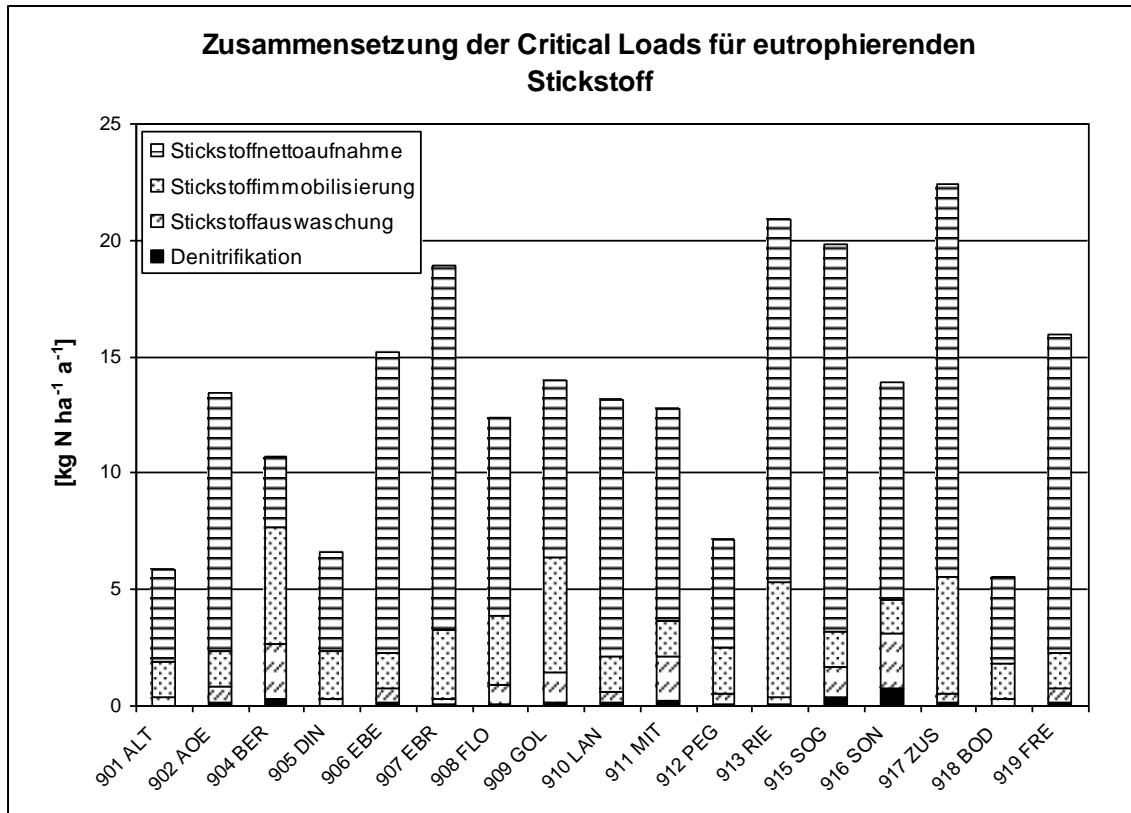


Abb. 1: Zusammensetzung der Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff für die Level II-Standorte Bayerns (BECKER et al. 2000)

Folgende Eingangsdaten (unter Critical Load-Bedingungen) werden zur Bestimmung der Netto-Aufnahmeraten durch den Bestand benötigt:

- jährliche, durchschnittlich über eine Umliebszeit entnommene Biomassen der Baumkompartimente:
  - Derbholz
  - Rinde
  - ?
- Elementgehalte für die Baumkompartimente Derbholz und Rinde:
  - Ca
  - Mg
  - K
  - N
  - Schwermetalle (insbesondere Cd, Pb, Cu, Zn)

## 2. Dynamische Modellierung

Begründet durch den methodischen Ansatz können steady state Modelle zur Bestimmung von Critical Loads keine Aussagen über sich verändernde Umweltbedingungen und ihre Auswirkungen auf die Werte kritischer Belastungsgrenzen und ihrer Überschreitungen geben, da sie kurzfristige Veränderungen der Stoffflüsse wie Ernteentzüge, Kalkungsmaßnahmen oder Stickstoff-immobilisation in der Auflage nur in ihrer langfristigen Wirkung berücksichtigen.

Für das forstliche wie auch das Umwelt-Management (UN/ECE „Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung“ (LRTAP-Convention)) ist aber auch die zeitliche Dynamik von besonderer Bedeutung, um Auswirkungen möglicher Maßnahmen abschätzen zu können. Daher ist die dynamische Modellierung z.B. mit Hilfe des Modells SAFE von besonderer Bedeutung, um die sich ändernden Randbedingungen und systeminternen Rückkopplungen einzubeziehen. Nachfolgende Szenarien sind von besonderem Interesse:

- zukünftige Entwicklung der Depositionen von Schwefel, Stickstoff und Schwermetallen
  - führen vereinbarte Reduktionen der Einträge (z.B. Göteborg-Protokoll) zu einer Regeneration der Standorte (Einhaltung der Critical Limits wie z.B. pH-Wert, Bc-Al-Verhältnis)?
  - welche Standorte regenerieren sich und welche nicht?
  - wie lange dauert die Regeneration?
  - müssen zusätzliche Reduktionen der Emissionen zu den schon vereinbarten Reduktionen international verhandelt werden, um (alle) Standorte bis zu einem definierten Zeitpunkt regenerieren zu lassen?
- welchen Einfluß haben Kalkungsmaßnahmen auf den Stoffhaushalt?
- welchen Einfluß haben forstliche Maßnahmen auf den Stoffhaushalt?
  - kontinuierliche Nutzung oder Kahlschlag?
  - Nutzung des Stammholzes mit oder ohne Rinde?
  - weitere Kompartimente bei entsprechender Nutzung

Wie aus der in Abbildung 2 dargestellten Modellübersicht zu SAFE ersichtlich wird, stellt auch hier die Elementaufnahme durch den Bestand eine wesentliche Größe dar, zumal sie in Interdependenz zur Deposition steht (ALVETEG et al. 2001). Wichtige Eingangsdaten sind Biomasseerhebungen und Elementmessungen.

Das Bestandeswachstum wird im Teilmodell MAKEDEP mittels der Mikaelis-Menten-Funktion bestimmt, wobei Biomasseuntersuchungen zu einem Stichpunkt als Referenzgrößen eingehen:

$$w_i = w_{i,\max} \frac{Y^n}{Y^n + k_i^n} \quad (3)$$

$w_i$  Biomasse des Baumkompartiments i

$w_{i,\max}$  standortspezifische maximale Biomasse des Baumkompartiments i

$k$  Bestandesalter, bei dem das Kompartiment i die halbe maximale Biomasse erreicht

$n$  Ordnungszahl der Mikaelis-Menten-Gleichung

- $Y$  Bestandesalter  
 $i$  Baumkompartiment {Derbholz, Rinde, Feinholz, Nadel / Blatt, Wurzel}

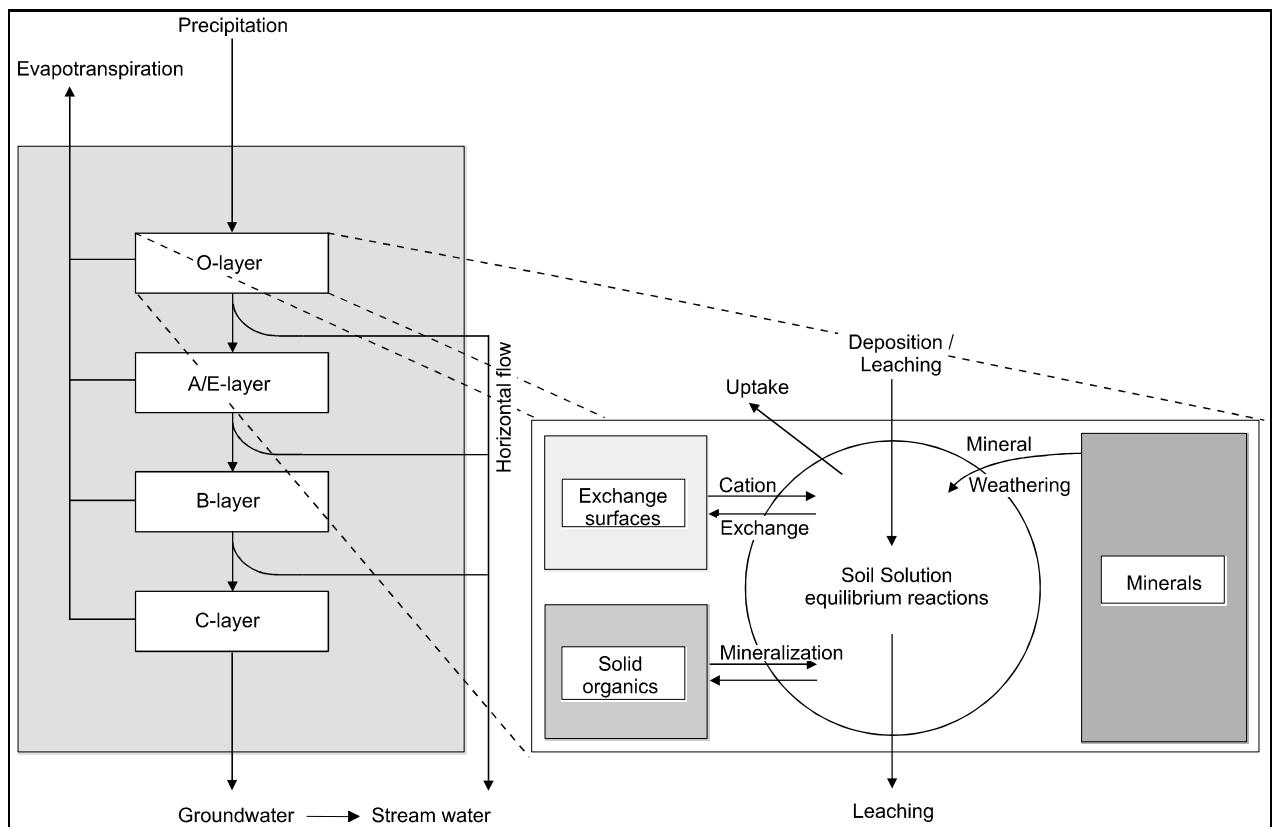


Abb. 2: Modellübersicht zu SAFE (nach SVERDRUP et al.)

Für die dynamische Modellierung mittels SAFE werden bezüglich der Berechnung der Nährstoffaufnahme durch den Bestand nachfolgende Eingangsdaten verwendet:

- Biomassen der Baumkompartimente und DGZ100:
  - Derbholz
  - Rinde
  - Feinholz
  - Nadel / Blatt
  - Wurzel
- minimale und maximale Elementgehalte für die o.g. Baumkompartimente:
  - Ca
  - Mg
  - K
  - N
  - Schwermetalle (insbesondere Cd, Pb, Cu, Zn)
- Nutzung:
  - welche Baumkompartimente
  - in welcher Menge
  - wann genutzt?

### **3. Literatur**

- ALVETEG, M., KURZ, D. und BECKER, R. (2001): Incorporating nutrient content elasticity in the MAKDEP model. In Vorbereitung.
- BECKER, R. (1999): Critical Load-PROFILE 4.2 – Handbuch. Modell und Handbuch: <http://www.ekodata.com>.
- BECKER, R., BLOCK, J., SCHIMMING, C.-G., SPRANGER, T. und WELLBROCK, N.. (2000): Critical Loads für Waldökosysteme – Methoden und Ergebnisse des Level II-Programms. Arbeitskreis A der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Bonn.
- NAGEL, H.-D. und H.-D. GREGOR (Hrsg., 1999): Ökologische Belastungsgrenzen – Critical Loads & Levels. Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik. Springer-Verlag.
- UBA (1996): Manual on methodologies and criteria for mapping Critical Levels & Loads and geographical areas where they are exceeded. UBA-Texte 71/96.

# Von der Baumdimension zur Biomasse und wieder zurück – Ein neuer Ansatz zur dynamischen Modellierung von Baum- und Bestandesbiomassen

Rüdiger Grote

## 1. Zusammenfassung

Biomassen und Nährstoffvorräte von Waldbeständen werden im Allgemeinen mit statistischen Mitteln aus den Durchmessern und den Höhen der Bäume abgeleitet. Zum Erstellen von entsprechenden Beziehungen werden Probebäume gefällt, vermessen und gewogen. Die dabei gefundenen Zusammenhänge sind allerdings stark standortabhängig, wodurch die Übertragbarkeit der aufwendigen und destruktiven Untersuchungen erschwert und ihr Nutzen verringert wird. Dazu kommt, dass die weitaus meisten bisherigen Untersuchungen sich auf Bäume in einfach strukturierten Reinbestände beschränkt haben und daher für Mischbestände, die einen zunehmenden Anteil an unseren Wäldern ausmachen, nur eingeschränkt gültig sind. Als Alternative wird hier ein Schätzverfahren vorschlagen, das die Kronengröße und die Konkurrenzsituation eines Baumes als unabhängige Variable zur Berechnung der Kronenbiomasse verwendet. Dieses Verfahren stützt sich zur Bestimmung des Verhältnisses zwischen Laub- und Astbiomasse auf das Prinzip der Pipe-Model-Theorie. Damit soll einerseits die Biomasseschätzung in stark strukturierten Beständen verlässlicher werden und andererseits die Übertragung auf andere Standortsverhältnisse, die über eine Anpassung des Parameters ‚Splintfläche pro Laubbiomasse‘ erfolgen könnte, erleichtert werden. Dieses neue Verfahren ist Teil eines physiologisch basierten Baumwachstumsmodells, das nicht nur zur Schätzung von Biomasse und Nährstoffgehalten in beliebig strukturierten Rein- und Mischbeständen dient, sondern diese auch dynamisch in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen und anderen Einflussgrößen fortschreibt.

## 2. Einleitung

Die Abschätzung von Gesamtbiomassen und Nährstoffvorräten in Beständen gewinnt heute zunehmend an Bedeutung, da nicht nur die Stammholzproduktion sondern vor allem die Nachhaltigkeit verschiedener Nutzfunktionen des Ökosystems Wald das Ziel des forstlichen Managements darstellt. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es von Interesse z. B. die Nährstoffausträge bei verschiedenen Erntemethoden oder die Aufnahmekapazität der Vegetation für verschiedene Elemente im Rahmen von ‚Critical Loads‘ Studien einschätzen zu können. Dafür allerdings müssen vor allen Dingen die Biomassen der stehenden Bäume bekannt sein.

Bei früheren Untersuchungen hat sich bereits gezeigt, dass die Biomasse eines Bestandes sehr gut mit statistischen Mitteln aus den Durchmessern aller Einzelbäume abzuleiten ist (BURGER 1947, BURGER 1950). Weitere Studien haben allerdings auch bewiesen, dass diese Zusammenhänge sich

selbst für die gleiche Baumart im Reinbestand unterscheiden (z.B. CERNY 1990, DROSTE ZU HÜLSDORFF 1969). Dabei scheinen insbesondere die Anzahl und die Durchmesser-Spannweite der zur Biomassebestimmung ausgewählten Bäume kritische Größen zu sein (GROTE 2001). Darüber hinaus zeigen Untersuchungen, dass die Kronenbiomasse auch durch Standortsbedingungen (ECKMÜLLER und STERBA 2000) und Bestandesbehandlung (BALDWIN JR. et al. 2000) maßgeblich mitbestimmt wird. Das bedeutet, dass die Übertragbarkeit der Beziehungen zwischen Kronenbiomasse und Durchmesser des Stammes von einem Reinbestand auf den anderen tatsächlich nur sehr begrenzt möglich ist. Um so mehr ist die Anwendbarkeit dieser Beziehungen in Mischbeständen zu bezweifeln.

Aus Untersuchungen gleichaltriger Kiefern unterschiedlicher sozialer Stellung lässt sich ablesen, dass verschiedene Kronendimensions-Größen ein allgemeiner verwendbares Maß zur Schätzung der Laub- und Astbiomasse darstellen als der Baumdurchmesser (MÄKELÄ und VANNINEN 1999). Diese Erkenntnis entspricht der physiologisch basierten Theorie, dass die Astbiomasse mit der Transportlänge und der zu versorgenden Laubbiomasse korreliert sein sollte. Versuche, auf der Grundlage dieses Prinzips eine Astbiomasseschätzung aufzubauen, versprechen daher eine Anwendbarkeit unabhängig von der Bestandesdichte und Bestandesstruktur (da diese durch die Berücksichtigung der Kronendimension indirekt in die Schätzung einfließen). Zudem könnte die Standortsvariation durch eine Anpassung von Parametern berücksichtigt werden, die sich weniger aufwendig bestimmen lassen als die Gesamtbiomasse einer ausreichenden Anzahl Bäume. Ansätze dafür, wie eine solche Anwendung zur Bestimmung der Astbiomasse aussehen könnte, finden sich bereits in der Literatur (RAULIER et al. 1998).

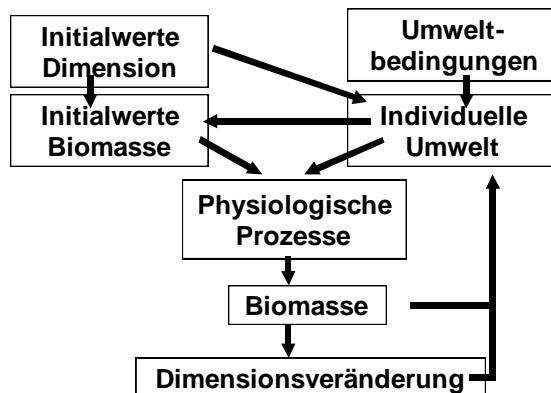


Abb. 1: Ablaufschema des physiologisch basierten Baumwachstumsmodells BALANCE.

Am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU-München ist im Rahmen des Sonderforschungsbereiches (SFB), Wachstum und Parasitenabwehr‘ dieses Prinzip in einem neu entwickelten Baumwachstumsmodell (BALANCE) zur Initialisierung der Kronenbiomasse verwendet worden. Das Modell verwendet Informationen über die Dimension eines Baumes und seine individuelle Umwelt zur Schätzung von verschiedenen Biomasse-Kompartimenten (z. B. Äste, Feinreisig, Laub). Darüber hinaus simuliert es die Biomasse-Entwicklung und aktualisiert dann die Baumdimensionen (Stammhöhe und –durchmesser, Kronenausdehnung in verschiedenen Höhen) im Jahrestakt. Dabei

werden die gleichen Regeln in inverser Reihenfolge angewendet, die vorher zur Schätzung der Biomasse aus der Dimension gedient haben (Abbildung 1).

### 3. Modellbeschreibung

Zunächst wird die äußere Kronenform aus der Kronenlänge ( $lcr$ ), dem Kronenansatz ( $hcr$ ) und den (gemessenen) maximalen Kronenradien ( $r_{max}$ ) artspezifisch geschätzt. Dabei wird der Radius der Krone in verschiedenen Höhen ( $h$ ) in Abhängigkeit zum Parameter  $pform$  nach Gleichung 1 bestimmt (siehe auch Abbildung 2).

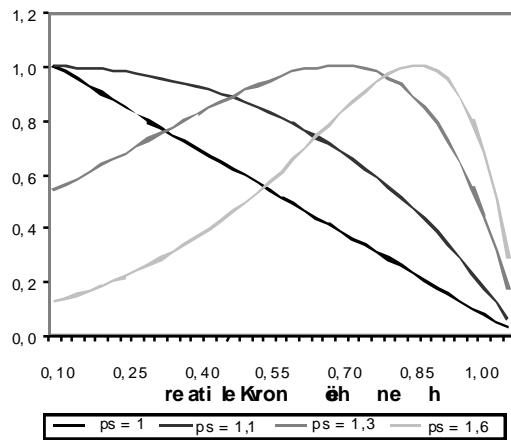


Abb. 2: Abhängigkeit der Kronenform von Parameter  $ps$  (siehe Gleichung 1, Kronenlänge ist 10 m).

Die Radien werden alle 0.5 m entlang der Krone und für jede Richtung  $k$  berechnet, in der ein maximaler Kronenradius gemessen wurde. Die Fläche zwischen zwei Radien ( $F_{hk}$ ) wird mit Hilfe einer Ellipsenfunktion berechnet (RÖHLE und HUBER 1985). Daraus ergibt sich eine Zusammensetzung der Krone aus Sektoren mit der Fläche  $F_{hk}$ , der Höhe 0.5 und dem Volumen  $V_{hk}$ .

$$r_h = r_{max} \cdot \frac{relH \cdot f_h}{\max(relH \cdot f_h)} \quad \text{Gl. 1a}$$

$$relH = \frac{lcr - (h - hcr)}{lcr} \quad \text{Gl. 1b}$$

$$f_h = pform^{\left(100 \cdot \frac{h-hcr}{lcr^2}\right)} \quad \text{Gl. 1c}$$

- $r_h$ : Radienlänge in Höhe  $h$   
 $relH$ : relative Kronenhöhe

Für die Verteilung der Biomasse innerhalb dieses Kronenvolumens ist es notwendig, die belaubten von den unbelaubten Kronenregionen zu unterscheiden und die Laubbiomasse pro Einheit belaubten Volumen zu bestimmen. Beides geschieht in Abhängigkeit von der Konkurrenzsituation jedes

einzelnen Kronensegmentes, die durch die Summe des Volumens aller beschattenden Kronensegmente (+ das halbe eigene Volumen) ausgedrückt wird. Ein Kronensegment wird dabei als beschattend eingestuft wenn sein Mittelpunkt in einen Konkurrenzkegels fällt, der über dem Mittelpunkt des einzuschätzenden Kronensegmentes aufgespannt wird (siehe Abbildung 3).

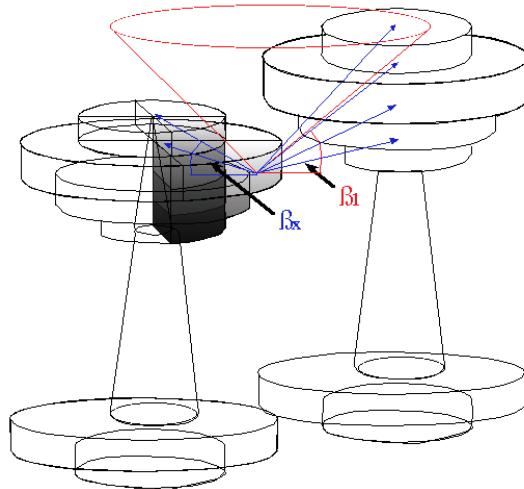


Abb. 3: Illustration zur Berechnung des Konkurrenzfaktors in jedem einzelnen Kronensegment. Der Konkurrenzfaktor bestimmt sich aus der Summe der Volumen aller Kronensegmente innerhalb des Konkurrenzkegels, der durch den Winkel  $\beta_1$  aufgespannt wird.

Mit Hilfe des so gebildeten Konkurrenzfaktors ( $CF_{hk}$ ) wird zum einen der belaubte Anteil eines Kronensegmentes und zum anderen die Biomassedichte innerhalb dieses belaubten Volumens bestimmt. Der belaubte Anteil ergibt sich aus der belaubten Länge der jeweiligen Segmentradien ( $rg_{hk}$ , Gleichung 2) und  $V_{hk}$ . Die Biomassedichte wird als Produkt der spezifischen Blattfläche und der Blattflächendichte angesehen. Dabei wird der Einfachheit halber hier nur die spezifische Blattfläche variiert ( $SLA_{hk}$ , Gleichung 3) und die Blattflächendichte als konstant angenommen. Damit kann die Laubbiomasse für jedes Kronensegment als Produkt von Volumen, Blattflächendichte und spezifischer Blattfläche berechnet werden.

$$rg_{hk} = \min \left[ r_{hk}, \frac{rg_{\max}}{(CF_{hk} + 1)^{0.3}} \right] \quad \text{Gl. 2}$$

$$SLA_{hk} = SLA_{\max} - f_{hk} \cdot (SLA_{\max} - SLA_{\min}) \quad \text{Gl. 3a}$$

$$f_{hk} = \exp [psla \cdot (CF_{hk} + 1)] \quad \text{Gl. 3b}$$

$rg_{\max}$ : maximale belaubte Radienlänge

$SLA_{\max}$ : maximale spezifische Blattfläche

$SLA_{\min}$ : minimale spezifische Blattfläche

$psla$ : Parameter

Die Astbiomasse ergibt sich in Abhängigkeit zur Laubbiomasse und zur Entfernung, die zwischen Stamm und belaubten Volumen zurückgelegt werden muss. Dazu wird das Astkompartiment in zwei Teilkompartimente aufgeteilt, von denen das erste zur Versorgung der Blätter innerhalb des belaubten Volumens bestimmt und daher linear mit der Blattbiomasse korreliert ist (Feinreisig). Das zweite Kompartiment sind die Äste die den Transport in den belaubten Bereich hinein gewährleisten (Grobreisig). Die Splintfläche des Grobreisig ist proportional zur Laubbiomasse des jeweiligen Segmentes. Ihre Länge  $lbra$  berechnet sich aus Segmentradius  $rt$  und Astwinkel  $\alpha$  (Gleichung 4). Zur einfacheren Parameterisierung wird  $\alpha$  und die Zunahme des Astradius mit der Länge ( $pstab$ ) als konstant angesehen.

$$Bbra = ptwg \cdot Bfol + lbra \cdot (rb^2 + rb \cdot rt + rt^2) \cdot \delta$$

Gl. 4a

$$lbra = \frac{r - 0.5 \cdot rg}{\sin \alpha}$$

Gl. 4b

$$rt = \sqrt{\frac{Bfol \cdot psap}{pi}}$$

Gl. 4c

$$rb = rt + lbra \cdot pstab$$

Gl. 4d

$Bbra$ : Astbiomasse pro Segment

$Bfol$ : Laubbiomasse pro Segment

$ptwg$ : Feinreisigbiomasse pro Laubbiomasse

$psap$ : Splintfläche pro Laubbiomasse

$rb$ : Radius an der Astbasis

$rt$ : Radius an der Astspitze

$\delta$ : Holzdichte (Trockengewicht pro Frischvolumen)

$\alpha$ : Astwinkel (im Bogenmaß)

#### 4. Evaluierung

Für eine erste Evaluierung des vorgestellten Schätzverfahrens wurden in den Jahren 1999 und 2000 insgesamt 6 Buchen und 6 Fichten eines Mischbestandes im Kranzberger Forst bei Freising, Bayern, gefällt oder umgezogen und die Laub- und Astbiomasse analysiert. Der Bestand ist Teil einer Wuchsreihe mit Mischbeständen unterschiedlichen Alters und wurde unter der Bezeichnung 813/1 von Pretzsch et al. (1998) bereits näher beschrieben. Hier werden daher lediglich einige Bestandesgrößen in aktualisierter Form angegeben (Tabelle 1). Die Probebäume wurden nicht direkt auf der Versuchsfläche sondern im angrenzenden Bereich entnommen. Vorher wurden die Position und die Dimensionen der nächsten Nachbarn am stehenden Stamm aufgenommen. An jedem Baum wurden alle Äste hinsichtlich Ansatzwinkel, Durchmesser am Ast- und Laubansatz, Länge und durch-

schnittliche unbelaubte Astlänge vermessen. Anschließend wurde eine Anzahl Probeäste (Fichte einen Ast aus jedem 2ten Quirl, Buche jeden 2-4 Ast entlang der Hauptachse) ausgewählt und die Biomasse dieser Äste getrennt nach Laub, Fein- und Grobreisig vollständig geerntet, getrocknet und gewogen. Die Hochrechnung von den Probeästen auf den Gesamtbaum erfolgte anhand der aufgenommenen Dimensionsdaten (GROTE 2001).

Tab. 1: Charakteristik der Versuchsfläche Freising 813/I im Jahr 1999.

|                                        | Fichte | Buche |
|----------------------------------------|--------|-------|
| Alter                                  | 49     | 56    |
| Stammvolumen ( $m^3 ha^{-1}$ )         | 412    | 161   |
| durchschnittlicher BHD (cm)            | 28,4   | 23,5  |
| Oberhöhe (m)                           | 27,9   | 25,1  |
| Anzahl lebender Stämme ( $N ha^{-1}$ ) | 529    | 279   |

Die Auswertungen der Probeäste erbrachten die erforderlichen Informationen über die Kronenform, den Astwinkel, das Verhältnis zwischen Nadel- bzw. Laubbiomasse und der Splintfläche (Abbildung 4) sowie das Verhältnis zwischen Nadel- bzw. Laub und Feinreisig (Abbildung 5).

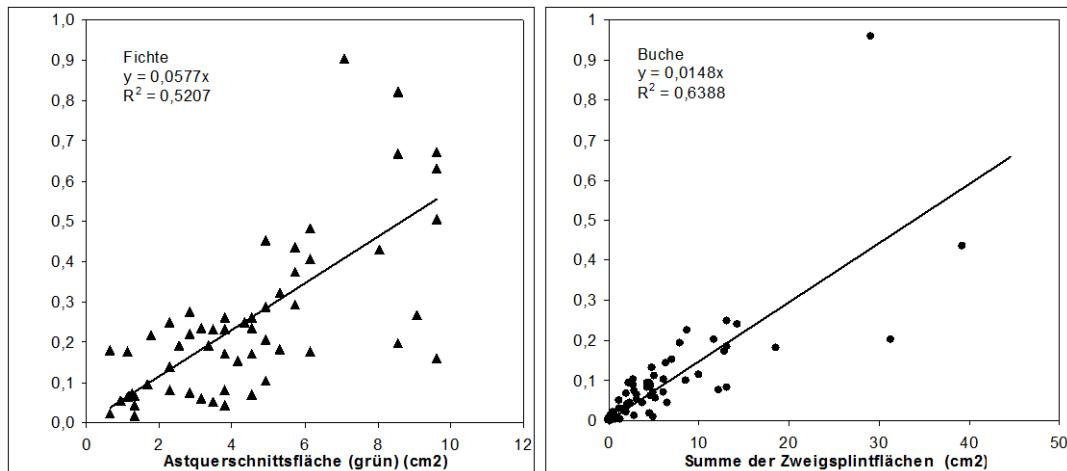


Abb. 4: Nadel- bzw. Laubbiomasse pro Astquerschnittsfläche unterhalb der ersten Belaubung (bei Buchen wurden alle Aufzweigungen des Feinreisig einzeln bewertet und dann nach Primärästen zusammengefasst).

Dabei wurde die Querschnittsfläche des Feinreisig mit Rinde unterhalb der Laubansatzgrenze mit der Splintfläche gleichgesetzt. Als maximaler belaubter Radius wurde die mit dem entsprechenden Astwinkel berechnete projizierte Strecke der größten belaubten Astlänge eingesetzt, die an den Probabäumen gefunden wurde. Bezuglich der spezifischen Laubflächen wurde Gleichung 3 an Werte aus der Literatur angepasst (BARTELINK 1998, PERTERER und KÖRNER 1990) und nach vorläufigen Ergebnissen noch laufender Untersuchungen leicht modifiziert (Reiter, pers. Mitteilungen). Diese Annahmen sorgen zusammen mit der unterschiedlichen Kronenform und der daraus sich er-

gebenen unterschiedlichen Konkurrenzsituation einzelner Kronenteile für deutliche Unterschiede in der Entwicklung der spezifischen Blattfläche mit der Höhe (Abbildung 6).

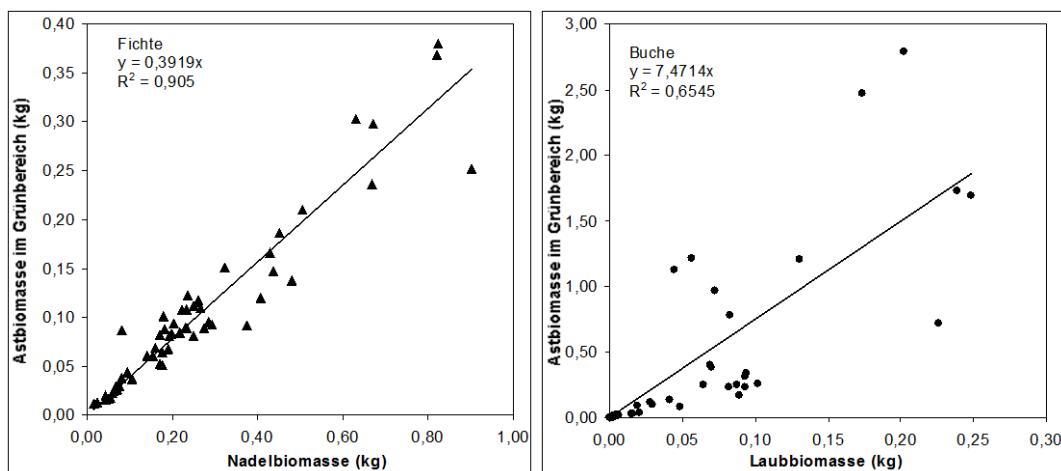


Abb. 5: Feinreisigbiomasse pro Laubbiomasse für jeden Primärast (bei Buchen nur von 2 Probeäumen).

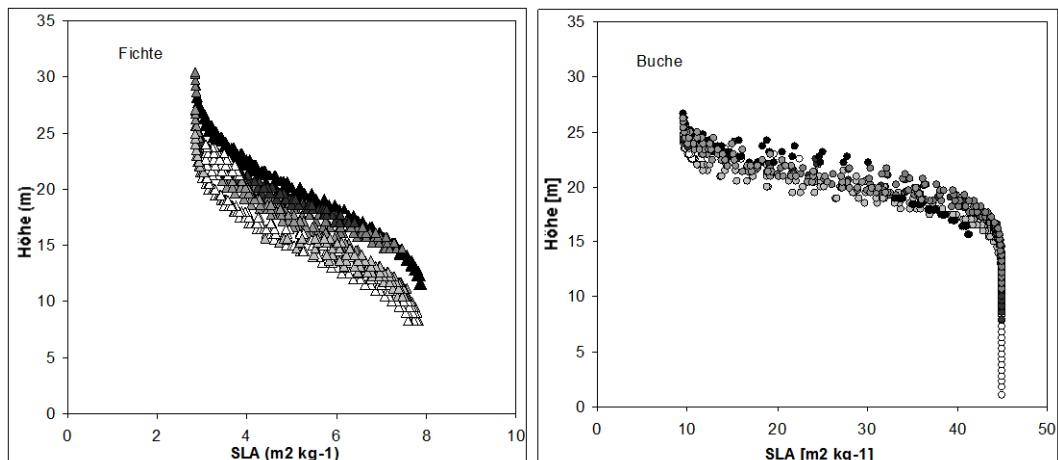


Abb. 6: Nach Gleichung 3 simulierte Entwicklung der spezifischen Blattfläche für 6 Fichten (links) und 6 Buchen (rechts), abgetragen in Relation zur absoluten Höhe.

Auch die Werte für die Holzdichte wurden aus Literaturangaben für Darrdichte und Schwindungsprozent berechnet (GROSSER 1985/1991). Abschließend wurden die Blattflächendichte bzw. der Parameter für die Astform-Modifikation so angepasst, dass die Regressionsgerade zwischen simulierten und aus Messwerten hochgerechneten Biomassen auf Baumebene durch den Nullpunkt verläuft und eine Steigung von 1 annimmt (Abbildung 7 und 8). Die verwendeten Parameterwerte sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

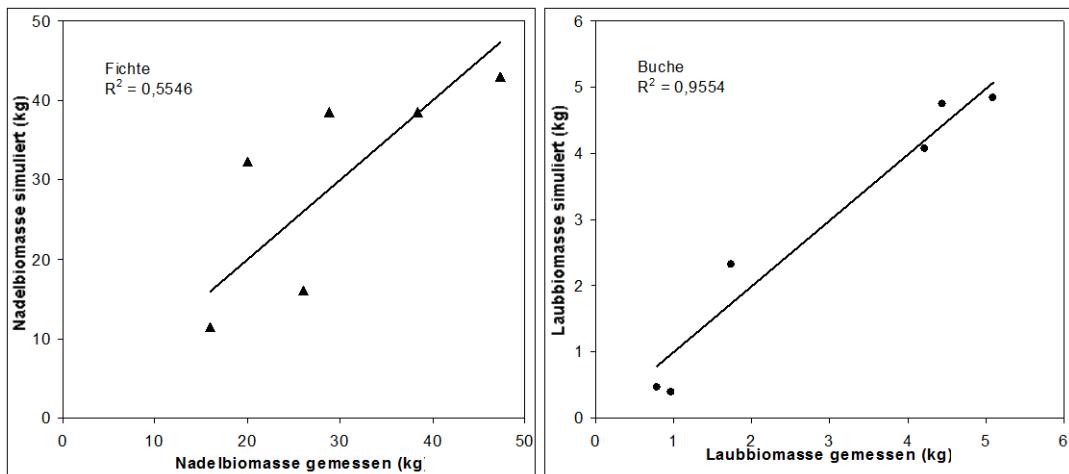


Abb. 7: Simulierte gegenüber auf der Basis von Messungen ermittelte Laub-Biomassen für 6 Fichten (links) und 6 Buchen (rechts).

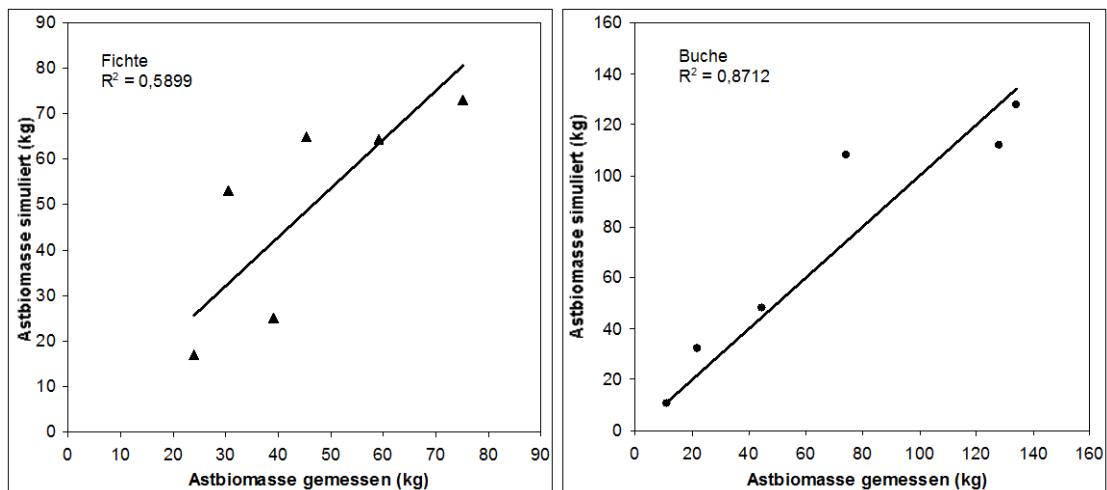


Abb. 8: Simulierte gegenüber auf der Basis von Messungen ermittelte Gesamt-Astbiomassen für 6 Fichten (links) und 6 Buchen (rechts).

## 5. Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass trotz der zum Teil sehr vereinfachenden Annahmen mit der vorgestellten Methodik hohe Bestimmtheitsmaße bei der Schätzung von Ast- und Laubbiomasse erreicht werden können. Das Verfahren lässt sich für Buchen und Fichten gleichermaßen anwenden, wobei sich zumindest über das untersuchte Dimensionsspektrum hinweg kein Unterschied in der Schätzgüte zwischen unterständigen und vorherrschenden oder zwischen Rand- und Zentralbäumen ergibt.

Die Ergebnisse präsentieren sich überraschenderweise für die Buchen besser als für die Fichten, obwohl die Buchen zum Teil sehr asymmetrische Kronenformen aufwiesen. Dies liegt möglicherweise daran, dass die Annahme einer konstanten Blattflächendichte insbesondere für die Fichte, die eine geringere Variation der spezifischen Blattfläche zeigt, nicht zutreffend ist (HENDRICH 2000). Es sollte aber berücksichtigt werden, dass die Stichprobe von nur 6 Bäumen pro Art noch keine

endgültigen Aussagen über das Modellverhalten zuläßt, weshalb die Ergebnisse weiterer Evaluierungen für eine endgültige Bewertung abzuwarten bleiben. Diese Untersuchungen werden sich zunächst auf die anderen Fichten-Buchen Mischbestandsflächen des eingangs erwähnten SFB konzentrieren. Daneben ist aber auch die Nutzung von evtl. bereits vorhandenen Untersuchungsergebnissen aus Reinbeständen von Fichte, Buche oder anderen Baumarten von großem Interesse.

Tab. 2: Verwendete Parameter.

| <b>Abkürzung</b> | <b>Beschreibung</b>                                              | <b>Fichte</b> | <b>Buche</b> | <b>Anmerk.</b> |
|------------------|------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| -                | Blattflächendichte ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-3}$ )               | 1,75          | 0,74         | **             |
| $\alpha$         | durchschnittlicher Astwinkel (Grad)                              | 90            | 30           | *              |
| $\delta$         | Holzdichte ( $\text{kg m}^{-3}$ )                                | 380           | 560          | ****           |
| pstab            | Zunahme des Astradius ( $\text{mm m}^{-1}$ )                     | 1             | 0,5          | **             |
| pform            | durchschnittlicher Kronenformfaktor                              | 1,2           | 2,0          | *              |
| psla             | Empfindlichkeit der SLA auf Konkurrenz                           | 0,01          | 0,015        | **             |
| rgmax            | maximale belaubter Kronenradius (m)                              | 1,5           | 2,5          | *              |
| ptwg             | Feinreisbiomasse pro Laubbiomasse ( $\text{kg kg}^{-1}$ )        | 0,39          | 7,47         | *              |
| psap             | Laubbiomasse pro Splintfläche ( $\text{g cm}^{-2}$ )             | 58            | 15           | *              |
| slamax           | maximale spezifische Laubfläche ( $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) | 8             | 45           | ***            |
| slamin           | minimale spezifische Laubfläche ( $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) | 2,5           | 9            | ***            |

\* aus den beschriebenen Probebaum-Untersuchungen bestimmt

\*\* aus den beschriebenen Probebaum-Untersuchungen geschätzt

\*\*\* (PERTERER und KÖRNER 1990) (Fichte), (BARTELINK 1998) (Buche Minimum), Reiter pers. Mitt.

\*\*\*\* (GROSSER 1985/1991)

Durch die feste Einbettung des vorgestellten Verfahrens in ein dynamisches Modell besteht nicht nur die Möglichkeit, gegenwärtige Biomassen unter vielfältigen Bestandesverhältnissen zuverlässig einzuschätzen, sondern auch in die Zukunft zu extrapolieren. Dabei können, entsprechend der Sensitivität des Modells, sich verändernde Umwelt- und Managementverhältnisse berücksichtigt werden. Wichtige Fragestellungen in diesem Bereich betreffen z. B. die Auswirkungen von Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Luft oder eine Konzentration der Durchforstung auf wenige mit-herrschende Bäume. Die Kopplung mit Nährstoffkreisläufen ist im Rahmen des Modells leicht möglich, indem die Biomassen mit Nährstoffkonzentrationen verknüpft werden, die ebenfalls umweltabhängig dynamisiert werden können. Damit bietet sich der Ansatz für die Berechnung von Nährstoffentzügen mit wechselnden Szenarien von Nährstoffeinträgen oder Ernteentzügen (z. B. Ganzbaumnutzung gegenüber Stammholzernte ohne Rente) an.

## 6. Danksagung

Die Entwicklung wurde im Rahmen des SFB607 unter dem Teilprojekt ‚Modellierung von Ökosystemen‘ durchgeführt und von der DFG finanziert. Die Betreuung des Projektes oblag Prof. Dr. Pretzsch und die Zusammenarbeit mit anderen Gruppen wurde durch den Sprecher des SFB, Herrn Prof. Dr. Matyssek gefördert. Mein Dank gilt allen Mitarbeitern, die die Biomasseaufnahmen tatkräftig unterstützt haben, insbesondere Herrn Thomas Seifert, der die Dimensionsaufnahmen an den Fichten organisiert und durchgeführt hat. Ferner danke ich Herrn Ilja Reiter vom Lehrstuhl für Forstbotanik für die noch nicht veröffentlichten Informationen, die die Entwicklung der Blattflächenfunktion vorangebracht haben.

## 7. Literatur

- BALDWIN JR. VC, PETERSON KD, CLARK III A, FERGUSON RB, STRUB MR, BOWER DR (2000): The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year old Loblolly Pine. *Forest Ecology and Management* 137: 91-102.
- BARTELINK HH (1998): Radiation interception by forest trees: a simulation study on effects of stand density and foliage clustering on absorption and transmission. *Ecological Modelling* 105: 213-225.
- BURGER H (1947): Holz, Blattmenge und Zuwachs - Die Eiche. In: Burger, H (Hrsg.), *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen*. Kommissionsverlag von Beer & CIE, Zürich, pp. 211-279.
- BURGER H (1950): Holz, Blattmenge und Zuwachs - Die Buche. In: Burger, H (Hrsg.), *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen*. Kommissionsverlag von Beer & CIE, Zürich, pp. 419-468.
- CERNY M (1990): Biomass of *Picea abies* (L.) Karst. in Midwestern Bohemia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 83-95.
- DROSTE ZU HÜLSHOFF BV (1969): Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes auf Grund einer Dimensionsanalyse an oberirdischen Baumorganen. Dissertation, Ludwig-Maximilian-Universität, München, 209 pp.
- ECKMÜLLER O, STERBA H (2000): Crown condition, needle mass, and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research* 30(10): 1646-1654.
- GROSSER D (1985/1991): Einheimische Nutzhölzer. Centrale Marketinggesellschaft d. deutschen Agrarwirtschaft mbH, AG Holz e.V., Bonn - Düsseldorf.
- GROTE R (2001): Foliage and branch biomass estimation of coniferous and deciduous tree species. *Silva Fennica* submitted.
- HENDRICH C (2000): Ein kybernetisches Licht-Biomasse-Modell für Fichten-Buchen-Mischbestände. Dissertation, TU-München, München, 188 pp.
- MÄKELÄ A, VANNINEN P (1999): Impacts of size and competition on tree form and distribution of aboveground biomass in Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 28(2): 216-227.
- PERTERER J, KÖRNER C (1990): Das Problem der Bezuggröße bei physiologisch-ökologischen Untersuchungen an Koniferennadeln. *Forstw. Cbl.* 109: 220-241.
- PRETZSCH H, KAHN M, GROTE R (1998): Die Fichten-Buchen-Mischbestände des Sonderforschungsbereiches "Wachstum oder Parasitenabwehr?" im Kranzberger Forst. *Forstw. Cbl.* 117: 241-257.
- RAULIER F, UNG C-H, BEGIN J (1998): Analytical estimation of branchwood volume in sugar maple, linked to branchiness. *Trees* 12: 395-405.
- RÖHLE H, HUBER W (1985): Untersuchungen zur Methode der Abholzung von Kronenradien und der Berechnung von Kronengrundflächen. *Forstarchiv* 56: 238-243.

# **Zuwachsveränderungen: Vergleich von Resultaten des Schweizerischen Landesforstinventars mit Ertragstafeln aus den 60er Jahren**

**Edgar Kaufmann**

## **1. Einleitung**

Das Schweizerische Landesforstinventar (LFI) erhebt periodisch auf einem systematischen Probeflächennetz, das sich über das ganze Land erstreckt, repräsentative Daten über Zustand und Veränderungen des Waldes. Kenngrössen wie Holzvorrat, Nutzung und Zuwachs, die für eine nachhaltige Holzproduktion von Bedeutung sind, spielen darin eine wichtige Rolle.

Nachdem in der ersten Erhebung (1983-85) der Schwerpunkt im Zusammenhang mit der Holzproduktion auf der Ermittlung des Holzvorrates lag und in der zweiten Erhebung (1993-95) die Schätzungen von Nutzung und Zuwachs im Vordergrund standen, werden in der dritten Erhebung (geplant 2004-06) vor allem Zuwachsveränderungen von Interesse sein. Neben dem Altersaufbau des Waldes und Bestandesstrukturen, die mit der Waldbewirtschaftung beeinflusst werden, fallen zunehmend sich verändernde Standortsfaktoren, die verursacht sein können durch einen erhöhten Stickstoffeintrag, den kontinuierlich ansteigenden CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre oder durch klimatische Veränderungen, als Einflussfaktoren für den Zuwachs ins Gewicht. Die Quantifizierung dieser Faktoren ist einerseits eine Voraussetzung für zuverlässige Zuwachsschätzungen in den Holzaufkommens-Prognosen des LFI, andererseits ist die Untersuchung ursächlicher Zusammenhänge notwendig für die Erklärung allfälliger festgestellter Zuwachsveränderungen nach Abschluss des dritten Inventurdurchgangs.

Ein erster Ansatzpunkt für eine Analyse des im LFI geschätzten Zuwachses ist ein Vergleich mit Ertragstafelwerten. Es zeigen sich dabei Unterschiede. Mögliche Gründe dafür werden mit Hilfe von Daten aus ertragskundlichen Versuchsflächen aufgezeigt. Die Indizien, dass sich das Waldwachstum in den letzten Jahrzehnten unabhängig von Einflüssen des Waldaufbaus verändert hat, stehen im Vordergrund.

## **2. Daten**

Die hier dargestellten Untersuchungen basieren auf Daten des LFI und auf ertragskundlichen Versuchsflächen der WSL. Die LFI-Probeflächen bestehen aus zwei konzentrischen Kreisen von 2 a, bzw. 5 a Fläche. Auf dem innern Kreis wurden alle Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser BHD  $\geq 12$  cm erfasst, auf dem äussern alle Bäume mit BHD > 35 cm. Durchschnittlich stehen 13 Bäume auf einer Probefläche.

Für die vorliegende Untersuchung wurden Probeflächen in Reinbeständen des gleichförmigen Hochwaldes ausgewählt, welche zu beiden Inventurzeitpunkten (1983-85 und 1993-95) erhoben wurden. Auswahlkriterien waren die Beurteilung der Waldstruktur durch die Aufnahmegruppen und

der vorhandene Basalflächenanteil ( $\Sigma BHD_{Art}^2 / \Sigma BHD_{total}^2 > 0.75$ ) der gesuchten Baumart auf der Probefläche. Es standen damit 1620 Fichten-, 188 Tannen- und 422 Buchen-Probeflächen zur Verfügung.

Die verwendeten ertragskundlichen Daten stammen zum einen aus drei reinen Fichtenflächen auf mässigen Standorten (GWL 2000-2500, siehe 3.1.) in den Alpen auf ca. 1600 m ü. M. mit einer durchschn. Fläche von 0.5 ha und sieben reinen Buchenflächen auf sehr guten Standorten (GWL > 4500) im Mittelland auf 500-600 m ü. M., mit einer durchschn. Fläche von 0.25 ha. Zum andern wurden für den Nachweis eines Zuwachsanstieges, der vom Alterstrend unabhängig ist, die BHD-Messungen aus 14 ertragskundlichen Versuchsflächen im gleichförmigen Hochwald verwendet, von denen langjährige Messreihen existieren.

### 3. Methoden

#### 3.1 Schätzung von Bestandes-Kennzahlen für den Vergleich mit Ertragstafeln

Der im LFI geschätzte Zuwachs wurde mit den Ertragstafeln der EAFV (1968) verglichen. Diese benötigen als Eingangsgrössen die Oberhöhenbonität ( $h_{dom}$  im Alter 50 Jahre,  $h_{dom}$ : mittl. Höhe der 100 stärksten Bäume pro ha) und das Bestandesalter, Zielgrösse ist das Derbholzvolumen, bzw. der Derbholzzuwachs, in Rinde. Im LFI werden diese Grössen mittels allometrischer Beziehungen geschätzt. Die mit einer Funktion geschätzten Größen werden im Folgenden mit " $\wedge$ " gekennzeichnet (z.B. GWL $\wedge$  für geschätzte GWL)

##### Oberhöhenbonität

Im LFI wird die Standortgüte mit der Gesamtwuchsleistung (GWL) ausgedrückt. Die GWL ist das jährliche Ertragsvermögen eines Standortes in kg Trockensubstanz.

Grundlage für die Schätzung der GWL bildete ein ertragskundlicher Bonitätsschlüssel von Keller (1978). Die Oberhöhenbonität kann mit Hilfe einer einfachen Beziehung in Abhängigkeit der GWL geschätzt werden (LISCHKE UND BRASSEL, 2002):

$$GWL^\wedge = f(\text{geologischer Untergrund, Region, Neigung, Relief, Höhe ü. M.})$$

$$\text{Oberhöhenbonität } B^\wedge = f(GWL^\wedge, \text{Baumart, Vegetationshöhenstufe})$$

##### Bestandesalter

Grundlagendaten für die Schätzung des Bestandesalters bildeten Jahrringzählungen der Aufnahmegruppen an Baumstöcken mit frischer Schnittfläche. Solche Stöcke waren nur auf einem Teil der Probeflächen zu finden. Deshalb musste für das Bestandesalter eine Schätzfunktion hergeleitet werden:

$$A^\wedge = f(d_{dom}, GWL^\wedge, \text{aktueller Zuwachs des Bestandes, Kreisflächen-Mittelstamm})$$

$d_{dom}$ : mittl. BHD der 100 stärksten Bäume pro ha

*Kreisflächenmittelstamm*: BHD, der der durchschn. Basalfläche pro ha entspricht.

## Derbholzvolumen

Volumen-, Schaftform- und Astderbholzfunktionen wurden mit Messdaten von sektionsweise vermessenen Probebäumen hergeleitet. Diese Bäume stammten aus ertragskundlichen Versuchsflächen:

|                                |                                                                                                                                        |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| geschätztes Schaftholzvolumen  | $V^{\wedge}: V^{\wedge} = f(BHD, d_7, h)$                                                                                              |
| geschätzte Schaftkurve         | $S^{\wedge}: S^{\wedge} = f(BHD, d_7, h)$                                                                                              |
| geschätzter Astderbholz-Anteil | $D^{\wedge}: \text{logit}(D^{\wedge}) = \ln(D^{\wedge}/(1-D^{\wedge}))$<br>$= f(BHD, \text{Baumart}, \text{Region}, \text{Höhe ü.M.})$ |

Im LFI wurde lediglich an einer Unterstichprobe von Probebäumen (ca. 18% aller Probebäume) der Durchmesser  $d_7$  in 7m Höhe und die Baumhöhe  $h$  gemessen. Diese so genannten Tarifprobebäume dienten zur Herleitung von Tarifen  $TV^{\wedge}$  für das Schaftholzvolumen  $V^{\wedge}$ ,  $d_7^{\wedge}$  für den Durchmesser  $d_7$  und  $h^{\wedge}$  für die Höhe  $h$ . Die geschätzten  $d_7^{\wedge}$  und  $h^{\wedge}$  sind Eingangsgrößen für die Schaftkurvenfunktionen. Die Schaftkurvenfunktionen werden benötigt zur Schätzung des Derbholzvolumens:

$$\text{Tarife: } (TV^{\wedge}, d_7^{\wedge}, h^{\wedge}) = f(BHD, GWL^{\wedge}, d_{\text{dom}}, \text{Verzwieselung}, \text{Höhe ü. M.}, \\ \text{Schichtzugehörigkeit eines Baumes})$$

Die Schaftkurve für alle Probebäume wird in Abhängigkeit der ebenfalls mit einer Funktion geschätzten Größen  $d_7^{\wedge}$  und  $h^{\wedge}$  gerechnet:

$$S^{\wedge\wedge} = f(BHD, d_7^{\wedge}, h^{\wedge})$$

$\wedge\wedge$ : Schätzgröße, die Eingangsgrößen enthält, welche mit einer Funktion geschätzt wurden.

### 3.2. Erklärung von Unterschieden zwischen LFI- und Ertragstafel-Zuwachs

Anhand der ausgewählten Fichten- und Buchen-Reinbestände (siehe 2.) wurde die Entwicklung des Zuwachses nach Alters- und BHD-Klassen, die Veränderung von Durchmesserverteilungen (Weibull-Verteilungen) und die Verteilung der Zuwachsleistung auf Durchmesserklassen in verschiedenen Jahrzehnten untersucht.

Ob auf den 14 untersuchten ertragskundlichen Versuchsflächen im gleichförmigen Hochwald nach der Elimination des Bestandesalters und des BHD als Effektgrößen auf den Einzelbaum- Zuwachs noch eine signifikante Zuwachsveränderung im Laufe der letzten Jahrzehnte stattgefunden hat, wurde mit einer Kovarianzanalyse der folgenden Form untersucht (Kaufmann 2002 b):

$$BAI_{ijk}^{\wedge} = \mu + \alpha_{ijk} + \beta_{ijk} * J + \varepsilon_{ijk}$$

$BAI^{\wedge}$ : geschätzter Basalflächenzuwachs

$i, j, k$ : Klassen: Alter (i), BHD (j), Baumartengruppe (Laub- oder Nadelbaum, k)

$\mu$ : globales Modellintercept

$\alpha$ : Klassen-Intercept

$\beta$ : Steigung einer Regressionsgeraden innerhalb der Klassen

J: Jahrzehnt, aus welchem eine Zuwachsmessung stammt

Die Steigung  $\beta$  ist der Wachstumseffekt, welcher nicht mit Durchmesser- und Altersklassenveränderungen erklärt werden kann.

### 3.3 Formzahlen im LFI 1984 und 1994

Für die Untersuchung systematischer Formzahlveränderungen (Formquotient  $d_7/BHD$  und Schlankheitsgrad  $h/BHD$ ) wurden die Messungen an den LFI-Tarifprobäumen verwendet. Bei diesen Bäumen handelt es sich, da ihre Aufnahmewahrscheinlichkeit genau definiert war (basalflächenproportionale Ziehung, Kaufmann 2002 a) um eine repräsentative Unterstichprobe, d.h. innerhalb gewisser Streubereiche dürfen Schlüsse für die Grundgesamtheit, aus welcher die Bäume stammen, gezogen werden. Es wurde nach dem Baumarten-Mischungsgrad eines Bestandes, der Waldstruktur, der Standortsgüte und nach stattgefundenen Eingriffsarten unterschieden.

## 4. Resultate und Diskussion

Der Derbholz-Zuwachs zwischen 1984 und 1994 auf LFI-Probeflächen in gleichaltrigen Fichten- und Buchen-Reinbeständen liegt für alle Altersklassen jeweils deutlich über den Werten der EAFV-Ertragstafeln von 1968, während sich der Zuwachs bei der Baumart Tanne nicht von diesen unterscheidet. Abb1. zeigt diesen Sachverhalt für die Oberhöhenbonitäten Fichte 19 (Abb. 1a), Fichte 23 (Abb. 1b), Tanne 19 (Abb. 1 c) und Buche 20 (Abb. 1 d).

Die bei Fichte und Buche festgestellten Unterschiede können verschiedene Ursachen haben, z.B.:

1. Die Ertragstafelbestände waren für den Gesamtwald nicht repräsentativ.
2. Der Vergleich von Grossraum-Inventurdaten mit Ertragstafeln ist nicht zulässig.
3. Das Waldwachstum hat sich in den letzten Jahrzehnten verändert.

Zu Punkt 1:

Ertragskundliche Versuchsflächen, bzw. Ertragstafelbestände, sind nicht zufällig nach statistischen Gesichtspunkten, sondern willkürlich und meist nach fachlichen Kriterien ausgewählte Probeflächen. Es ist deshalb möglich, dass diese Bestände in verschiedener Hinsicht den Gesamtwald ungenügend repräsentieren. Als Beispiel dazu dient Abb. 2, in welcher die BHD-Höhen-Verteilung von LFI-Tarifprobäumen (Fichte) dargestellt ist. Der Formenbereich, in welchem auch liegend sektionsweise vermessene Probäume vorkommen, die zur Herleitung von Volumenfunktionen verwendet wurden, ist markiert.

Die Schlankheitsgrade der sektionsweise vermessenen Fichten aus ertragskundlichen Versuchsflächen decken das Formenspektrum der LFI-Tarifprobäume nicht ab. Aus diesem Grunde wurden für die Herleitung der LFI-Volumenfunktionen zusätzlich Probäume mit extremen Schlankheitsgraden ( $h/BHD$ ) vermessen.

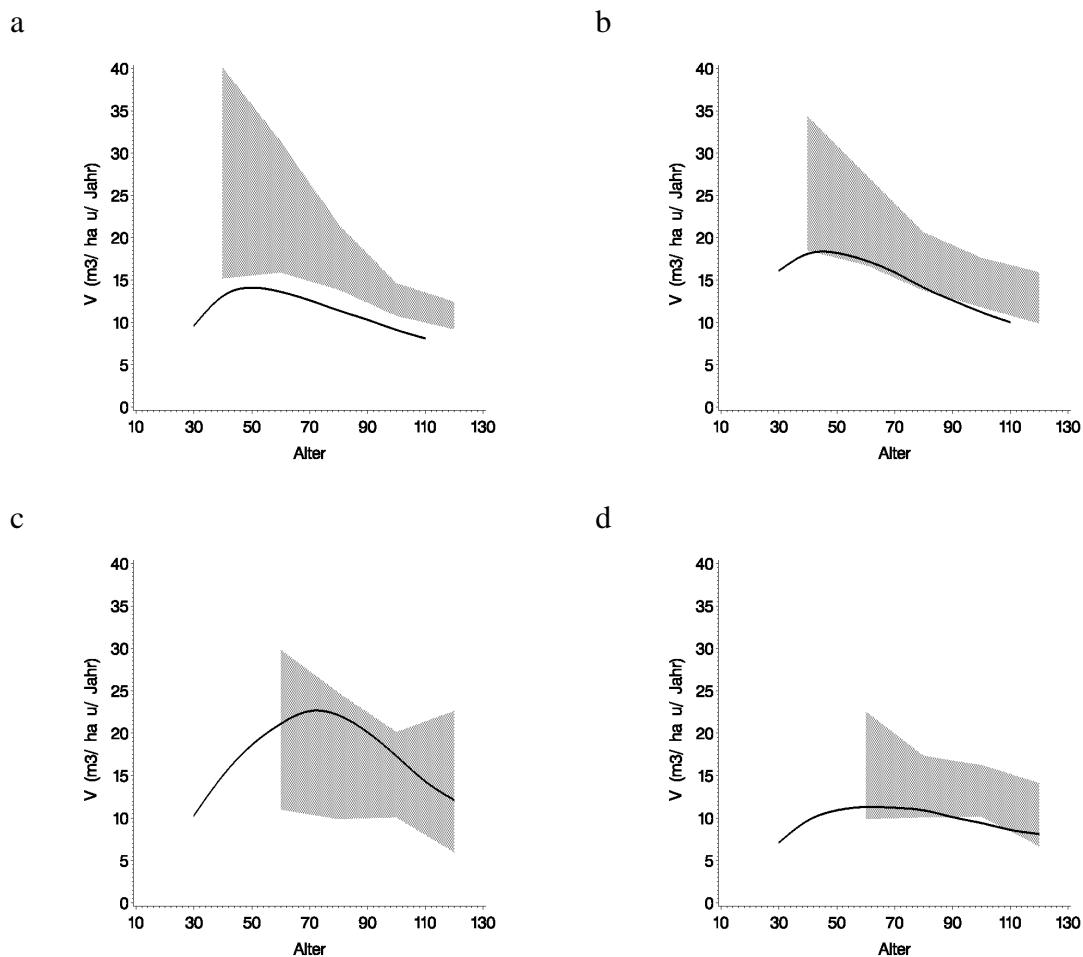


Abb. 1a-1d: Jährlicher Derbholzzuwachs in Rinde. Ausgezogene Kurven: Ertragstafelwerte. Grau schattierte Bereiche: Zuwachsschätzungen LFI innerhalb der einfachen Standardfehler-Grenzen. A: Fichte, Bonität 19, B: Fichte, Bonität 23, C: Tanne, Bonität 19, D: Buche, Bonität 20.

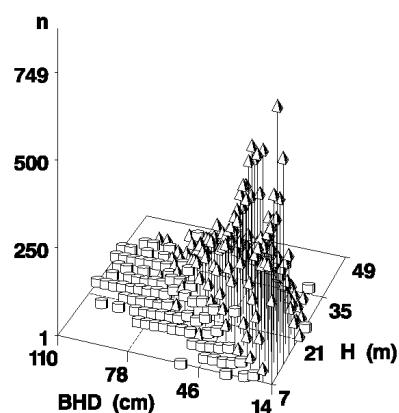


Abb. 2: BHD-Baumhöhenverteilung 1984 der LFI-Tarifprobetäume, Baumart Fichte. Bereich, in welchem liegend sektionsweise vermessene Probetäume vorkamen (Pyramiden) und Bereich, in welchem nur Tarifprobetäume vorkamen (Zylinder).

Waldbauliche Behandlungen beeinflussen – u.a. indirekt mit der Veränderung der Durchmesserverteilung bei Eingriffen- die Zuwachsleistung des verbleibenden Bestandes. Die in der Schweiz angewendeten Durchforstungsverfahren lassen einen grossen subjektiven Spielraum zu. Die in der Praxis und die auf Versuchsflächen angewendeten Bewirtschaftungstechniken dürften sich voneinander unterscheiden. Auf unterschiedliche Durchforstungsarten zurückzuführende Zuwachsunterschiede sind deshalb zu erwarten.

Zu Punkt 2:

Die Ertragstafeln gelten für gleichaltrige Reinbestände. Im LFI ist die Herleitung von Bestandeskennwerten mit Hilfe von Einzelbaummerkmalen nicht in jeder Hinsicht unproblematisch. Immerhin wurden 80% der hier ausgewählten Probeflächen auch von den LFI-Aufnahmegruppen, welche die Bestände auf einer Fläche von 0.25 ha um eine LFI-Probefläche herum beurteilten, als Reinbestände taxiert.

Lagegenauigkeiten oder grossflächig geglättete Informationen (Karten) machen das fehlerfreie Verbinden von Informationen aus verschiedenen Datenquellen mit LFI-Probeflächeninformationen praktisch unmöglich. Die zur Schätzung der GWL benötigten Angaben über den geologischen Untergrund stammen z.B. aus einer tektonischen Karte. Die Standortsgüte zeigt zudem eine grosse kleinflächige Variabilität, die in Karten nicht abgebildet werden kann.

Die Jahrringzählung an Stöcken, mit denen die Schätzformeln für das Bestandesalter hergeleitet wurden, ist mit Unsicherheiten behaftet. Eine zusätzliche Ungenauigkeit ergibt sich durch den relativ tiefen Erklärungsgrad der Einflussgrössen in der Formel (Anteil erklärter Varianz in den verschiedenen Regionen: 40-50%).

Zufällige Zuteilungsfehler in die Kategorien von stratifizierenden Variablen (hier Bonitäts- und Altersklassen) führen nicht zu systematischen Verzerrungen, sondern nur zu grösseren zufälligen Schätzfehlern. Systematische Zuteilungsfehler in einzelne Klassen können aber vorkommen. Diese sind in der Regel schwer nachprüfbar. So kann auch hier nicht nachgewiesen werden, dass die Zuordnungen ohne systematische Fehler erfolgten.

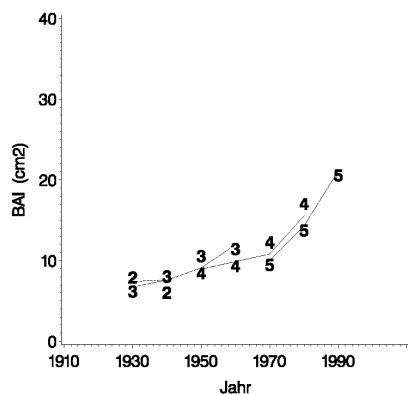
Unproblematischer ist die Vorrats- und Zuwachsschätzung, da die Formeln auf Messgrössen aufbauen, eine relativ hohe Schätzgenauigkeit aufweisen und sich vergleichsweise leicht auf systematische Fehler überprüfen lassen. Es ist unwahrscheinlich, dass die unterschiedlichen Zuwachswerte hier ihren Grund haben.

Zu Punkt 3:

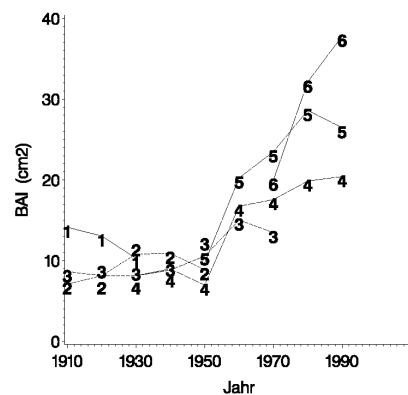
In den letzten 50 Jahren hat der durchschnittliche Einzelbaum-Basalflächenzuwachs auf den untersuchten Fichten- und Buchen-Reinbeständen auf ertragskundlichen Versuchsflächen zugenommen. Dieser Trend ist ersichtlich sowohl innerhalb der Altersklassen (Abb. 3a-b), als auch innerhalb der BHD-Klassen von Bäumen jeweils gleicher Altersklasse (Abb. 3c-d). Er ist stärker ausgeprägt bei den Buchen-Flächen im Mittelland (Abb. 3b, Abb. 3d) als bei den Fichten-Flächen im Alpenraum (Abb. 3a, Abb. 3c).

Die Durchmesserverteilungen von jeweils gleich alten Buchen-Beständen haben sich im Laufe der Jahrzehnte verändert (Abb. 4). Dies lässt vermuten, dass sich die Durchforstungstechnik auf den ertragskundlichen Versuchsflächen im Laufe des letzten Jahrhunderts geändert hat. Der Anteil der Bäume mit relativ grossen BHD in den untersuchten Buchenbeständen ist z.B. in der Altersklasse 80-100 Jahre in den 70er und 80er Jahren grösser als in früheren Jahrzehnten (Abb. 4). Diese Verlagerung auf zuwachsstärkere Bäume -der Basalflächenzuwachs kulminierte sehr spät- hat einen Zuwachsanstieg in den verschiedenen Altersklassen (siehe Abb. 3 ) zur Folge. Der Anteil des durchschnittlichen Basalflächenzuwachses der Bäume mit BHD 28-32 cm in der Altersklasse 80-100 Jahre z.B. hat, gemessen am durchschnittlichen Einzelbaumzuwachs der gleichen Altersklasse, von 1950 bis 1980 um 44% abgenommen, der Anteil der Bäume mit BHD 40-44 cm um 28% zugenommen. Der Zuwachsanstieg innerhalb der Altersklassen lässt sich aber damit nicht vollständig erklären, da auch die durchschnittliche Zuwachsleistung innerhalb der BHD-Klassen zugenommen hat.

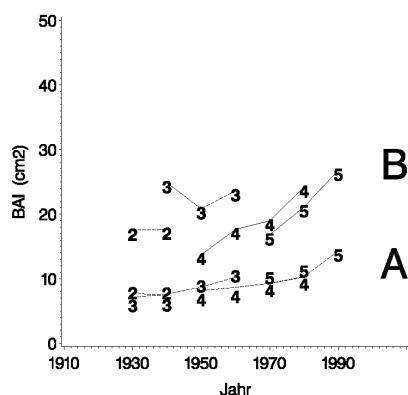
a



b



c



d

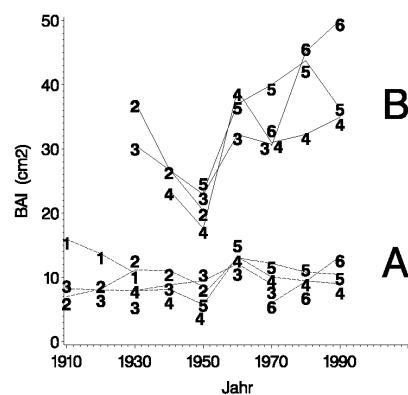


Abb. 3a-3d: Durchschnittlicher Basalflächenzuwachs (BAI) in gleichaltrigen ertragskundlichen Versuchsflächen nach Altersklassen (a und b), nach Alters- und BHD-Klassen (c und d). A:  $BHD \leq 36 \text{ cm}$ , B:  $BHD > 36 \text{ cm}$ , a und c: Fichten-Reinbestände im Alpenraum, b und d: Buchen-Reinbestände im Mittelland: Altersklassen: II: 40-60 J., III: 60-80 J., IV: 80-100 J., V: 100-120 J., VI: 120-140 J.

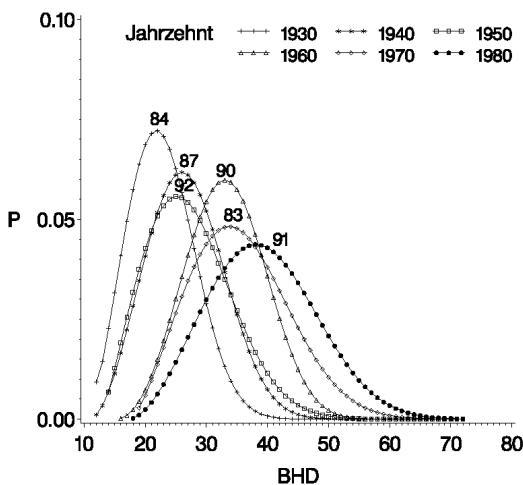


Abb. 4: Durchmesserverteilungen von Oberschichtbäumen in Buchen-Reinbeständen auf ertragskundlichen Versuchsflächen im Mittelland in verschiedenen Jahrzehnten (über den Kurven Angabe der Bestandesalter).

Die Kovarianzanalyse mit den BHD-Messungen aus 14 ertragskundlichen Versuchsflächen im gleichförmigen Hochwald wies einen positiven Zuwachstrend nach, der unabhängig ist vom Alter eines Bestandes und vom BHD eines Baumes. In 54 von 55 Alters- und BHD-Klassen ist der Einfluss des Jahrzehntes ( $\beta$ , siehe 3.2), in welchem eine Messung stattfand, signifikant positiv (t-Statistik, Niveau 95%). 40% der Zunahme des durchschnittlichen Einzelbaum-Basalflächenzuwachs von 1950 bis 1990 gehen auf Kosten dieses Effektes (KAUFMANN 2002 b). Sowohl ZINGG (1996) in einer Untersuchung mit ertragskundlichen Daten, als auch BRÄKER (1996) anhand einer Jahrringstudie, als auch KÖHL (1996) in einer Untersuchung von Inventurdaten aus dem Kanton Bern gelangen zum Schluss, dass der Einzelbaum-Basalflächenzuwachs in den letzten Jahrzehnten zugenommen hat und dass diese Zunahme nicht mit dem Alterstrend der Bestände erklärt werden kann.

Anhand von ertragskundlichen Versuchsflächen wurde hier lediglich das Basalflächenwachstum analysiert. Zuwachstrends sollten sich aber auch in Veränderungen von Formzahlen, z.B. des Schlankheitsgrades, zeigen (Verlagerungen in andere Oberhöhenbonitäten). Dies wurde mit Hilfe der Messungen an den LFI-Tarifprobebäumen untersucht. Abb. 5 zeigt die Entwicklung von Schlankheitsgraden in Fichtenbeständen im gleichförmigen Hochwald auf guten Standorten. Eine Darstellung der Schlankheitsgrade der jeweils gleichen Bäume in den Jahren 1984 und 1994 (Abb. 5a, 5c, nach BHD\_1984) zeigt eine den Erwartungen entsprechende leichte systematische Verschiebung nach unten. Diese Verschiebung ist auf den Probeflächen, auf welchen eine Durchforschung stattfand (Abb. 5c), signifikant grösser (t-Statistik, Niveau 95%) als auf den übrigen Flächen (Abb. 5 a), was auf den grösseren BHD-Zuwachs dieser Bäume zurückzuführen ist. Stellt man die Schlankheitsgrade 1984 und 1994 unabhängig voneinander dar (d.h. jeweils nach aktuellem BHD, Abb. 5 b und d), gehen die Kurven ineinander über, d.h. es ist keine systematische Veränderung nachweisbar. Die gleiche Aussage gilt für die Formquotienten  $d_7/BHD$ .

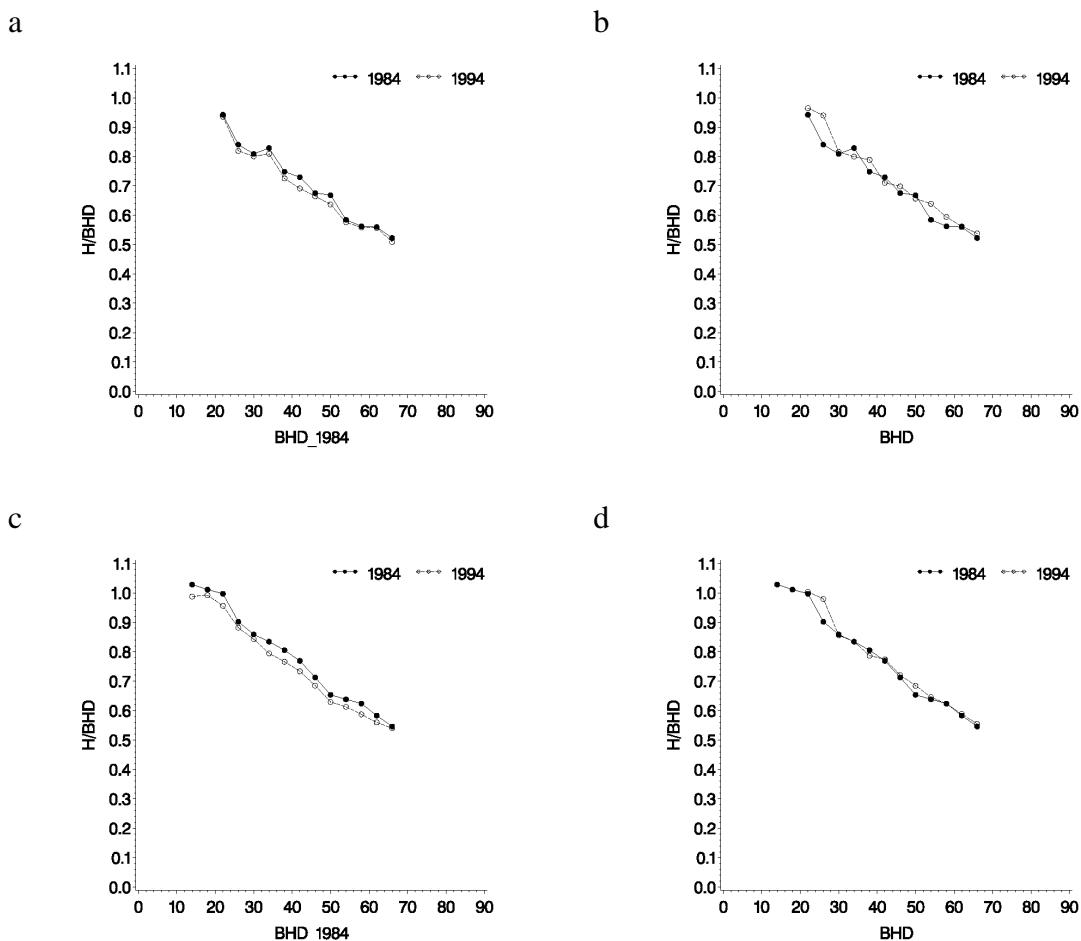


Abb. 5: Schlankheitsgrade von LFI-Tarifprobewäumen 1984 und 1994, gleichförmige Fichten-Reinbestände auf guten Standorten, nach BHD im Jahre 1984 (BHD\_1984, a und c) und jeweils aktuellem BHD (b und d), nicht durchforstete Bestände (a und b), durchforstete Bestände (c und d).

## 5. Zusammenfassung

Der in der Nationalinventur LFI geschätzte Derbholzzuwachs in gleichaltrigen Reinbeständen liegt bei den Baumarten Fichte und Buche über den Werten der Ertragstafeln EAFV von 1968, nicht hingegen bei der Baumart Tanne. Es kommen verschiedene Gründe für die beobachteten Unterschiede in Betracht wie die Frage nach der Repräsentativität der Ertragstafelbestände für den Gesamtwald, die Problematik der Schätzung von Bestandeskennziffern mit Daten einer Grossrauminventur oder eine tatsächliche Zunahme des Waldwachstums in den letzten Jahrzehnten. Hier wie in andern Untersuchungen wurden Indizien für letzteres gefunden, wobei offen bleibt, ein wie grosser Anteil davon auf veränderte Waldstrukturen oder aber auf veränderte Standortsverhältnisse zurückzuführen ist. Diese Ergebnisse stammen zudem aus Fallstudien und sind deshalb nicht verallgemeinerbar. Sie bestätigen immerhin die hier festgestellten Zuwachsunterschiede zwischen Ertragstafeln aus den 60er Jahren und Zuwachsschätzungen im LFI für die Periode 1984-1994. Die LFI-Probewäume, an denen 1984 und 1994 zwei Durchmesser und die Baumhöhe gemessen wurden und welche eine repräsentative Stichprobe darstellen, zeigen für den –allerdings sehr kurzen– Zeitraum keine systematischen Formveränderungen.

## 6. Literatur:

- BRÄKER, O. U. (1996): "Growth Trends of Swiss Forests: Tree-Ring Data. Case Study Toppwald." In: Spiecker, H.; Mielikäinen, K.; Köhl, M; Skovsgaard, J.P (eds.): „Growth Trends in European Forests.“ European Forest Institute Research Report No. 5, Springer, Heidelberg: 199-217
- EAFV (1968): „Ertragstafeln EAFV“. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchswesen EAFV (später WSL) , Ertragstafeln für Fichte, Tanne, Buche und Lärche.
- KAUFMANN, E. (2002 a ): „Estimation of Standing Timber, Growth an Cut.“ In: Brassel, P.; Lischke, H. (eds.): „Swiss National Forest Inventory. Methods and Models of the Second Survey.“ Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), in press.
- KAUFMANN, E. (2002b): „Influence of climatic variations on single tree growth“, eingereicht bei Can. Journ. of For. Res., 12 S.
- KELLER, W. (1978): „Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz“, Mitt. EAFV, Bd. 54, Heft 1, 98 S.
- KÖHL, M. (1996): „Growth Patterns in Forests of the Canton of Berne, Switzerland, Based on Inventory Data.“ In: Spiecker, H.; Mielikäinen, K.; Köhl, M.; Skovsgaard, J.P (eds.): „Growth Trends in European Forests.“ European Forest Institute Research Report No. 5, Springer, Heidelberg: 219-237.
- LISCHKE, H.; BRASSEL, P. (2002) : „Site.“ In: Brassel, P.; Lischke, H. (eds.): „Swiss National Forest Inventory. Methods and Models of the Second Survey.“ Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), in press.
- ZINGG, A. (1996): „Diameter and Basal Area Increment in Permanent Growth and Yield Plots in Switzerland.“ In: Spiecker, H.; Mielikäinen, K.; Köhl, M; Skovsgaard, J.P (eds.): „Growth Trends in European Forests.“ European Forest Institute Research Report No. 5, Springer, Heidelberg: 240-265.

# Postervorträge

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| J. Block, Julius Schuck | 150 |
| M. Lindner              | 152 |
| H. Meesenburg et al.    | 154 |
| S. Raspe et al.         | 156 |
| P. Bellos et al.        | 158 |
| W. Weis, A. Göttlein    | 163 |



## Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

### Nährstoffentzüge durch die Holzernte und ihr Einfluss auf den Nährstoffhaushalt armer Standorte in Rheinland-Pfalz

Joachim Block und Julius Schuck

Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd,  
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz,  
E-mail: [block@fhrk.uni-kl.de](mailto:block@fhrk.uni-kl.de)

#### Anlass, Zielsetzung

Aus überschlägigen Eintrag/Austragbilanzierungen liegen Hinweise vor, dass die mit der Holzernte verbundenen Nährstoffentzüge auf armen Standorten nicht in vollem Umfang durch die Mineralverwitterung ausgeglichen werden und in Verbindung mit den durch Bodenversauerung erhöhten Nährelementausträgen mit dem Sickerwasser zu defizitären Basekationenbilanzen führen können (vgl. Beispiele in Tab. 1). Allerdings basiert die Kalkulation der Nährelemententzüge noch auf recht unsicheren und wenig differenzierten Daten zu den Elementgehalten in Holz und Rinde und groben Annahmen zu den im Lauf einer Umtriebszeit durchschnittlich entnommenen Holz- und Rindenmassen. Wegen der weitreichenden Konsequenzen für die Gewährleistung der Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung auf den in Rheinland-Pfalz weit verbreiteten sehr basenarmen Standorten wurde im Herbst 2001 ein Projekt begonnen, mit dessen Hilfe fundiertere Grundlagen zur Herleitung von Nährlemententzügen durch die Holzernte und deren Bedeutung für den Nährstoffhaushalt von möglichen Risikostandorten geschaffen werden sollen. Vorrangiges Ziel ist eine flexible Kalkulation der Nährstoffentzüge bei unterschiedlicher Waldbehandlung und unterschiedlicher Nutzungsintensität

Tab. 1: Überschlägige Eintrag/Austrag-Bilanzen an zwei Level II-Flächen in Rheinland-Pfalz

| Level II-Fläche 705<br>(ca. 190 jährige Traubeneiche mit Buchenunterstand auf Mittlerem Buntsandstein im Pfälzerwald) |            |            |            |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                                                                                                       | Ca         | Mg         | K          | N          |
| „Einträge“<br>Gesamtdeposition <sup>1)</sup><br>Verwitterung <sup>2)</sup><br>[kg/ha · Jahr]                          | 5,9<br>0,1 | 1,4<br>0,7 | 2,0<br>3,8 | 22,5<br>-  |
| „Austräge“<br>Bodenauwaschung <sup>3)</sup><br>Ernteeinzug <sup>4)</sup><br>[kg/ha · Jahr]                            | 4,4<br>5,8 | 2,4<br>0,8 | 2,4<br>4,7 | 4,0<br>9,7 |
| Bilanz<br>[kg/ha · Jahr]                                                                                              | -4,2       | -1,1       | -1,3       | +8,8       |
| Vorrat in Humusauflage<br>und Mineralboden <sup>5)</sup><br>bis 90 cm Tiefe<br>[kg/ha]                                | 157        | 47         | 299        | 6141       |
| Bilanz in [%] vom Vorrat                                                                                              | -2,7       | -2,3       | -0,4       | +0,1       |

1) Mittel des Zeitraumes 1988 (Fläche 705) bzw. 1992 (Fläche 707) bis 1998

2) Aus PROFILE-Kalkulation, Dr. Becker, Öko-Data, Oktober 1999

3) Mittel des Zeitraumes 1988-1998 (Fläche 705) bzw. 1992-1998 (Fläche 707); Kalkulation aus Wasserhaushaltssimulation mit Richards-Modell und gemessenen Stoffkonzentrationen im Sickerwasser aus 115 cm Tiefe (Fläche 705) bzw. Kalkulation über Chloridbilanz (Fläche 707)

4) Aus PROFILE-Kalkulation Dr. Becker; uptake-Daten zur Berücksichtigung von Ernterückständen und nicht genutzter Derbholzmasse um 30 % reduziert

5) Bei Ca, Mg im Mineralboden: Vorräte am Kationenaustauscher

Level II-Fläche 707  
(ca. 130 jährige Kiefer mit Buchenunterstand auf Mittlerem Buntsandstein im Pfälzerwald)

|                                                                                              | Ca         | Mg         | K          | N          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| „Einträge“<br>Gesamtdeposition <sup>1)</sup><br>Verwitterung <sup>2)</sup><br>[kg/ha · Jahr] | 8,2<br>0,2 | 1,8<br>0,5 | 3,8<br>2,2 | 28,3<br>-  |
| „Austräge“<br>Bodenauwaschung <sup>3)</sup><br>Ernteeinzug <sup>4)</sup><br>[kg/ha · Jahr]   | 3,2<br>2,6 | 1,9<br>0,6 | 3,4<br>1,8 | 2,1<br>4,3 |
| Bilanz<br>[kg/ha · Jahr]                                                                     | +2,6       | -0,2       | +0,8       | +21,9      |
| Vorrat in Humusauflage<br>und Mineralboden <sup>5)</sup><br>bis 90 cm Tiefe<br>[kg/ha]       | 540        | 106*       | 355        | 4629       |
| Bilanz in [%] vom Vorrat                                                                     | +0,5       | -0,2       | -0,2       | +0,5       |

\* davon 86 % in der Humusauflage

Tabelle 2: Untersuchungsbestände

| Nr. | Baumarten                      | Alter<br>(2001)  | Stammzahl<br>(je ha) | Durchmesser<br>(BHD 2001)<br>[cm] | Höhen<br>(2001)<br>[m] | Ertragsklasse | Grundfläche<br>[m <sup>2</sup> ] | Bemerkungen                     |
|-----|--------------------------------|------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1   | Traubeneiche<br>(Hauptbestand) | 64 Jahre         | 916                  | dg 17,0                           | hg 19,2                | 1,2           | 20,16                            | Ertragskundliche Versuchsfläche |
|     | Buche<br>(Unterstand)          | ca. 35-40 Jahre  | 1808                 |                                   |                        |               |                                  |                                 |
| 2   | Kiefer<br>(Hauptbestand)       | 36 Jahre         | 1712                 | dg 16,0                           | hg 15,4                | 0,7           | 37,57 Ki                         | Ertragskundliche Versuchsfläche |
|     | Buche<br>(Unterstand)          | ca. 25 Jahre     | 1984                 |                                   |                        |               |                                  |                                 |
| 3   | Traubeneiche<br>(Hauptbestand) | 197 Jahre        | 176                  | dg 42,9                           | hg 30,0                | 2,0           | 25,42 Ei                         | Level II-Fläche 705             |
|     | Buche<br>(Unterstand)          | ca. 90-100 Jahre | ca. 1000             |                                   |                        |               |                                  |                                 |
| 4   | Kiefer<br>(Hauptbestand)       | 127              | 276                  | dg 40,6                           | hg 27,0                | 1,9           | 35,75 Ki                         | Level II-Fläche 707             |
|     | Buche<br>(Unterstand)          | ca. 50           | ca. 1000             |                                   |                        |               |                                  |                                 |

#### Einbindung in Modelle

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde an der Technischen Universität München soll die Schätzung der Baum- und Bestandesbiomassen mit Hilfe des physiologisch basierten Baumwachstumsmodells BALANCE (GROTE 2001) erfolgen.

Zur Simulation der Bestandesentwicklung unter verschiedenen Bedingungen und der Nährlemententzüge bei unterschiedlichen Erntestrategien soll neben BALANCE auch der Waldwachstumssimulator SILVA eingesetzt werden. Da es sich bei den jüngeren Untersuchungsbeständen um langfristig beobachtete ertragskundliche Versuchsflächen und bei den älteren Probebeständen um Level II-Flächen handelt, ist eine Einbindung der Befunde in Input-/Outputbilanzen und langfristig auch eine Validierung der Modellbefunde möglich.

#### Literatur:

BECKER, R., BLOCK, J., SCHIMMING, C.-G., SPRANGER, T., WELLBROCK, N. (2000): Critical Load-Kalkulationen an Level II-Dauerbeobachtungsflächen. Forstarchiv 71 Jg., Heft 2, 54-58

GROTE, R. (2001): Von der Dimension zur Biomasse und wieder zurück - Ein neuer Ansatz zur dynamischen Modellierung von Bestandesentwicklungen. LWF-Workshop "Inventory of Biomass and Nährstoffkreislauf in Waldbeständen als Grundlage für Stoffhaushaltsbetrachtungen" am 21./22.11.2001 in Freising

Tab. 3: Zu erfassende Baumkompartimente

- Stammderholz; bei Kiefer und Eiche getrennt in Splint- und Kernholz
- Stammderholzrinde
- Kronenderholz; bei Kiefer und Eiche getrennt in Splint- und Kernholz
- Kronenderholzrinde
- Äste < 7 cm Durchmesser; ohne Trennung Holz/Rinde
- Zweige (laubtragende Bereiche der Krone)
- Nadeln
- Totholz

#### Untersuchungskonzept

Die Bedeutung der mit der Holzernte verbundenen Nährstoffentzüge steigt mit zunehmender Basenarmut und abnehmenden Anteilen verwitterbarer Minerale im Boden. Die flächenmäßig bedeutsamsten Risikostandorte sind in Rheinland-Pfalz Böden aus Mittlerem Buntsandstein und nur geringmächtig decklehmlüberlagerte Quarzitböden. In einem ersten Schritt werden Traubeneichenbestände und Kiefernbestände jeweils mit Buchenunterstand auf Mittlerem Buntsandstein, später auch Fichten- und Buchenbestände auf Quarzit in die Erhebung einbezogen. Je Baumart werden jeweils ein jüngerer Untersuchungsbestand, der zur ersten Nutzung vermarktungsfähiger Sortimente ansteht, und ein annähernd hiesiger Bestand ausgewählt. Je Bestand werden die oberirdische Biomasse von 15 Probebäumen aus dem Hauptbestand und 10 Bäumen aus dem Unterstand jeweils über die gesamte Durchmesserverteilung erfasst und die Gehalte an N, P, K, Ca und Mg in den jeweiligen Kompartimenten ermittelt.

Tab. 4: Kooperationspartner

- Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München --> Modellierung "BALANCE", "SILVA"
- Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer (LUFA) --> chemische Analysen
- Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg --> Raumdichtemessungen

## Nährstoffentzüge durch die Holzernte und ihr Einfluss auf den Nährstoffhaushalt armer Standorte in Rheinland-Pfalz

**Joachim Block und Julius Schuck**

Aus überschlägigen Eintrag/Austragbilanzierungen liegen Hinweise vor, dass die mit der Holzernte verbundenen Nährstoffentzüge auf armen Standorten nicht in vollem Umfang durch die Mineralverwitterung ausgeglichen werden und in Verbindung mit den durch Bodenversauerung erhöhten Nährelementausträgen mit dem Sickerwasser zu defizitären Basekationenbilanzen führen können. Die Nachhaltigkeit des Nährstoffhaushaltes basenarmer Waldstandorte erscheint hierdurch gefährdet. Allerdings basiert die Kalkulation der Nährlemententzüge noch auf recht unsicheren und wenig differenzierten Daten zu den Elementgehalten in Holz und Rinde und groben Annahmen zu den im Laufe einer Umtriebszeit durchschnittlich entnommenen Holz- und Rindenmassen.

Wegen der weitreichenden Konsequenzen für die Gewährleistung der Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung auf den in Rheinland-Pfalz weit verbreiteten sehr basenarmen Standorten wurde im Herbst 2001 ein Projekt begonnen, mit dessen Hilfe fundiertere Grundlagen zur Herleitung von Nährlemententzügen durch die Holzernte und deren Bedeutung für den Nährstoffhaushalt von möglichen Risikostandorten geschaffen werden sollen.

Vorrangiges Ziel ist die Kalkulation des Exports der Hauptnährälemente N, P, K, Ca und Mg mit der Holzernte ausgehend von Beständen, die zur ersten Nutzung vermarktungsfähiger Sortimente anstehen, möglichst bis zur vollständigen Nutzung des Ausgangsbestandes. Durch Einbindung in das physiologisch basierte Baumwachstumsmodell BALANCE und Nutzung des Waldwachstumssimulators SILVA des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde an der Universität München soll eine Prognose der Biomasseentwicklung bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen und eine flexible Kalkulation der Nährstoffentzüge bei unterschiedlicher Waldbehandlung (z.B. Niederdurchforstung, Zbaum-orientierte Auslesedurchforstung, QD-Verfahren) und unterschiedlicher Nutzungsintensität (z.B. Belassen wirtschaftlich weniger bedeutsamer Sortimente im Wald, Prozessschutz mit Nutzung eines Teils der Zielstärken-bäume....) ermöglicht werden.

In einem ersten Schritt werden Traubeneichenbestände und Kiefernbestände jeweils mit Buchenunterstand auf Mittlerem Buntsandstein in die Erhebung einbezogen. Die Befunde der Ernteentzugskalkulationen können in Input-/Outputbilanzen an Level II-Standorten von entsprechenden Beständen auf diesem Substrat eingebunden werden.

## **COST Action E21 “Contribution of Forests and Forestry to Mitigate Greenhouse Effects”**

**Marcus Lindner**

The poster will briefly introduce COST Action E21 “Contribution of Forests and Forestry to Mitigate Greenhouse Effects” with its two working groups WG1 'Inventory of sinks and sources in the perspective of net C-emission reporting' and WG2 'Analysis of forest management practices'.

The main objective of the Action is to bring together scientists of common interest to consider and progress the contribution of forests and forestry to the mitigation of greenhouse effects. The Action will address the complex issue of carbon accounting with the objective of contributing to the development of an agreed carbon accounting strategy for European forests within the framework of the Kyoto protocol. The Action will further seek to define and quantify the influence of forest management on the carbon balance of forests, investigating both the biogeochemical and socio-economic impacts of management practices and exploring the potential for enhancing the role of forests in the mitigation of greenhouse effects.

The scope of the COST E21 is focused on European forests and some of the greenhouse gases (GHG) included in the Kyoto protocol: namely CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>.

### **1. Outline Working Group I**

Aim – To evaluate and improve inventory/accounting systems with a view to refining existing estimates of carbon pools and fluxes in forests.

Scope - To coordinate the national efforts of the participating countries devoted to the inventory of carbon pools and changes in carbon pools in forests.

The relevant carbon pools are the biomass, litter and woody debris, soil and wood products. This inventory comprises the assessment of land area occupied by the different forest types considered, estimate of the amount of the carbon stored per unit area in each forest type together with their turnover time, and monitoring the changes occurring over periods of years.

### **2. Outline Working Group II**

Aim - To investigate the influence of management practices and forest product use on current sinks and sources of carbon and to assess the potential of forest management in carbon mitigation in Europe.

Scope - The focus of this group is on the state of knowledge and the assessment of potentials regarding management practices and mitigation strategies at stand, landscape and national levels.

Forest management practices considered are, e.g.: afforestation, reforestation, deforestation, stand treatments including thinning + harvesting, modification of rotation times, stand replacement with different choice of species, site manipulations (e.g. drainage, fertilisation, soil protection, ...), disturbance control (fire, pests, ...).

Mitigation strategies in forest management are defined following the IPCC classification:

1. Conservation management (protection of existing carbon stocks).
2. Sequestration management: measures aiming at enhanced C stocks in forests and forest products.
3. Substitution management: replacing fossil fuels with biofuels and non-wood products with wood products.



#### COST Action E21 “Contribution of Forests and Forestry to Mitigate Greenhouse Effects”

Memorandum of Understanding signed by 21 European countries

Duration of the Action: December 1999 to December 2003

Chairman of the Action: Eric Laitat, University of Gembloux, Belgium

Webpage: <http://www.bib.fsagx.ac.be/coste21>

Main objective of COST E21 is to bring together scientists of common interest to consider and progress the contribution of forests and forestry to the mitigation of greenhouse effects.

COST E21 will address the complex issue of carbon accounting with the objective of contributing to the development of an agreed carbon accounting strategy for European forests within the framework of the Kyoto Protocol.

COST E21 will further seek to define and quantify the influence of forest management on the carbon balance of forests, investigating both the biogeochemical and socio-economic impacts of management practices and exploring the potential for enhancing the role of forests in the mitigation of greenhouse effects.

COST E21 puts emphasis on the quantification of carbon storage in forest ecosystems and on the understanding of linkages between human activities and climate change, particularly the role of forests and forestry.

COST E21 focuses on European forests and some of the greenhouse gases (GHG) included in the Kyoto Protocol: namely CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>.

COST E21 will integrate natural, socio-economic as well as methodological aspects of cross-sectoral issues relevant for reporting and decision-making at the EU level.

#### COST E21 is organized in two working groups:

##### Working Group 1

##### *Inventory of sinks and sources in the perspective of net C-emission reporting*

(Chair: Denis Lousteau, Cestas, France)

Aim – To evaluate and improve inventory/accounting systems with a view to refining existing estimates of carbon pools and fluxes in forests.

Scope – To coordinate the national efforts of the participating countries devoted to the inventory of carbon pools and changes in carbon pools in forests.

- The relevant carbon pools are
- biomass
  - litter and woody debris
  - soil
  - wood products

This inventory comprises the assessment of land area occupied by the different forest types considered, estimate of the amount of the carbon stored per unit area in each forest type together with their turn-over time, and monitoring the changes occurring over periods of years.

##### Subgroups are focussing on

- Harmonization of forest inventories
- Biomass expansion functions
- Soil carbon

##### German contact persons for COST E21:

Prof. Dr. Andrea Polle  
Georg-August-Universität Göttingen  
email: apolle@gwdg.de

Dr. Marcus Lindner  
Potsdam Institute for Climate Impact Research  
email: lindner@pik-potsdam.de

##### Working Group 2

##### *Analysis of forest management practices*

(Chair: Marcus Lindner, Potsdam, Germany)

Aim – To investigate the influence of management practices and forest product use on current sinks and sources of carbon and to assess the potential of forest management in carbon mitigation in Europe.

Scope – The focus of this group is on the state of knowledge and the assessment of potentials regarding management practices and mitigation strategies at stand, landscape and national levels.

##### Forest management practices considered

- afforestation, reforestation, deforestation
- stand treatments including thinning and harvesting
- modification of rotation times
- stand replacement with different species
- site manipulations, e.g. drainage, fertilisation, soil protection
- disturbance control (fire, pests, ...)

Mitigation strategies in forest management are defined following the IPCC classification:

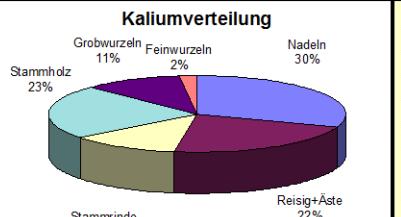
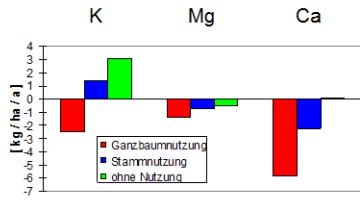
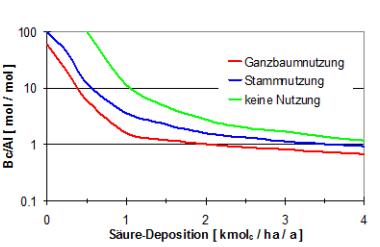
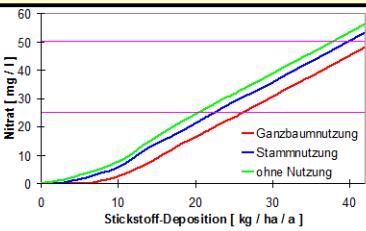
1. Conservation management (protection of existing carbon stocks).
2. Sequestration management: measures aiming at enhanced C stocks in forests and forest products.
3. Substitution management: replacing fossil fuels with biofuels and non-wood products with wood products.

##### Subgroups are focussing on

- C - Effects of forest management practices
- Potentials of different mitigation strategies
- Interactions with forest product utilisation
- Alternative carbon accounting rules
- Ecological, economic and social implications

# Einfluss von forstlicher Nutzung auf den Bodenzustand von Wäldern

Henning Meesenburg, Karl Josef Meiws und Peter Rademacher

| <p><b>Nachhaltigkeit des Stoffhaushalts</b></p> <p>In Deutschland verfolgt die Forstwirtschaft heute eine nachhaltige Nutzung der Wälder. In den Helsinki-Kriterien wird explizit auch die Nachhaltigkeit der Stoffkreisläufe als ein Element der Nachhaltigkeit von Wäldern genannt. Wenn die wichtigen Eintrags- und Austragsquellen quantifiziert werden, können Aussagen zur Nachhaltigkeit des Stoffhaushalts von Wäldern getroffen werden. Die wichtigsten Pfade für Stoffflüsse in Waldökosystemen sind die Deposition, die Verwitterung von Mineralen sowie der Austrag mit dem Sickerwasser und im Zuge der Biomassenutzung.</p> |  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kategorie</th> <th>Anteil (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grobwurzeln</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>Feinwurzeln</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Nadeln</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Stammholz</td> <td>23%</td> </tr> <tr> <td>Reisig+Aste</td> <td>22%</td> </tr> <tr> <td>Stammrinde</td> <td>19%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Kaliumpiechart in 45-jährigen Fichten im Harz. Kalium wird zu 23% im Stammholz (53% der Biomasse) gespeichert. Stark angereichert ist Kalium in den Nadeln (30%, 8% der Biomasse).</p> | Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Anteil (%) | Grobwurzeln | 11% | Feinwurzeln | 2% | Nadeln | 30% | Stammholz | 23% | Reisig+Aste | 22% | Stammrinde | 19% | <p><b>Einfluss forstlicher Nutzung</b></p> <p>Durch die forstliche Nutzung wird direkt auf die Nährstoffentzüge eingewirkt. Dabei ist nicht nur von Bedeutung, welche Holzmenge genutzt wird, sondern auch, welche Teile der Bäume mit in die Ernte einbezogen werden, da die einzelnen Nährstoffe nicht gleichmäßig in der Biomasse verteilt sind. Daher hat sich die Bewirtschaftungsstrategie auch an den Standorteigenschaften eines Waldökosystems zu orientieren. Auf einigen Standorten ist auch bei der derzeit üblichen Nutzungspraxis, die eine Entnahme der Stämme vorsieht, die Nachhaltigkeit des Stoffhaushalts nicht gewährleistet.</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-----|-------------|----|--------|-----|-----------|-----|-------------|-----|------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Anteil (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Grobwurzeln                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 11%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Feinwurzeln                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Nadeln                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 30%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Stammholz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 23%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Reisig+Aste                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 22%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Stammrinde                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|  <p>Nährelementbilanzen (= Deposition + Verwitterung - Sickerwasseraustrag - Biomasseentzug) eines Fichtenwald-Ökosystems im Harz bei unterschiedlicher Nutzung.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p><b>Einfluss auf Säurehaushalt</b></p> <p>Den Einfluß der Bewirtschaftung auf den Säurehaushalt von Waldökosystemen zeigt das Beispiel aus einem Buchenbestand im Solling. Je höher die Säureeinträge aus der Atmosphäre sind, desto geringer wird das Verhältnis der basischen Nährelemente Ca, Mg und K zu Al (Bc/Al-Verhältnis) in der Bodenlösung. Bei gleichen Säureeinträgen liegt das Bc/Al-Verhältnis umso niedriger, je intensiver die Biomasse genutzt wird. Das Bc/Al-Verhältnis ist ein wichtiger Indikator für das Risiko von Aluminiumtoxizität für Baumwurzeln.</p>                                                                             |  <p>Beziehung zwischen Säure-Deposition und dem Verhältnis von basischen Kationen (K, Mg, Ca) zu Aluminium (Bc/Al-Verhältnis) für einen Buchenbestand im Solling.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>Einfluss auf Stickstoffhaushalt</b></p> <p>Mit zunehmender Stickstoff-Deposition nehmen die Nitratgehalte im Sickerwasser zu und damit auch die Nitratausträge in das Grundwasser. Eine intensive Biomassenutzung wirkt sich positiv aus. Je mehr von der Biomasse genutzt wird, desto geringer sind die entsprechenden Nitratausträge mit dem Sickerwasser. Allerdings ist der Einfluss der forstlichen Nutzung begrenzt. Er liegt langfristig nicht über dem Entzug für den Zuwachs der Bäume (5-15 kg/ha/a). Erhöhte Nitratgehalte im Grundwasser gefährden die Nachhaltigkeit der Nutzung als Trinkwasser.</p>                  |  <p>Beziehung zwischen Stickstoff-Deposition und dem Nitratgehalt im Sickerwasser für einen Buchenbestand im Solling. Mit zunehmender Stickstoff-Deposition und abnehmender Biomassenutzung steigt die Nitratbefrachtung des Sickerwassers.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><b>Konsequenzen für die Forstwirtschaft</b></p> <p>Die Bodenversauerung wird mit zunehmender forstlicher Nutzung vorangetrieben, die Nitratauswaschung verringert. Wenn beide Probleme akut sind, steht die Forstwirtschaft vor einem Dilemma. Ist die Reduktion der Depositionen auf absehbare Zeit nicht möglich, muß die Bewirtschaftungsstrategie auf das vorrangige Problem ausgerichtet werden. In Beständen mit der Gefahr hoher Nitratausträge kann einer weiteren Bodenversauerung z.B. durch Kalkungsmaßnahmen entgegengewirkt werden. Um die Nährstoffvorräte des Mineralbodens besser zu erschließen, können tiefwurzelnde Baumarten eingebracht werden.</p> |            |             |     |             |    |        |     |           |     |             |     |            |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |



Forstwirtschaft  
in Niedersachsen

## **Einfluss von forstlicher Nutzung auf den Bodenzustand von Wäldern**

**Henning Meesenburg, Karl Josef Meiwes, Peter Rademacher**

Wenn in Waldökosystemen die wichtigsten Eintrags- und Austragsquellen quantifiziert werden, können Aussagen zur Nachhaltigkeit des Stoffhaushalts von Wäldern getroffen werden. Die wichtigsten Pfade für Stoffflüsse in Waldökosystemen sind die Deposition, die Verwitterung von Mineralen sowie der Austrag mit dem Sickerwasser und im Zuge der Biomassenutzung.

Durch die forstliche Nutzung wird direkt auf die Nährstoffentzüge eingewirkt. Dabei ist nicht nur von Bedeutung, welche Holzmenge genutzt wird, sondern auch, welche Teile der Bäume mit in die Ernte einbezogen werden, da die einzelnen Nährstoffe nicht gleichmäßig in der Biomasse verteilt sind. Daher hat sich die Bewirtschaftungsstrategie auch an den Standorteigenschaften eines Waldökosystems zu orientieren. Auf einigen Standorten ist auch bei der derzeit üblichen Nutzungspraxis, die eine Entnahme der Stämme vorsieht, die Nachhaltigkeit des Stoffhaushalts nicht gewährleistet.

Den Einfluss der Bewirtschaftung auf den Säurehaushalt von Waldökosystemen zeigt ein Beispiel aus einem Buchenbestand im Solling. Je höher die Säureeinträge aus der Atmosphäre sind, desto geringer wird das Verhältnis der basischen Nährelemente Ca, Mg und K zu Al (Bc/Al-Verhältnis) in der Bodenlösung. Bei gleichen Säureeinträgen liegt das Bc/Al-Verhältnis umso niedriger, je intensiver die Biomasse genutzt wird. Das Bc/Al-Verhältnis ist ein wichtiger Indikator für das Risiko von Aluminiumtoxizität für Baumwurzeln.

Mit zunehmender Stickstoff-Deposition nehmen die Nitratgehalte im Sickerwasser zu und damit auch die Nitratausträge in das Grundwasser. Eine intensive Biomassenutzung wirkt sich positiv aus. Je mehr von der Biomasse genutzt wird, desto geringer sind die entsprechenden Nitratausträge mit dem Sickerwasser. Allerdings ist der Einfluss der forstlichen Nutzung begrenzt. Er liegt langfristig nicht über dem Entzug für den Zuwachs der Bäume (5-15 kg/ha/a). Erhöhte Nitratgehalte im Grundwasser gefährden die Nachhaltigkeit der Nutzung als Trinkwasser.

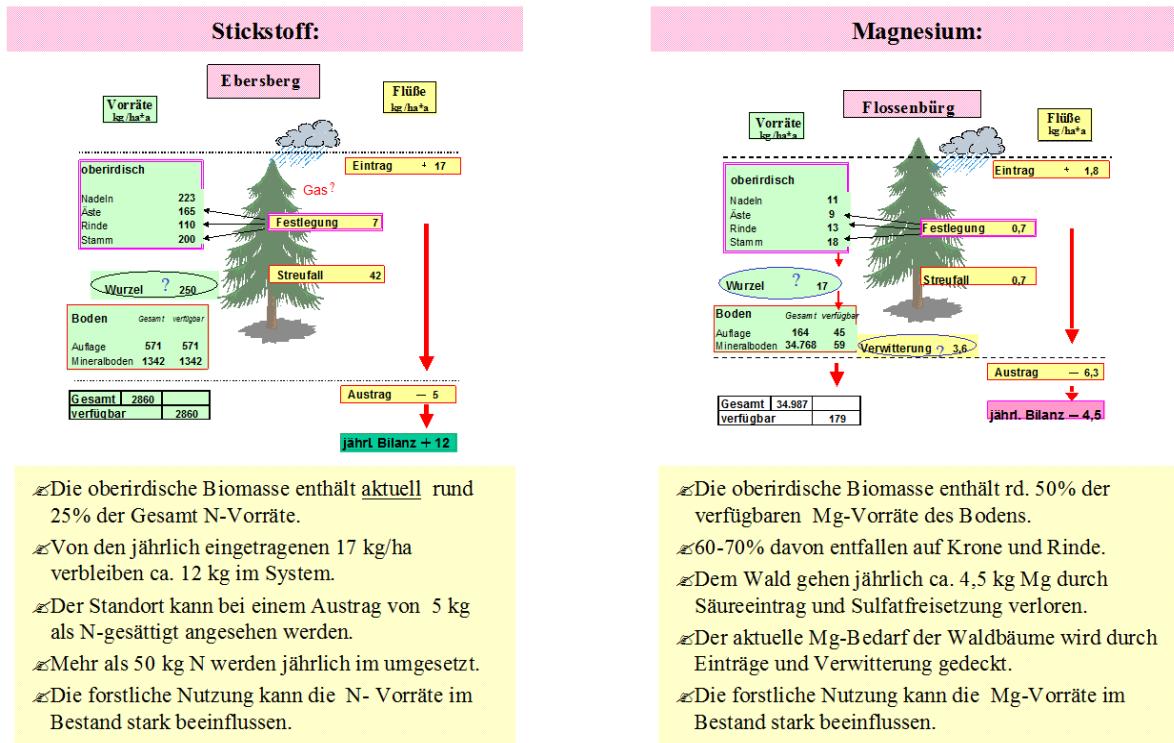
Die Bodenversauerung wird zunehmender forstlicher Nutzung vorangetrieben, die Nitratauswaschung verringert. Wenn beide Probleme akut sind, steht die Forstwirtschaft vor einem Dilemma. Ist die Reduktion der Depositionen auf absehbare Zeit nicht möglich, muss die Bewirtschaftungsstrategie auf das vorrangige Problem ausgerichtet werden. In Beständen mit der Gefahr hoher Nitratausträge kann einer weiteren Bodenversauerung z.B. durch Kalkungsmaßnahmen entgegengewirkt werden. Um die Nährstoffvorräte des Mineralbodens besser zu erschließen, können tiefwurzelnde Baumarten eingebracht werden.

# **Elementvorräte, Stoffflüsse und Nährstoffbilanzen zweier Fichtenbestände in Bayern**

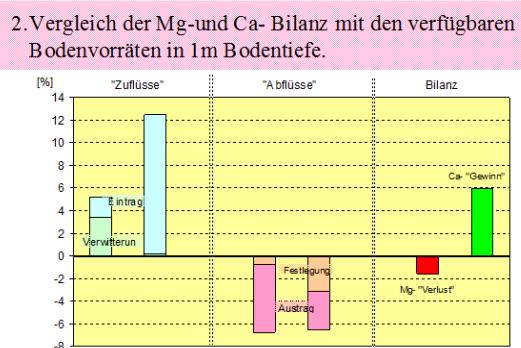
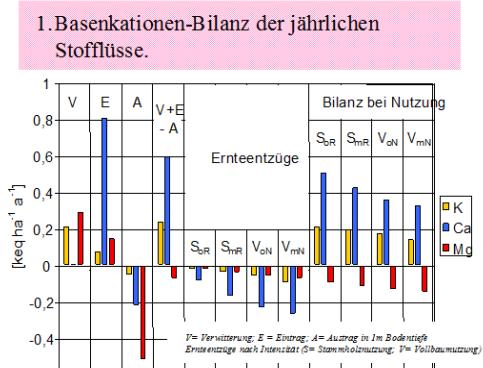
S. Raspe<sup>1</sup>, H.-P. Dietrich<sup>1</sup>, R. Heitz<sup>1</sup>, M. Schwarzmeier<sup>2</sup>, M. Schölch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; <sup>2</sup> Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Forstwirtschaft

**Elementinventuren & WKS-Monitoringdaten ermöglichen Berechnung von wichtigen Stoffhaushaltskenngrößen.**



**Bilanzierung der Stoffflüsse ist Grundlage für Bewertung & Prognose von Stoffeinträgen und Nährstoffentzügen.**



Der „Bedarf“ an Mg und Ca für den Biomasseaufbau ist geringer als die derzeitige Nachlieferung aus Boden und Luft. Ohne Säurebelastung:

ist die nachhaltige Holzproduktion durch natürliche Mg-Nachlieferung (Verwitterung) sichergestellt

überschreitet die Ca-Aufnahme des Fichtenbestandes bei derzeitigem Wachstum die natürliche Verwitterungsraten

Bei gleichbleibender Säurebelastung werden die **Mg-Vorräte** des Bodens innerhalb einer Waldgeneration ausgeschöpft.

## Elementvorräte, Stoffflüsse und Nährstoffbilanzen zweier Fichtenbestände in Bayern\*

**Stephan Raspe, Hans-Peter Dietrich, Richard Heitz, Melanie Schwarzmeier,  
Manfred Schölch**

An den bayerischen Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg wurden Biomasse- und Elementinventuren der oberirdischen Baumkompartimente durchgeführt. Einzelheiten zu den Standorten und zur Methodik der Inventuren werden im Vortrag "Biomasse- und Nährstoffinventuren zur Ermittlung von Ernteentzügen an drei bayerischen Fichtenstandorten" von H.-P. Dietrich dargestellt. Zusammen mit den Monitoringdaten aus dem Messprogramm der Waldklimastationen ermöglichen diese Elementinventuren die Berechnung wichtiger Stoffhaushaltskenngrößen.

Auf dem Poster werden Vorräte und Flüsse von Stickstoff in Ebersberg und Magnesium in Flossenbürg dargestellt.

Die oberirdische Biomasse in Ebersberg enthält aktuell rund 25% der gesamten N-Vorräte des Ökosystems. Die N-Vorräte sind daher durch die forstliche Nutzung stark beeinflussbar. Von den jährlich eingetragenen 17 kg/ha verbleiben ca. 12 kg im System. Bei einem Austrag von 5 kg/(ha\*a) kann der Standort als gesättigt angesehen werden. Der jährliche N-Umsatz beträgt mehr als 50 kg/ha.

In Flossenbürg betragen die Mg-Vorräte in der oberirdischen Biomasse rund 50% der verfügbaren Mg-Vorräte des Bodens. Davon entfallen 60 bis 70% auf die Krone und Stammrinde. Die Art der forstlichen Nutzung hat daher einen großen Einfluß auf die Mg-Vorräte. Durch Säureeinträge und Sulfatfreisetzung gehen dem Waldökosystem in Flossenbürg jährlich ca. 4,5 kg/ha Magnesium verloren. Der aktuelle Mg-Bedarf der Waldbäume wird jedoch durch Mg-Einträge und Mg-Freisetzung aus der Verwitterung gedeckt.

Die Bilanzierung der Stoffflüsse bildet die Grundlage für die Bewertung und Prognose von Stoffeinträgen und Nährstoffentzügen. Als Beispiele werden auf dem Poster die Basenkationen-Bilanzen der jährlichen Stoffflüsse unter Berücksichtigung von Ernteentzügen sowie ein Vergleich der Ca- und Mg-Bilanz mit den verfügbaren Bodenvorräten am Standort Flossenbürg dargestellt. Der Ca- und Mg-Bedarf für den Biomasseaufbau ist derzeit geringer als die Nachlieferung aus Deposition und Verwitterung. Ohne Säurebelastung ist eine nachhaltige Holzproduktion durch die natürliche Mg-Nachlieferung durch die Freisetzung aus der Verwitterung sichergestellt. Bei derzeitigem Wachstum überschreitet die Ca-Aufnahme die natürliche Verwitterungsrate. Bei gleichbleibender Säurebelastung werden die Mg-Vorräte des Bodens innerhalb einer Waldgeneration ausgeschöpft.

---

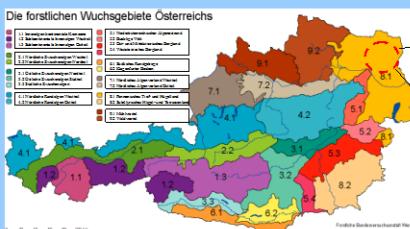
\* Projekt ST74 und ST95, gefördert von der Bayerischen Staatsforstverwaltung

## BIOMASSEN- (BLATTFLÄCHEN) VERTEILUNG UND ENTWICKLUNG AUF VERJÜNGUNGSFLÄCHEN (UNTERHOLZ) IM MITTELWALD



Bellós P., Klug B., Hochbichler E.  
Universität für Bodenkultur Wien  
Institut für Waldbau  
Institut für Botanik

### 1. AUSGANGSSITUATION



### Region Hochleitenwald

- Wuchsgebiet 8.1 (nach Kilian, 1994)
- Relativ hohe Jahressummen zwischen 8 - 10°C
- Jahresniederschlagsummen zwischen 500 und 600 mm
- Kollin-planare und submontane Höhenstufe
- Bodenentwicklung: Ausgangsmaterial sind tertiäre, pontische und marine Absätze, Lössablagerungen, abgelagertes Erosionsmaterial sowie Erosionsreste (Krapfenbauer, 1984)
- Waldausstattung knapp 1%
- Eichenreiche Nieder- und Mittelwälder
- Waldgesellschaften: „Eichen-Hainbuchenwald“ mit unterschiedlichen Variationen (Starlinger, 1994)
- Probleme: zunehmende Klimaextreme, abnehmende Jahresniederschläge, Mäusebefall, Verschlechterung der Niederschlagsverteilung, Zunahme der Luftschadstoffe wie Ozon, Stickoxide, Schwefeldioxid etc.

### 2. VERSUCHSFÄCHEN

#### Versuchsfäche Grandmühl:

Bei der Versuchsfäche Führhacker handelt es sich um eine Schirmshagsfläche mit Eichenüberhältern im Alter zwischen 120 und 140 Jahren. Die Flächengröße der Versuchsanlage beträgt rund 2,2 ha. Um Daten über Verjüngungsdynamik, Bestandesentwicklung und Bestandesbearbeitung zu erhalten, wurden nach dem Mittelwald Verjüngungsheb im Winter 1989/90 im darauffolgenden Sommer 1990 vom Forstamt Praxisversuchsparzellen mit unterschiedlichen Behandlungsvarianten angelegt (mit/ohne Zaun und behandelt sowie unbehandelt). Auf der Versuchsfäche erfolgten in den behandelten Varianten im Zeitraum von 1991 bis 1997 jeweils zwei Pflegeeingriffe (vorwiegend Entfernung von Hasel und Hartriegel).

#### Versuchsfäche Führhacker:

Bei der Versuchsfäche Führhacker handelt es sich um eine Schirmshagsfläche mit Eichenüberhältern im Alter zwischen 120 und 140 Jahren. Die Flächengröße der Versuchsanlage beträgt rund 2,2 ha. Um Daten über Verjüngungsdynamik, Bestandesentwicklung und Bestandesbearbeitung zu erhalten, wurden nach dem Mittelwald Verjüngungsheb im Winter 1989/90 im darauffolgenden Sommer 1990 vom Forstamt Praxisversuchsparzellen mit unterschiedlichen Behandlungsvarianten angelegt (mit/ohne Zaun und behandelt sowie unbehandelt). Auf der Versuchsfäche erfolgten in den behandelten Varianten im Zeitraum von 1991 bis 1997 jeweils zwei Pflegeeingriffe (vorwiegend Entfernung von Hasel und Hartriegel).

### 3. METHODEN UND MATERIAL

#### Geobotanik und Phytomasse (VFL Grandmühl):

Bild 1



**Arbeiten im Gelände:**  
• Pflanzocoenotische Aufnahmen (Sommer 1997 und 1999)  
• Geschichtete Ernte der oberirdischen Phytomasse in 20 cm Schritten (Sommer 1999)

#### Arbeiten im Labor:

- Ermittlung der Spezifischen Blattfläche (SLA, g/cm<sup>2</sup>) bzw. Spezifischen Grünfläche (S-GA, g/m<sup>2</sup>) aller im Bestand vorhandenen Arten, auch der Gräser und Kräuter.
- Ermittlung des Gesamtrockengewichts aller Bestandkomponenten und Schichten
- Erhebung des Blattflächenindex (LAI, m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> bzw. GAI, m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

#### Biomasse (VFL Führhacker):

##### -Biomasse Einzelbaum-/strauch (Bellós, 2000)

Bild 2



**Arbeiten im Gelände:**  
• Aufnahmepunkt Sommer 1998  
• Entnahme von 15 - 20 Individuen pro acht dominierender Baum-/ Straucharten  
• Ansprache der Merkmale Höhe, WHD<sub>01</sub>, BHD, Kronenansatz und Länge  
• Aufarbeitung der Bäume und Sträucher, getrennt nach Stamm und Krone in die Fraktionen:  
Stamm > 1 cm, 7-5 cm, 5-2 cm und 2-1 cm  
Ast > 7 cm, 7-5 cm, 5-2 cm und 2-1 cm  
Zweige < 1 cm und Blätter

• Ermittlung des Frischgewichts vor Ort (Vollaufnahme der Fraktion Stamm, Ast, Zweige + Blätter) und Entnahme von Telproben (Bild 2)

#### Arbeiten im Labor:

- Trocknen der Telproben bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz
- Ermittlung der Gesamtrockengewichte für die Baum- / Straucharten
- Ermittlung der Blattflächen mittels Photometer
- Einzelbaumweise Ermittlung der Biomassenvorräte mittels regressionsanalytischer Methode (Hochbichler et al., 1994, Pöllner, 1986; Lick, 1989; Freedman, 1982, etc.) [In  $TG_{RKA}$  = a + b \* ln (WHD<sub>01</sub>)]

#### Biomasse Unterholz: (Bellós, 2000; Laschober, 2000)

Im Jahr 1997 erfolgte auf der Versuchsfäche Führhacker eine Verjüngungsinventur (Raster 20\*20m, Probefläche 4m<sup>2</sup>), auf deren Daten sich die Biomassenberechnung stützt.

### 4. ERGEBNISSE

#### Geobotanik und Phytomasse:

- Abb. 1 Mittlere Oberirdische Phytomasse auf der Versuchsfäche Grandmühl (G1) für die Jahre 1997 und 1999 in Gramm Prochmetrische (g/DS m<sup>2</sup>), getrennt nach Baum-Sträucher, Krone/Fußboden und Gräser
- Abb. 2 Darstellung der Entwicklung der oberirdischen Gesamphytomasse (kg/ha), des mittleren Kronenhöhen (m) und der Anteilsfläche auf der Versuchsfäche Grandmühl in den Jahren 1997 und 1999.
- Abb. 3 + Abb. 4 Geschichtete, kumulative dargestellte oberirdische Gesamphytomasse (g/DS m<sup>2</sup>) und kumulativer GAI (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) im Jahr 1999 auf einer mit wenigen Holzplanten bewachsenen Teilfläche bei einer Teilbestandeshöhe von 240 cm (Plot a) und auf einer dicht mit Hainbuche bewachsenen Teilfläche mit einer Teilbestandeshöhe von 340 cm (Plot b)

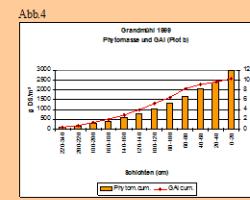
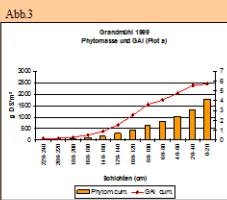
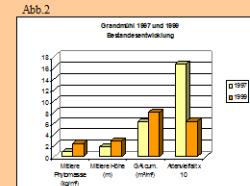
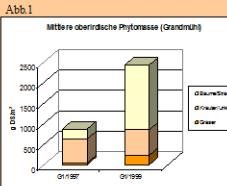
#### Biomasse:

- Abb. 5 Zusammenhang von WHD<sub>01</sub> in cm und der Biomasse der Fraktion GHRBLG (Stamm + Ast + Zweige + Blätter) in Gramm beispielhaft für die Baumart Feldahorn.
- Abb. 6 Mittlere Biomasse in kg/ha für das Unterholz auf der Versuchsfäche Führhacker, getrennt nach Baum- / Straucharten und Biomassfraktionen.
- Abb. 7 Mittlere Biomasse in kg/ha auf der Versuchsfäche Führhacker, getrennt nach Behandlungsvarianten und Fraktionen.
- Abb. 8 Boxplotdarstellung für die Behandlungsvarianten auf der Versuchsfäche Führhacker.

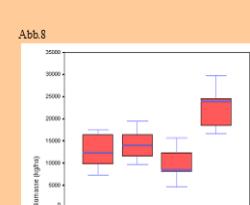
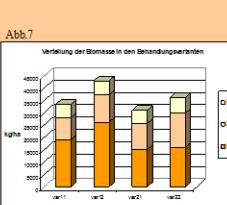
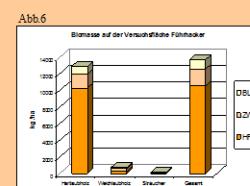
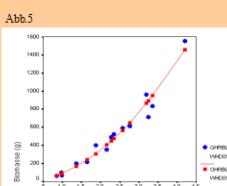
Bellós P.: bellós@dvb.boku.ac.at Klug B.: brklug@dvb.boku.ac.at Hochbichler E.: ehochb@dvb.boku.ac.at

### 5. DARSTELLUNGEN

#### Geobotanik



#### Biomasse



### 6. LITERATUR

- Kilian, W.; Müller, F. und Starlinger, F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. FBVA Berichte, 82/1994, 60S
- Krapfenbauer, A. (1984): Beiträge zur Problematik des Mittelwaldes und seiner Bewirtschaftung 24-27S
- Starlinger, F. (1994): Natürliche Waldgesellschaften im „Sommerwarmen Osten“, Österreich. FBVA Berichte, 82/1994, 45S
- Pöllner, P. (1986): Biomassemessungen im Kalkbuchenwald. Dissertation, Univ. Göttingen
- Lick, E. (1989): Untersuchungen zur Problematik des Biomassen- und Nährlementenutzung bei der Erstdurchforstung eines zentralalpinen Fichtenbestandes. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur, Wien
- Hochbichler, E., Krapfenbauer, A., Putzgruber, N., (1994): Biomasse- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40-jährigen Buchenbestand für das gesamte Forstwesen. 111. Jahrgang (1994), 1-22S
- Bellós, P. (2000): Biomassemusteruntersuchungen auf Verjüngungsflächen im Mittelwald. Dipl. Arbeit Univ. f. Bodenkultur Laschober, A. (2000): Jungwuchsanalysen auf Mittelwaldstandorten. Dipl. Arbeit Univ. f. Bodenkultur

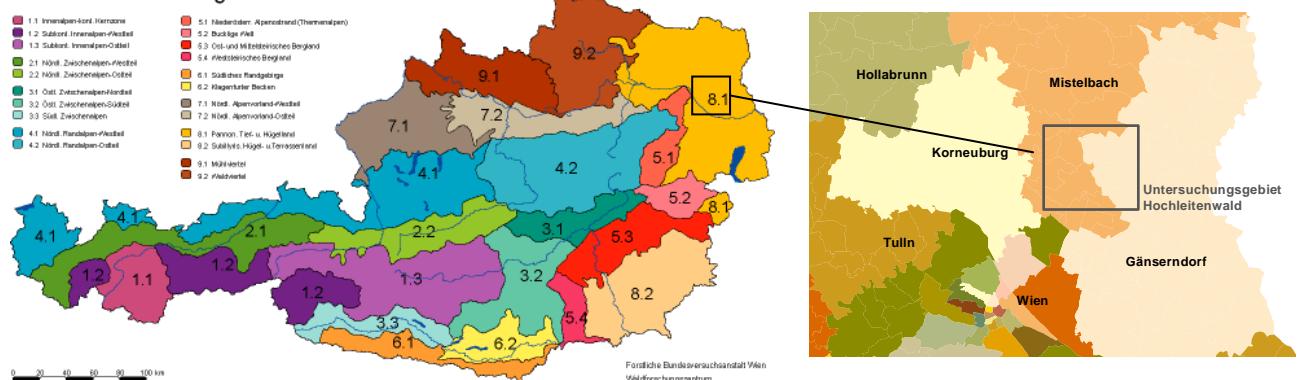
Danksagung: Die Untersuchungen konnten dankenswerter Weise mit Unterstützung zweier Projekte des von der Nationalbank geförderten Projektes „Zur Eichenmittelwaldbewirtschaftung im sommerwarmen Osten Österreichs“ Projekt Nr. 6554 und des Interreg IIc Projektes „Neuaufzüchtungen in unterbewaldeten Gebieten des pannosischen Raumes“ durchgeführt werden.

# Biomassen- (Blattflächen) Verteilung und Entwicklung auf Verjüngungsflächen (Unterholz) im Mittelwald

Panagoitis Bellos, Brigitte Klug, Eduard Hochbichler

## 1. Ausgangssituation

Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs



Region Hochleitenwald:

- Wuchsgebiet 8.1 (nach KILIAN, 1994)
- Relativ hohe Jahresmitteltemperaturen zwischen 8-10°C
- Jahresniederschlagssummen zwischen 500 und 600mm
- Kollin – planare und submontane Höhenstufe
- Waldausstattung knapp 15% (Eichenreiche Nieder- und Mittelwälder)
- Waldgesellschaften: „Eichen- Hainbuchenwald“ mit unterschiedlichen Variationen (STARLINGER, 1994)
- Probleme: zunehmende Klimaextreme, abnehmende Jahresniederschläge, Verschlechterung der Niederschlagsverteilung, Zunahme der Luftschadstoffe wie Ozon, Stickoxide, Schwermetalle, etc., Mistelbefall.....

## 2. Versuchsflächen

### 2.1 Grandmühl

Die Mittelwald - Versuchsanlage Grandmühl, auf welcher seit 1977 waldökologische, waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen mit unterschiedlicher Intensität durchgeführt worden sind, wurde im Winter/Frühjahr 1995/96 nach einem Mittelwaldhieb im angrenzenden Bestand durch Zaunerweiterung vergrößert (KRAPFENBAUER, 1984). Demnach beträgt die Fläche der „neuen“ Versuchsanlage Grandmühl ca. 3,5 ha, bestehend aus einem Mittelwaldbestand von ca. 2 ha und einer Mittelwaldschlagfläche (Verjüngungsfläche) von rund 1,5 ha.

## 2.2 Führhacker

Bei der Versuchsfläche Führhacker handelt es sich um eine Schirmschlagfläche mit Eichenüberhältern im Alter zwischen 120 und 140 Jahren. Die Flächengröße der Versuchsanlage beträgt rund 2,2 ha. Um Daten über Verjüngungsdynamik, Bestandesentwicklung und Bestandesbehandlung zu erhalten, wurden nach dem Mittelwald Verjüngungshieb im Winter 1989/90 im darauffolgenden Sommer 1990 vom Forstamt Praxisversuchsparzellen mit unterschiedlichen Behandlungsvarianten angelegt („mit/ohne Zaun und behandelt sowie unbehandelt). Auf der Versuchsfläche erfolgten in den behandelten Varianten im Zeitraum von 1991 bis 1997 jeweils zwei Pflegeeingriffe (vorwiegend Entfernung von Hasel und Hartriegel).

## 3. Methoden und Material

### 3.1 Geobotanik und Phytomasse (Grandmühl)

#### Arbeiten im Gelände:

- Pflanzensoziologische Aufnahmen (Sommer 1997 und 1999)
- Geschichtete Ernte der oberirdischen Phytomasse in 20 cm Schritten (Sommer 1999)

#### Arbeiten im Labor:

- Ermittlung der Spezifischen Blattfläche (SLA, g/cm<sup>2</sup>) bzw. Spezifischen Grünfläche (SGA, g/cm<sup>2</sup>) aller im Bestand vorkommenden Arten, auch der Gräser und Kräuter
- Ermittlung des Gesamtrockengewichts aller Bestandeskomponenten und Schichten
- Erhebung des Blattflächenindex (LAI, m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> bzw. GAI, m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

### 3.2 Biomasse (Führhacker)

#### -Biomasse Einzelbaum- /strauch (BELLOS, 2000)

#### Arbeiten im Gelände:

- Aufnahmezeitpunkt Sommer 1998
- Entnahme von 15 - 20 Individuen pro acht dominierender Baum-/ Straucharten
- Ansprache der Merkmale: Höhe, WHD<sub>01</sub>, BHD, Kronenansatz und Länge
- Aufarbeitung der Bäume und Sträucher, getrennt nach Stamm und Krone in die Fraktionen:
  - Stamm: >7 cm, 7-5 cm, 5-2 cm und 2-1 cm
  - Ast: >7 cm, 7-5 cm, 5-2 cm und 2-1 cm
  - Zweige: <1 cm und
  - Blätter
- Ermittlung des Frischgewichtes vor Ort (Vollaufnahme der Fraktion Stamm, Ast, Zweige + Blätter) und Entnahme von Teilproben

#### Arbeiten im Labor:

- Trocknung der Teilproben bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz
- Ermittlung der Gesamtrockengewichte für die Baum-/ Straucharten
- Ermittlung der Blattflächen mittels Photometer

- Einzelbaumweise Ermittlung der Biomassenvorräte mittels regressionsanalytischer Methode (HOCHBICHLER ET AL., 1994; PELLINEN, 1986; LICK, 1989; FREEDMAN, 1982; etc.)  

$$[\ln \text{TGFRA} = a + b * \ln (\text{WHD01})]$$
- Biomasse Unterholz: (BELLOS, 2000; LASCHOBER, 2000)

Im Jahr 1997 erfolgte auf der Versuchsfläche Führhacker eine Verjüngungsinventur (Raster 20\*20m, Probefläche 4m<sup>2</sup>), auf deren Daten sich die Biomassenberechnung stützt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Geobotanik und Phytomasse

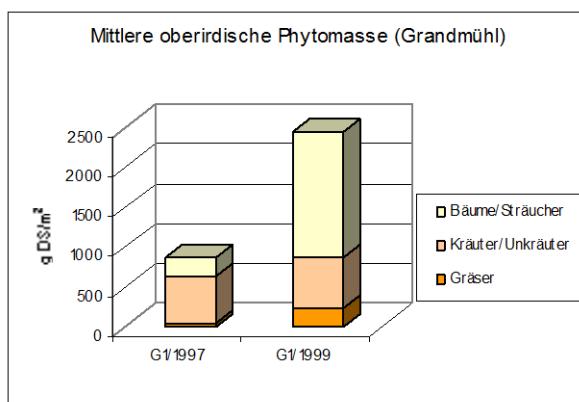


Abb. 1: Mittlere Oberirdische Phytomasse auf der Versuchsfläche Grandmühl (G1) für die Jahre 1997 und 1999 in Gramm Trockensubstanz/m<sup>2</sup> (gDS/m<sup>2</sup>), getrennt nach Bäume/Sträucher, Kraut/Unkräuter und Gräser.

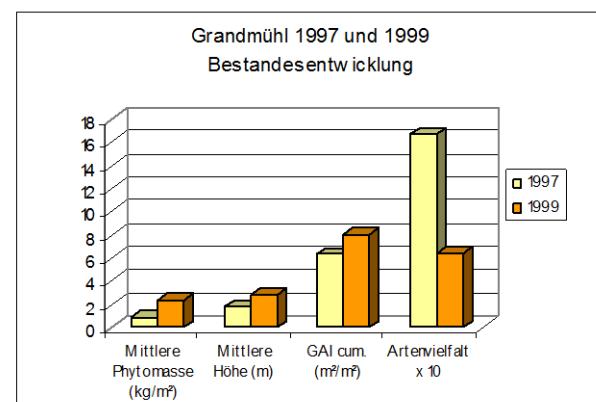


Abb. 2: Direkter Vergleich der mittleren oberirdischen Gesamtphytomasse (kg/m<sup>2</sup>), der mittleren Höhe (m), des mittleren kumulativen GAI (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) und der Artenvielfalt auf der Versuchsfläche Grandmühl in den Jahren 1997 und 1999.

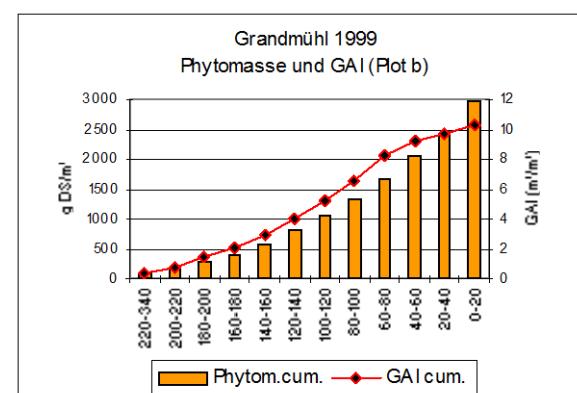
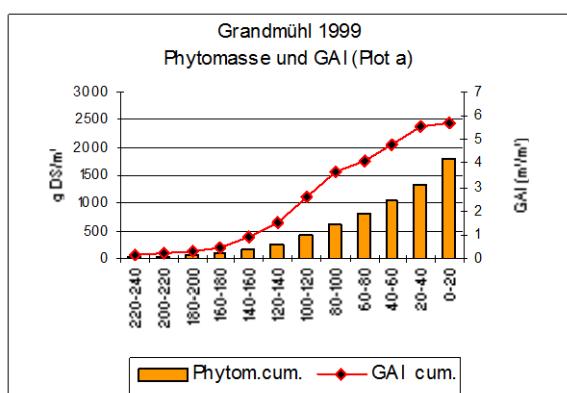


Abb. 3 + Abb. 4: Geschichtet geerntete, kumulativ dargestellte oberirdische Gesamtphytomasse (g DS/m<sup>2</sup>) und kumulativer GAI (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) im Jahr 1999 auf einer mit wenigen Holzpflanzen bewachsenen Teilfläche bei einer Teilbestandeshöhe von 240 cm (Plot a) und auf einer dicht mit Hainbuche bewachsenen Teilfläche mit einer Teilbestandeshöhe von 340 cm (Plot b).

## 4.2 Biomasse

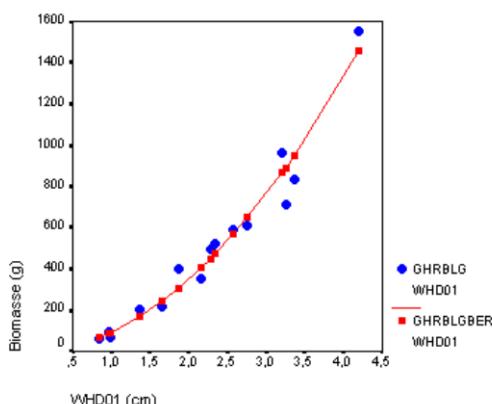


Abb. 5: Zusammenhang von WHD01 in cm und der Biomasse der Fraktion GHRBLG (Stamm + Ast + Zweige + Blätter) in Gramm beispielhaft für die Baumart Feldahorn.

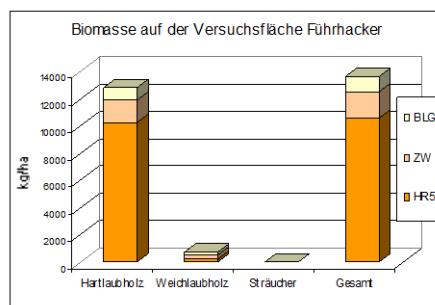


Abb. 6: Mittlere Biomasse in kg/ha für das Unterholz auf der Versuchsfläche Führhacker, getrennt nach Baum-/Straucharten und Biomassefraktionen.

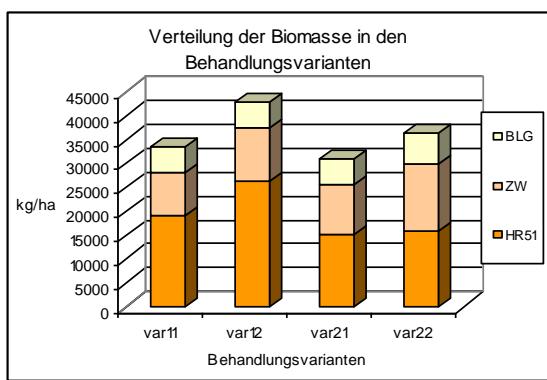


Abb. 7: Mittlere Biomasse in kg/ha auf der Versuchsfläche Führhacker, getrennt nach Behandlungsvarianten und Fraktionen.

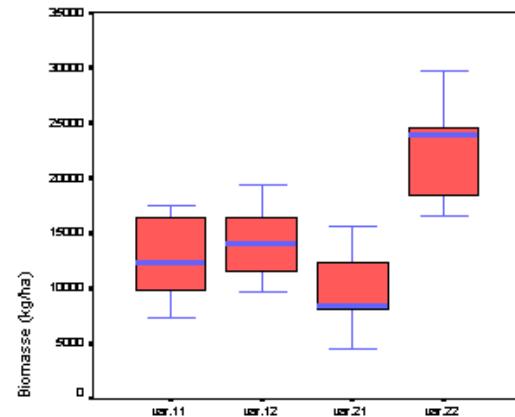


Abb. 8: Boxplotdarstellung für die Behandlungsvarianten auf der Versuchsfläche Führhacker.

## 5. Literatur

- KILIAN, W.; MÜLLER, F.; UND STARLINGER, F.; (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. FBVA Berichte, 82/1994, 60S
- KRAPFENBAUER, A. (1984): Beiträge zur Problematik des Mittelwaldes und seiner Bewirtschaftung 24-27S
- STARLINGER, F. (1994): Natürliche Waldgesellschaften im „Sommerwarmen Osten“, Österreichs. FBVA Berichte, 82/1994, 45S
- PELLINEN, P. (1986): Biomassenuntersuchungen im Kalkbuchenwald. Dissertation, Univ. Göttingen
- LICK, E. (1989): Untersuchungen zur Problematik des Biomassen- und Nährlemententzuges bei der Erstdurchforstung eines zentralalpinen Fichtenbestandes. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur, Wien
- HOCHBICHLER, E.; KRAPFENBAUER, A.; PUTZGRUBER, N.; (1994): Biomasse- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40-jährigen Buchenbestand. Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 111. Jahrgang (1994), 1-22S
- BELLOS, P. (2000): Biomassenuntersuchungen auf Verjüngungsflächen im Mittelwald. Dipl. Arbeit Univ. f. Bodenkultur
- LASCHOBER, A. (2000): Jungwuchsanalyse auf Mittelwaldstandorten. Dipl. Arbeit Univ. f. Bodenkultur

**Danksagung:** Die Untersuchungen konnten dankenswerter Weise mit Unterstützung zweier Projekte, des von der Nationalbank geförderten Projektes „Zur Eichenmittelwaldbewirtschaftung im sommerwarmen Osten Österreichs“ Projekt Nr.6554 und des Interreg IIc Projektes „Neuaufforstungen in unterbewaldeten Gebieten des pannonicischen Raumes“ durchgeführt werden.

# Vergleich von Biomasse, Elementgehalten und Elementvorräten von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) am Standort Höglwald zu Zeiten der Vegetationsruhe

Wendelin Weis, Axel Göttlein

## 1. Einleitung

Im Rahmen der Stoffhaushaltsuntersuchungen am Standort Höglwald wurde im Winter 1998/1999 eine Erhebung der oberirdischen Biomasse in einem sehr gut wüchsigen Fichtenbestand und einem gut wüchsigen Buchenbestand durchgeführt. Die Untersuchung hatte folgende Ziele:

1. Vergleichende Quantifizierung der in den Beständen gespeicherten Menge an Stickstoff und anderen Nährelementen.
2. Ermittlung der Verteilung der Nährelemente auf die einzelnen Baumkompartimente, auch im Hinblick auf Nährstoffverluste bei verschiedenen Nutzungsformen.
3. Abschätzung der jährlichen Netto- Elementaufnahme der Bestände, einer wichtigen Größe bei der Bilanzierung des Stoffhaushalts im Ökosystem Wald.

## 2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden im Winter 1998/99 an jeweils 5 Bäumen eines 90-jährigen Fichtenbestandes und eines 95-jährigen Buchenbestandes am Standort Höglwald (16 km südöstlich von Augsburg) durchgeführt. Die Bestände liegen auf ca. 540 m NN im oberbayerischen Tertiärhügelland. Der Boden ist eine saure Parabraunerde mit leichter Pseudovergleyung im Unterboden, entstanden aus Feinsedimenten des Obermiozäns mit Lößlehmkomponenten im Oberboden (Göttlein & Kreutzer 1991). Der Jahresniederschlag beträgt ca. 850 mm, die Jahresmitteltemperatur 7,6 °C. Die mittlere Anzahl der Tage im Jahr mit einer Temperatur über 10 °C beträgt 155. Der Standort ist gekennzeichnet durch eine gute Nährstoffversorgung im Boden und hohe atmosphärische Stickstoffeinträge (Rothe 1997, Kreutzer & Weiss 1998).

Die Auswahl der Bäume orientierte sich am Mitteldurchmesser des jeweiligen Bestandes. Jeweils fünf Probebäume wurden in folgende Kompartimente unterteilt: einjährige Nadeln, mehrjährige Nadeln, Zweige mit Durchmesser kleiner 1 cm, Zweige und Äste mit Durchmesser größer 1 cm, Stammrinde und Stammholz. Vor Ort erfolgte die Bestimmung der Frischgewichts am gesamten Kompartiment, wobei Holz und Rinde zusammen gewogen wurden. Im Labor wurden repräsentative Teile auf Trockengewicht (Trocknung bei 65 °C bis zur Gewichtskonstanz) und die Elemente C, N (quantitative Verbrennung, CHN-1000, LECO), P, K, Ca, Mg und Mn (Druckaufschluss mit 65 % HNO<sub>3</sub> suprapur, Atom-Emissions-Spektroskopie, ICP-OES Optima 3000, Perkin Elmer) analysiert. Im Stammbereich fanden Trockengewichtsbestimmung und Elementanalysen an Mischproben aus ca. 15 über die gesamte Stammlängsachse verteilten Stammscheiben, getrennt nach Holz und

Rinde, satt. Die Gesamtmasse von Stammholz und Stammrinde wurde auf der Grundlage der Massenverhältnisse der einzelnen Stammscheiben berechnet. Die zum Vergleich angegebenen Analysewerte für Buchenblätter stammen aus einer Beprobung im Sommer 1995.

Die Bestimmung des jährlichen Holzzuwaches erfolgte an je drei der fünf Probenäume. Die Jahrringe von 14 – 15 Stammscheiben pro Baum, verteilt über die gesamte Baumängsachse, wurden vermessen und mit den Längen der einzelnen Stammschnitte verrechnet. Für den Rindenzuwachs wurde vereinfacht ein annähernd konstantes Verhältnis zwischen Rinden- und Holzmasse während der letzten 20 Bestandesjahre angenommen.

Der Streufall wurde mittels 8 (Fichte) bzw. 5 (Buche) Streufängern mit einer Auffangfläche von je 0,25 m<sup>2</sup> gesammelt, getrocknet, gewogen und wie oben beschrieben analysiert.

### 3. Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Die oberirdische Biomasse des Einzelbaums liegt für Fichte bei 0,95 t und damit deutlich unter dem Wert für Buche (1,6 t). Auf Bestandesebene führt die hohe Stammzahl im Fichtenbestand (621 ha<sup>-1</sup> gegenüber 283 ha<sup>-1</sup> bei Buche) jedoch zu umgekehrten Verhältnissen (590 t ha<sup>-1</sup> oberirdische Biomasse für Fichte; 460 t ha<sup>-1</sup> für Buche). Dabei ist für beide Baumarten das Stammholz der Hauptbiomassespeicher. Bei Buche spielt außerdem das Astholz, in dem ca. 20 % der oberirdischen Biomasse bevorratet sind, eine wichtige Rolle.

Einen vergleichenden Überblick der Elementgehalte in den verschiedenen Kompartimenten für Fichte und Buche zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Elementgehalte der einzelnen Kompartimenten bei Fichte und Buche (Mittelwerte, n = 5). Beprobung im Winter 1998/99. Die Werte für Buchenblätter (grau hinterlegt) stammen aus einer Blattprobenahme im Juni/Juli 1995 (Rothe 1997).

| Kompartiment                          | F i c h t e           |       |      |      |       |      |      | B u c h e             |       |      |      |       |      |      |
|---------------------------------------|-----------------------|-------|------|------|-------|------|------|-----------------------|-------|------|------|-------|------|------|
|                                       | C                     | N     | P    | K    | Ca    | Mg   | Mn   | C                     | N     | P    | K    | Ca    | Mg   | Mn   |
|                                       | [g kg <sup>-1</sup> ] |       |      |      |       |      |      | [g kg <sup>-1</sup> ] |       |      |      |       |      |      |
| Nadeln/Blätter                        | 564                   | 14,07 | 1,18 | 4,10 | 4,89  | 0,89 | 2,13 | 500                   | 19,77 | 1,22 | 5,35 | 5,79  | 1,69 | 1,35 |
| Zweige ( $\varnothing < 1\text{cm}$ ) | 550                   | 8,85  | 0,94 | 3,79 | 4,27  | 0,88 | 1,06 | 507                   | 8,32  | 1,02 | 2,49 | 4,41  | 0,60 | 0,71 |
| Äste ( $\varnothing > 1\text{cm}$ )   | 501                   | 2,65  | 0,27 | 0,94 | 3,21  | 0,43 | 0,73 | 481                   | 2,95  | 0,24 | 1,26 | 1,94  | 0,40 | 0,32 |
| Stammholz                             | 492                   | 1,00  | 0,05 | 0,29 | 0,68  | 0,11 | 0,22 | 517                   | 1,27  | 0,09 | 1,05 | 0,81  | 0,30 | 0,15 |
| Stammrinde                            | 509                   | 5,03  | 0,44 | 1,62 | 10,65 | 0,90 | 1,59 | 499                   | 7,47  | 0,43 | 2,50 | 14,06 | 0,67 | 0,99 |

Die daraus errechneten, mittleren, massegewichteten Elementgehalte für oberirdische Biomasse (Tab. 2) ergeben für Stickstoff (1,91 g kg<sup>-1</sup> für Fichte; 1,93 g kg<sup>-1</sup> für Buche) und Phosphor (0,14 g kg<sup>-1</sup> für Fichte; 0,15 g kg<sup>-1</sup> für Buche) nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Baumarten. Dagegen finden sich bei Fichte im Vergleich zu Buche höhere Gehalte an Calcium und Mangan und niedrigere Gehalte an Kalium und Magnesium. Die Vermutung liegt nahe, dass Stickstoffgehalte unabhängig von der Baumart hauptsächlich vom hohen Stickstoffangebot am Standort bestimmt werden, während kationische Nährelemente eher den spezifischen Bedarf der einzelnen Baumart widerspiegeln.

Tab. 2: Mittlere Elementgehalte der oberirdischen Biomasse bei Fichte und Buche zu Zeiten der Vegetationsruhe.  
Berechnung über die massegewichtete Mittellung der Daten aus Tabelle 1.

| F i c h t e           |      |      |      |      |      |      | B u c h e             |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| C                     | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | Mn   | C                     | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | Mn   |
| [g kg <sup>-1</sup> ] |      |      |      |      |      |      | [g kg <sup>-1</sup> ] |      |      |      |      |      |      |
| 497                   | 1,91 | 0,14 | 0,60 | 1,65 | 0,22 | 0,41 | 509                   | 1,93 | 0,15 | 1,17 | 1,50 | 0,34 | 0,22 |

Bei kompartimentweiser Betrachtung der Nährelementverteilung ergibt sich folgendes Bild (Tab. 3 und 4): Das Stammholz enthält trotz geringer Elementgehalte auf Grund der großen Masse einen Großteil der Nährelemente. Hohe Vorräte an Nährstoffkationen, insbesondere Calcium, finden sich in der Stammrinde, was, im Falle einer Nutzung, für das Belassen der Rinde im Bestand spricht. Bei Buche tragen Äste und Zweige wesentlich zu den Nährelementvorräten bei. Das Kompartiment „Fichtennadeln“ beinhalten hohe Mengen an Stickstoff und Phosphor, die Kationenvorräte liegen hier jedoch unter den in der Rinde enthaltenen Mengen.

Tab. 3: Durchschnittliche Massen und Elementvorräte im Einzelbaum für Fichte und Buche zu Zeiten der Vegetationsruhe (Winter 1998/99; Mittelwerte, n = 5)

| Kompartiment                          | F i c h t e |                          |                          |                          |                          |                          |                          | B u c h e                |       |                          |                          |                          |                          |                          |                          |    |
|---------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----|
|                                       | Masze       | C                        | N                        | P                        | K                        | Ca                       | Mg                       | Mn                       | Masze | C                        | N                        | P                        | K                        | Ca                       | Mg                       | Mn |
|                                       |             | [kg Baum <sup>-1</sup> ] |       | [kg Baum <sup>-1</sup> ] |    |
| Nadeln                                | 26          | 14,5                     | 361                      | 30                       | 105                      | 126                      | 23                       | 55                       |       |                          |                          |                          |                          |                          |                          |    |
| Zweige ( $\varnothing < 1\text{cm}$ ) | 24          | 13,3                     | 215                      | 23                       | 92                       | 104                      | 21                       | 26                       | 34    | 17,5                     | 286                      | 35                       | 86                       | 152                      | 21                       |    |
| Äste ( $\varnothing > 1\text{cm}$ )   | 60          | 30,0                     | 158                      | 16                       | 56                       | 192                      | 26                       | 44                       | 317   | 152,4                    | 934                      | 77                       | 398                      | 614                      | 126                      |    |
| Stammholz                             | 785         | 386,0                    | 787                      | 41                       | 224                      | 531                      | 87                       | 172                      | 1221  | 631,0                    | 1554                     | 106                      | 1288                     | 993                      | 370                      |    |
| Stammrinde                            | 59          | 29,8                     | 295                      | 26                       | 95                       | 624                      | 53                       | 93                       | 48    | 23,8                     | 356                      | 20                       | 119                      | 670                      | 32                       |    |
| oberirdische Biomasse                 | 953         | 473,7                    | 1816                     | 136                      | 572                      | 1576                     | 210                      | 389                      | 1620  | 824,6                    | 3131                     | 238                      | 1892                     | 2429                     | 549                      |    |
|                                       |             |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |       |                          |                          |                          |                          |                          | 357                      |    |

Tab. 4: Massen und Elementvorräte im Fichten- und Buchenbestand zu Zeiten der Vegetationsruhe (Winter 1998/99): Produkt aus Stammzahl (Fichte 621 ha<sup>-1</sup>, Buche 283 ha<sup>-1</sup>) und den Werten aus Tab. 3.

| Kompartiment                          | F i c h t e |                       |                        |                        |                        |                        |                        | B u c h e              |       |                       |                        |                        |                        |                        |                        |    |
|---------------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----|
|                                       | Masze       | C                     | N                      | P                      | K                      | Ca                     | Mg                     | Mn                     | Masze | C                     | N                      | P                      | K                      | Ca                     | Mg                     | Mn |
|                                       |             | [t ha <sup>-1</sup> ] | [kg ha <sup>-1</sup> ] |       | [t ha <sup>-1</sup> ] | [kg ha <sup>-1</sup> ] |    |
| Nadeln                                | 16          | 9,0                   | 224                    | 19                     | 65                     | 78                     | 14                     | 34                     |       |                       |                        |                        |                        |                        |                        |    |
| Zweige ( $\varnothing < 1\text{cm}$ ) | 15          | 8,3                   | 133                    | 14                     | 57                     | 64                     | 13                     | 16                     | 10    | 4,9                   | 81                     | 10                     | 24                     | 43                     | 6                      |    |
| Äste ( $\varnothing > 1\text{cm}$ )   | 37          | 18,6                  | 98                     | 10                     | 35                     | 119                    | 16                     | 27                     | 90    | 43,1                  | 264                    | 22                     | 113                    | 174                    | 36                     |    |
| Stammholz                             | 487         | 239,7                 | 489                    | 25                     | 139                    | 330                    | 54                     | 107                    | 346   | 178,6                 | 440                    | 30                     | 365                    | 281                    | 105                    |    |
| Stammrinde                            | 36          | 18,5                  | 183                    | 16                     | 59                     | 387                    | 33                     | 58                     | 13    | 6,7                   | 101                    | 6                      | 34                     | 190                    | 9                      |    |
| oberirdische Biomasse                 | 592         | 294,1                 | 1128                   | 84                     | 356                    | 979                    | 130                    | 241                    | 459   | 233,4                 | 886                    | 67                     | 535                    | 687                    | 155                    |    |
|                                       |             |                       |                        |                        |                        |                        |                        |                        |       |                       |                        |                        |                        |                        | 101                    |    |

Tabelle 5 zeigt die durchschnittliche, jährliche Netto-Elementaufnahme des Fichten- bzw. Buchenbestandes, gemittelt über die vergangenen 20 Jahre. Es wird hier nur die Zunahme der Elementvor-

räte durch Holz- und Rindenzuwachs berücksichtigt, nicht aber Veränderungen in der Nadel-, Zweig- und Astbiomasse. Die gezeigten Werte können dementsprechend nur als untere Abschätzung dienen. Der durchschnittliche jährliche Derbholzzuwachs liegt im Fichtenbestand bei 22 VfmD  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  und damit doppelt so hoch wie im Buchenbestand (11 VfmD  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) (Rothe 1997). Auf Grund der höheren Elementgehalte in Buchenholz und -rinde ergeben sich jedoch für beide Bestände vergleichbare Netto-Aufnahmeraten für Stickstoff von ca. 11 kg N  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ . Während Phosphor von beiden Baumarten in gleicher Menge aufgenommen wird, ergeben sich für Magnesium und insbesondere für Kalium höhere, für Calcium und Mangan geringere Aufnahmeraten im Buchenbestand.

Tab. 5: Mittleren, jährliche Elementaufnahme durch Holz- und Rindenzuwachs (1979 – 98) im Fichten- bzw. Buchenbestand (zugrunde gelegte Rohdichten im Holz: Fichte 408 kg  $\text{m}^{-3}$ ; Buche 631 kg  $\text{m}^{-3}$ ).

|            | F i c h t e                          |             |              |             |             |              |             |             | B u c h e                            |             |              |             |             |             |             |             |
|------------|--------------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|            | Zuwachs                              | C           | N            | P           | K           | Ca           | Mg          | Mn          | Zuwachs                              | C           | N            | P           | K           | Ca          | Mg          | Mn          |
|            | [kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] |             |              |             |             |              |             |             | [kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] |             |              |             |             |             |             |             |
| Stammholz  | 8142                                 | 4005        | 8,17         | 0,42        | 2,32        | 5,51         | 0,90        | 1,78        | 6794                                 | 3509        | 8,65         | 0,59        | 7,17        | 5,52        | 2,06        | 1,03        |
| Stammrinde | 608                                  | 309         | 3,06         | 0,27        | 0,99        | 6,47         | 0,55        | 0,97        | 265                                  | 132         | 1,98         | 0,11        | 0,66        | 3,73        | 0,18        | 0,26        |
| Summe      | <b>8749</b>                          | <b>4314</b> | <b>11,22</b> | <b>0,69</b> | <b>3,31</b> | <b>11,98</b> | <b>1,45</b> | <b>2,75</b> | <b>7059</b>                          | <b>3641</b> | <b>10,63</b> | <b>0,70</b> | <b>7,83</b> | <b>9,25</b> | <b>2,24</b> | <b>1,29</b> |

Die über den Streufall jährlich im Bestand umlaufenden Elementmengen zeigt Tabelle 6. Sie liegen für beide Baumarten deutlich über den jährlichen Netto-Elementaufnahmeraten. Im Vergleich zur gesamten oberirdischen Biomasse sind die im Streufall enthaltenen Elementmengen dagegen gering (bei Fichte ca. 6 %, bei Buche ca. 9 %).

Tab. 6: Jährliche Elementflüsse im Streufall unter Fichte und Buche. Mittelwerte der Jahre 1994 – 1999.

| F i c h t e                          |       |      |       |       |      |       | B u c h e                            |       |      |       |       |      |      |
|--------------------------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|--------------------------------------|-------|------|-------|-------|------|------|
| Menge                                | N     | P    | K     | Ca    | Mg   | Mn    | Menge                                | N     | P    | K     | Ca    | Mg   | Mn   |
| [kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] |       |      |       |       |      |       | [kg $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] |       |      |       |       |      |      |
| 5669                                 | 65,78 | 4,63 | 10,05 | 34,27 | 3,88 | 12,81 | 6210                                 | 67,80 | 5,15 | 18,62 | 40,95 | 7,21 | 8,80 |

#### 4. Literatur

- GÖTTLIN A. & KREUTZER K. 1991: Der Standort Höglwald im Vergleich zu anderen ökologischen Fallstudien. In: Kreutzer K. & Göttlein A. (Hrsg.): Ökosystemforschung Höglwald: Beiträge zur Auswirkung von saurer Beladung und Kalkung in einem Fichtenaltbestand. Forstw. Forschungen, Heft 39, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- ROTHE A. 1997: Einfluß des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 163.
- KREUTZER K. & WEISS T. 1998: The Höglwald field experiment – aims, concept and basic data Plant and Soil 199, 1 - 10

## Vergleich von Biomasse, Elementgehalten und Elementvorräten von Fichte (*Picea abies (L.) Karst.*) und Buche (*Fagus sylvatica L.*) am Standort Höglwald

W. Weis &amp; A. Göttlein

Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt, TU München

**Einführung**

Im Rahmen der Stoffhaushaltssuchungen am Standort Höglwald wurde im Winter 1998/1999 eine Erhebung der oberirdischen Biomasse in einem sehr gut wüchsigen Fichtenbestand und einem gut wüchsigen Buchenbestand durchgeführt. Ziel war es, die in den Beständen gespeicherte Menge an Stickstoff und anderen Nährelementen zu quantifizieren. Die gleichzeitige Zuwachsanalyse ermöglichte die Abschätzung der jährlichen Netto-Elementaufnahme, einer wichtigen Größe bei der Bilanzierung des Stoffhaushalts im Ökosystem Wald.

**Methodik**

Die Untersuchungen wurden im Winter 1998/99 an jeweils 5 Bäumen eines **90-jährigen Fichtenbestands** und eines **95-jährigen Buchenbestands** am Standort Höglwald (16 km südlich von Augsburg) durchgeführt. Die Auswahl der Bäume orientierte sich am Mitteldurchmesser des jeweiligen Bestands. Beprobten wurden die Kompartimente Nadeln, Zweige (< 1 cm Ø), Äste (> 1 cm Ø), Stammbolz und Stammrinde. Die Massenbestimmungen erfolgten vor Ort am gesamten Kompartiment. Im Labor wurden repräsentative Teile auf die Elemente Stickstoff (quantitative Verbrennung, CHN-1000 - LECO), Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium und Mangan (Druckauschluss mit  $\text{HNO}_3$ ), Atom-Emissions-Spektroskopie, ICP-OES Optima 3000 - Perkin Elmer) analysiert. Die Werte für Buchenblätter stammen aus einer Beprobung im Juni/Juli 1995.

**Elementgehalte**

|                       |        | N                        | P    | K    | Ca    | Mg   | Mn   |
|-----------------------|--------|--------------------------|------|------|-------|------|------|
|                       |        | [kg Baum <sup>-1</sup> ] |      |      |       |      |      |
| Nadeln                | Fichte | 14,07                    | 1,18 | 4,10 | 4,89  | 0,89 | 2,13 |
|                       | Buche  | 21,40                    | 1,12 | 5,27 | 4,75  | 1,37 | 1,33 |
| Zweige (< 1 cm)       | Fichte | 8,85                     | 0,94 | 3,79 | 4,27  | 0,88 | 1,06 |
|                       | Buche  | 8,32                     | 1,02 | 2,49 | 4,41  | 0,60 | 0,71 |
| Äste (> 1 cm)         | Fichte | 2,65                     | 0,27 | 0,94 | 3,21  | 0,43 | 0,73 |
|                       | Buche  | 2,95                     | 0,24 | 1,26 | 1,94  | 0,40 | 0,32 |
| Stammbolz             | Fichte | 1,00                     | 0,05 | 0,29 | 0,68  | 0,11 | 0,22 |
|                       | Buche  | 1,27                     | 0,09 | 1,05 | 0,81  | 0,30 | 0,15 |
| Stammrinde            | Fichte | 5,03                     | 0,44 | 1,62 | 10,65 | 0,90 | 1,59 |
|                       | Buche  | 7,47                     | 0,43 | 2,50 | 14,06 | 0,67 | 0,99 |
| oberirdische Biomasse | Fichte | 1,91                     | 0,14 | 0,60 | 1,65  | 0,22 | 0,41 |
|                       | Buche  | 1,93                     | 0,15 | 1,17 | 1,50  | 0,34 | 0,22 |

\* Blattprobenahme im September 1996

\*\* für Buche: ohne Berücksichtigung der Blätter

**Ergebnisse****Biomasse**

- Die durchschnittliche, oberirdische Biomasse der einzelnen Fichte liegt mit 0,95 t deutlich unter der Biomasse der einzelnen Buche (1,6 t).
- Auf Bestandsebene liegt der Vorrat an oberirdischer Biomasse mit 590 t ha<sup>-1</sup> im Fichtenbestand auf Grund der hohen Stammzahl pro Hektar (621 gegenüber 283 bei Buche) über dem des Buchenbestands (460 t ha<sup>-1</sup>).
- Das Stammbholz ist für beide Baumarten der Hauptbiomassesspeicher.
- Bei Buche spielt das Astholz mit einem Biomasseanteil von ca. 20 % eine wichtige Rolle.

**Vorrat Einzelbaum**

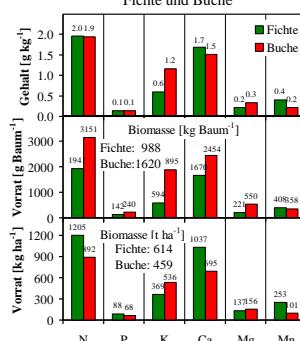
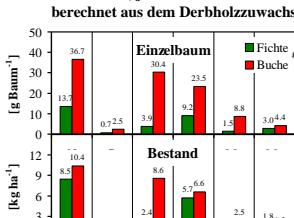
|                 |        | Massen                   | N                        | P                        | K                        | Ca                       | Mg                       | Mn                       |
|-----------------|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                 |        | [kg Baum <sup>-1</sup> ] |
| Nadeln          | Fichte | 26                       | 361                      | 30                       | 105                      | 126                      | 23                       | 55                       |
|                 | Buche  | 21                       | 416                      | 26                       | 113                      | 122                      | 36                       | 28                       |
| Zweige (< 1 cm) | Fichte | 24                       | 215                      | 23                       | 92                       | 104                      | 21                       | 26                       |
|                 | Buche  | 34                       | 286                      | 35                       | 86                       | 152                      | 21                       | 24                       |
| Äste (> 1 cm)   | Fichte | 60                       | 158                      | 16                       | 56                       | 192                      | 26                       | 44                       |
|                 | Buche  | 317                      | 934                      | 77                       | 398                      | 614                      | 126                      | 100                      |
| Stammbolz       | Fichte | 785                      | 787                      | 41                       | 224                      | 531                      | 87                       | 172                      |
|                 | Buche  | 1221                     | 1554                     | 106                      | 1288                     | 993                      | 370                      | 185                      |
| Stammrinde      | Fichte | 59                       | 295                      | 26                       | 95                       | 624                      | 53                       | 93                       |
|                 | Buche  | 48                       | 356                      | 20                       | 119                      | 670                      | 32                       | 47                       |

**Vorrat Bestand**

|                 |        | Massen                | N                      | P                      | K                      | Ca                     | Mg                     | Mn                     |
|-----------------|--------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                 |        | [t ha <sup>-1</sup> ] | [kg ha <sup>-1</sup> ] |
| Nadeln          | Fichte | 16                    | 224                    | 19                     | 65                     | 78                     | 14                     | 34                     |
|                 | Buche  | 6                     | 118                    | 7                      | 32                     | 35                     | 10                     | 8                      |
| Zweige (< 1 cm) | Fichte | 15                    | 133                    | 14                     | 57                     | 64                     | 13                     | 16                     |
|                 | Buche  | 10                    | 81                     | 10                     | 24                     | 43                     | 6                      | 7                      |
| Äste (> 1 cm)   | Fichte | 37                    | 98                     | 10                     | 35                     | 119                    | 16                     | 27                     |
|                 | Buche  | 90                    | 264                    | 22                     | 113                    | 174                    | 36                     | 28                     |
| Stammbolz       | Fichte | 487                   | 489                    | 25                     | 139                    | 330                    | 54                     | 107                    |
|                 | Buche  | 346                   | 440                    | 30                     | 365                    | 281                    | 105                    | 52                     |
| Stammrinde      | Fichte | 36                    | 183                    | 16                     | 59                     | 387                    | 33                     | 58                     |
|                 | Buche  | 13                    | 101                    | 6                      | 34                     | 190                    | 9                      | 13                     |

**Oberirdische Biomasse:**

Mittlere, massengewichtete Elementgehalte und Elementvorräte von Einzelbaum und Bestand für Fichte und Buche

**Durchschnittliche, jährliche Elementaufnahme berechnet aus dem Derbholzzuwachs****Elementgehalte**

- Fichte und Buche zeigen geringe Unterschiede in den mittleren, massengewichteten Elementgehalten der oberirdischen Biomasse für **Stickstoff** (Fichte: 1,91 g kg<sup>-1</sup>; Buche: 1,93 g kg<sup>-1</sup>) und **Phosphor** (Fichte: 0,14 g kg<sup>-1</sup>; Buche: 0,15 g kg<sup>-1</sup>).
- Fichte zeigt im Vergleich zu Buche höhere Gehalte an **Calcium** und **Mangan**.
- Buche zeigt im Vergleich zu Fichte höhere Gehalte an **Kalium** und **Magnesium**.
- Auf Kompartimentebene unterscheiden sich die Elementgehalte von Fichte und Buche für **alle** Elemente (vgl. Tabelle).

**Elementvorräte**

- Bei beiden Baumarten ist das **Stammbolz** trotz geringer Elementgehalte, auf Grund der großen Masse, das Kompartiment mit den höchsten Nährelementvorräten.
- Bei Buche finden sich in dem Kompartiment **Äste** hohe Nährelementvorräte.
- Die Rinde mit hohen Nährelementgehalten, besonders an Calcium, trägt vor allem bei Fichte wesentlich zu den Nährelementvorräten bei.
- Das Kompartiment **Fichtenadeln** beinhaltet hohe Mengen an Stickstoff und Phosphor, die Kationenvorräte liegen hier jedoch unter den in der Rinde enthaltenen Mengen.

**Zuwachs**

- Der durchschnittliche jährliche Derbholzzuwachs liegt im Fichtenbestand mit 22 VfmD ha<sup>-1</sup> doppelt so hoch wie im Buchenbestand (11 VfmD ha<sup>-1</sup>).
- Auf Grund der höheren Elementgehalte im Buchenholz ergeben sich mit Ausnahme von Mangan, höhere Netto-Aufnahmeraten im Buchenbestand.
- Besonders auffällig ist der hohe Bedarf des Buchenbestands an Kalium (vgl. Abbildung).

**Danksagung**

Die hier präsentierten Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsprojekts BMF0339616 „Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt in einem stickstoffübersättigten Waldökosystem (Höglwald)“ durchgeführt. Für die finanzielle Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung möchten wir uns an dieser Stelle bedanken. Unser Dank gilt ferner Frau Dr. Angela Jug und Herrn Wolfgang Mossburger für die Organisation und Durchführung der Probenahme und dem Laborpersonal für Aufarbeitung und Analyse der Proben im Labor.



# Fragebogenauswertung

E. Herbst et al.

170

# Biomasse und Nährstoffinventuren an forstlichen Forschungseinrichtungen im deutschsprachigen Raum Ergebnisse der Fragebogenauswertung

**Edgar Herbst, Valerie Kantelberg, Hans-Peter Dietrich**

Zur Vorbereitung des Workshops wurde im Oktober/November 2001 ein Fragebogen an die geladenen Forstlichen Versuchsanstalten, Forschungseinrichtungen und Institutionen im deutschsprachigem Raum versandt, um einen Überblick über bereits vorhandene, derzeit laufende und geplante Biomasseinventuren zu erhalten.

Der Fragebogen gliedert sich in drei Teile: Ein allgemeiner Teil erfragt Ziele und Fragestellungen derartiger Inventuren, ein methodischer Teil betrifft die einzelnen Inventuren und eine Zusatzfrage bezieht sich auf Publikationen aus den Untersuchungen. Der Fragebogen enthielt zahlreiche offene Fragen, die ein möglichst weites Spektrum an Antworten gestatteten. In Hinsicht auf methodische Aspekte der Inventuren wurde ein möglichst hoher Detaillierungsgrad angestrebt. Im Vordergrund stand die Klassifizierung vorhandener Information für spätere Vergleichsstudien. Die Literaturübersicht sollte auch „graue Literatur“ umfassen (z.B. Diplomarbeiten, unveröffentlichte Berichte u.ä.).

Bis zum Workshop gingen Antworten von 14 Institutionen bzw. Einzelpersonen ein:

Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Freising, Sachgebiet Standort und Umwelt  
Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) Institut für Forstökologie und Walderfassung  
Hessen-Forst; Forsteinrichtung, Information, Versuchswesen  
Institut für Waldwachstum und Betriebswirtschaft; Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien  
Landesforstanstalt Eberswalde, Abteilung Waldbau/Waldwachstum  
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Department für Ökologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TU München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising-Weihenstephan  
Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt  
Sächsische Landesanstalt für Forsten  
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Technische Universität München; Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt Department für Ökologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
Universität des Saarlandes, Fachrichtung Geographie  
Dr. Andreas Bolte: Georg August- Universität Göttingen; Institut für Waldbau  
Prof. Dr. Dieter Heinsdorf: Fachhochschule Eberswalde  
Prof. Dr. Wolfgang Nebe: Technische Universität Dresden, Sektion Tharandt

Die Antworten umfassen 30 Fragebögen mit insgesamt 41 Fallstudien zur Biomasseerhebung. Als „Fallstudien“ wurden jene Erhebungen klassifiziert, die räumlich und zeitlich trennbar waren.

Die Ergebnisse wurden während des Workshops präsentiert und diskutiert. Sie fassen die oft sehr heterogenen Antworten in Anlehnung an die Fragekomplexe des Fragebogens zusammen.

## 1. Ziele und Fragestellungen

### 1.1 Welche Ziele wurden bei den Biomasse- und Nährstoffinventuren verfolgt?

Die vielfältigen und detaillierten Angaben lassen sich wie folgt gruppieren:

#### Ziele der Inventuren:

##### ➤ Quantifizierung von Biomassen und Stoffgrößen (Struktur und Wachstum)

- Biomasse und Nährstoffe
  - Oberirdisch
  - Unterirdisch
- Nährstoffspeichermengen

##### ➤ Sicherung der Nachhaltigkeit durch Ermittlung von Veränderungen im Ökosystem

- Störung des Stoffhaushaltes (Einflussfaktoren)
  - Anthropogene Einflüsse
  - Nährstoffentzüge mit der Holzernte
    - Veränderung der Bodenfruchtbarkeit
    - Einfluss auf Vitalität (Kronenzustand, Phänologie)
- Stoffumsatz, Stoffflüsse biomasseabhängig

##### ➤ Modellentwicklung

- Quantifizierung (Masse und Nährstoffe)
- Zeitliche Dynamik
- Übertragbarkeit von Inventurergebnissen
  - auf Standort, Baumarten, Mischbestände

### 1.2 Welche Fragestellungen standen im Vordergrund?

Zusätzlich zu den jeweiligen Projektzielen wurden folgende Fragestellungen genannt:

- Wie verhält sich Ast und Blattmasse in Abhängigkeit von Kronengröße und Form?
- Wie ist die Kronenformentwicklung von Buche und Fichte unter gegenseitiger Konkurrenz?
- Wie ist der Einfluss der Witterung auf die Zeitdauer der Entfaltung des Nadel- bzw. Blattapparates und auf den Nadel / Blattfall?
- Kann eine ökologisch fundierten Normal-Belaubung in Abhängigkeit vom Standort, Alter, Bestandesdichte und der Witterung abgeschätzt werden?
- Quantifizierung der Blatt / Nadeloberflächen
- Wie ist die vertikale und horizontale Verteilung der Elementvorräte?
- Welche Beziehung gibt es im einzelnen zwischen Biomasse/Elementvorräte und Standortparametern bei den verschiedenen Baumarten?
- Welche Einflüsse haben unterschiedliche waldbauliche Behandlungen auf den Bioelementhaushalt?
- Wie entwickeln sich Biomasse und Elementrelationen im Laufe des Bestandslebens bei verschiedenen Baumarten?
- Sind Nährstoffe und Biomassenrelationen in Mischbeständen genauso abzuschätzen wie in Reinbeständen?

- Können Wurzelbiomasse und/oder Elementvorräte in der Wurzel aus Standortsparametern für verschiedene Baumarten abgeschätzt werden?
- Ist die Ernährungssituation und die Bewirtschaftung nachhaltig?
- Gibt es alternative Nutzungen unter N-Einschränkungen, mit Baumarten, anderer Umtriebszeit?
- Erfassung der Basenkreisläufe
- Sind Kalkung und oder Düngung erforderlich?
- Schaffung der Grundlagen für ein standortbezogenes Standortmanagement

## 2. Methodik der Untersuchungen

### 2.1 Was wurde untersucht?

Im Folgenden werden als eigenständige "Inventuren" jene Fallstudien definiert, bei denen Untersuchungen an Einzelbäumen erfolgten. Nach dieser Definition konnten 39 Inventuren ausgemacht werden (Tab. 1). Sie betrafen den gesamten Baum und ggf. zusätzlich den Wurzelbereich und die Bodenvegetation.

#### *Untersuchungsgegenstand*

Der jeweilige Untersuchungsgegenstand dieser Inventuren ist im folgenden dargestellt.

Tab. 1: *Untersuchungsgegenstand der Inventuren:*

|                        |    |
|------------------------|----|
| Inventuren             | 39 |
| Baum                   | 34 |
| Baum+Wurzel+Vegetation | 3  |
| Baum+Wurzel            | 10 |
| Baum+Vegetation        | 5  |
| nur Baum               | 16 |
| Wurzel                 | 18 |
| nur Wurzel             | 5  |

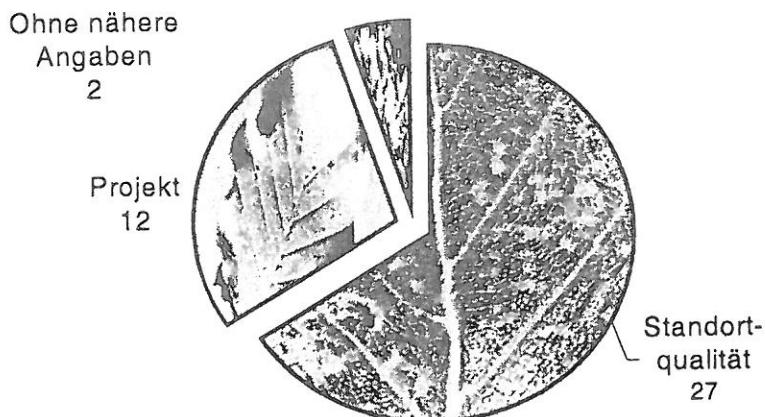
#### *Untersuchungsstandorte*

In 27 Fallstudien wurden besondere Standorteigenschaften als Auswahlkriterien genannt (Abb.1), die von Flächen mit historischer Nutzung, über Standorte mit Immissionsbeeinflussungen bis hin zur Auswahl nach definierter Standortqualität reichten (Geologie, Substrat, Geländebeschaffenheit).

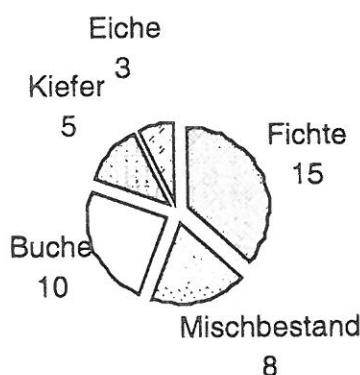
Zwölf mal waren die Fallstudien jeweils in ein umfangreiches Projekt eingebunden, das übergreifende Fragestellungen folgte und bei denen die Standortwahl untergeordnet war.

#### *Baumarten und Bestände*

In den insgesamt 41 Fallstudien wurden am häufigsten Fichtenbestände (15) untersucht (Abb. 2). Dreizehn Studien widmeten sich Laubbeständen (10 Buche, 3 Eiche), in acht Fällen erfolgten Aufnahmen in Mischbeständen.



a. 1: Flächenauswahl für Inventuren; Unterscheidung nach Fallstudien; Angaben in absoluten Zahlen.



b. 2: Untersuchte Baumarten und deren Häufigkeit; Unterscheidung nach Fallstudien; absoluten Zahlen.

den 34 Inventuren die konkret die oberirdische Baumbiomasse von Einzelbäumen ermittelten 'ab. 1) dominieren Fichtenbestände (10) und Mischbestände (17) (Tab. 2). Aufnahmen in Reinbeständen Buche, Kiefer und Eiche sind seltener. Bei 18 Wurzel-Inventuren (Tab. 1; Tab. 2) sind alle Baumarten bzw. Bestandstypen gleichstark vertreten.

ib. 2: Durchgeführte Baum- und Wurzel-Inventuren nach Beständen.

#### Bauminventuren (34)

|                   |    |
|-------------------|----|
| an Fichten        | 10 |
| an Buchen         | 2  |
| an Kiefern        | 4  |
| an Eichen         | 1  |
| an Mischbeständen | 17 |

#### Wurzelinventuren (18)

|                   |   |
|-------------------|---|
| an Fichten        | 5 |
| an Buchen         | 2 |
| an Kiefern        | 4 |
| an Mischbeständen | 7 |

### Bestandesalter

Die meisten Fallstudien betrafen Bäume/Baumbestände in der Altersgruppe 50-100 Jahre (Abb. 3). Wurde eine große Altersspannbreite angegeben, fielen die Untersuchungen in die Gruppe „alle Alter“.

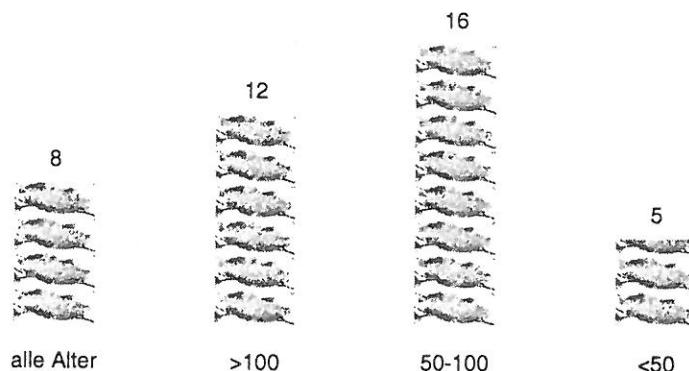


Abb. 3: Altersauswahl der Probetäume; Unterscheidung nach Fallstudien; absolute Zahlen.

### 2.2 Wie intensiv wurde untersucht?

#### Anzahl der Untersuchungsstandorte

Zwölf Fallstudien konzentrieren sich jeweils auf einen Untersuchungsstandort, siebzehn weitere Untersuchungen umfassen zwischen 2 und 7 Standorte; die größte Spreitung zeigt eine Fallstudie mit 140 verschiedenen Untersuchungen (Abb. 4). In zwei Fallstudien fanden sich keine Angaben zur Anzahl von Standorten.

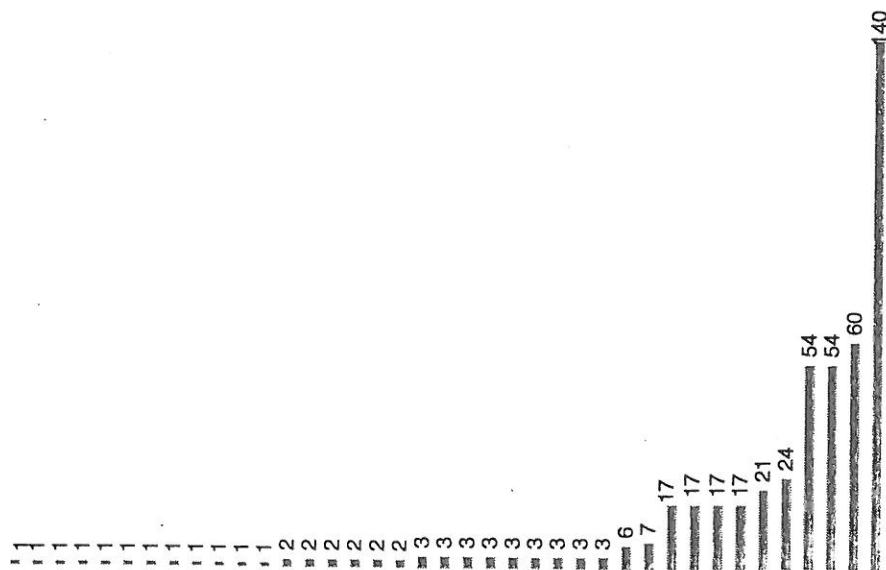


Abb. 4: Anzahl der untersuchten Standorte je Fallstudie; 2 Fallstudien ohne Angabe.

### Anzahl der Probetäume

In 19 Fallstudien wurden maximal bis zu 10 Probetäume untersucht; in weiteren 16 Fallstudien wurden die Biomasse und Elementvorräte an jeweils zwischen 11 und 100 Bäumen ermittelt; in zwei Fällen war die Baumzahl noch größer.

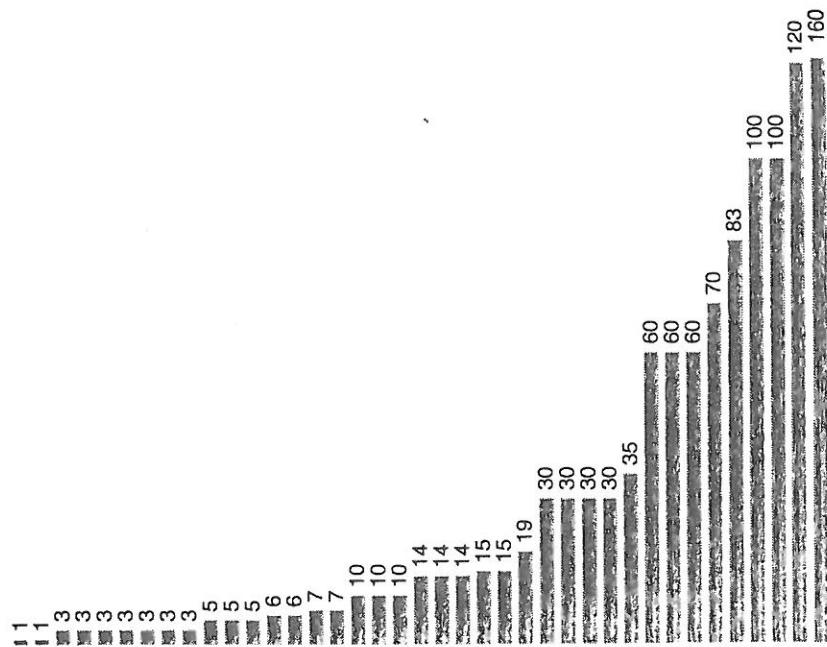


Abb.5: Anzahl der Bäume je Standort; zwei Fallstudien ohne Baumzahl, da keine Bäume untersucht wurden.

### Untersuchungsparameter

Bei den untersuchten Parametern fließt die Untersuchungstiefe mit ein. Die Gesamtbiomassen wie auch die Nährstoffvorräte (Baum / Bestand) werden in nahezu allen Erhebungen erfasst. Doch ist hier bereits die Spannbreite sehr hoch: einige Untersuchungen messen segmentiert und kompartimentiert von Wurzel bis zu Jahrestrieben, in anderen ist nur die Masse des Schaftholzes Untersuchungsgegenstand (Abb. 6)

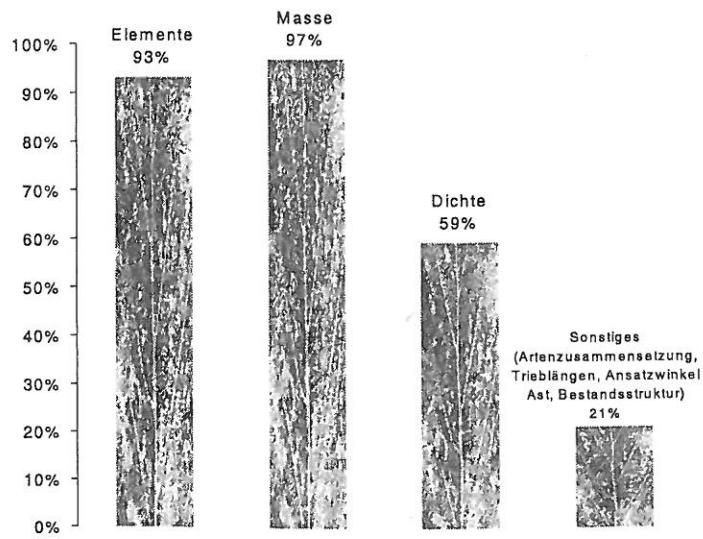


Abb.6: Bei den Inventuren untersuchte Parameter; Unterscheidung nach Fallstudien; Prozentangaben.

### **2.3 Wie werden Bestandesvorräte ermittelt?**

Vierzig Fallstudien schätzen Bestandesvorräte je Hektar (Tab. 3). In 16 Fällen werden Bestandesvorräte mit einem Regressionsverfahren über Einzelbaumkenndaten hochgerechnet, in 20 Fällen wird eine Hochrechnung über ein Mittelstammverfahren und die Stammzahl der Untersuchungsfläche vorgenommen. (z.t. unterschiedlicher Durchmesser oder Grundflächenklassen). Der Rest war nicht zuordenbar.

Bei Inventuren der Bodenvegetation wurden die Bestandswerte im Mittelwertverfahren über die Flächen hochgerechnet.

*Tab.3: Verfahren der Bestandsvorratsermittlung*

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Fallstudien                | 41 |
| Bestandsvorräte geschätzt: | 40 |
| • mit Regressionsverfahren | 16 |
| • mit Mittelwertverfahren  | 20 |
| • Keine Angaben            | 4  |

### **2.4 Wie wurden die Erhebungen genutzt?**

In 25 Studien wurden verschiedene allometrische Schätzgrößen aus den Einzelbaumdaten abgeleitet (Tab. 4). 29- mal wurden Standorts- und Stoffeintragsdaten genutzt um spezifische Stoffbilanzen für die Bestände zu erstellen, Stoffflüsse wurden in 26 Fällen berechnet. Eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Standort erfolgte in 15 Fällen. Die Inventurdaten aus 22 Fallstudien sind in Modellrechnungen eingeflossen. Bei acht Rückmeldungen wurde angegeben, dass weitere Projekte geplant sind.

*Tab.4: Auswertungsschwerpunkte und Anwendbarkeit der Inventuren; Unterscheidung nach Fragebögen; absolute Zahlen.*

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Fallstudien                       | 41 |
| Schätzgrößen abgeleitet           | 25 |
| Stoffbilanzen erstellt:           | 29 |
| Stoffflüsse berechnet:            | 26 |
| Übertragung auf andere Standorte: | 15 |
| Ergebnisse in Modellrechnungen:   | 22 |
| Sind weitere Projekte geplant:    | 8  |

## 2.5 Wo liegen künftige Forschungsschwerpunkte?

Im Rahmen der Fragebogenaktion wurde auch künftiger Forschungsbedarf nachgefragt. Folgende künftige Forschungsschwerpunkte wurden genannt:

- Erfassung von Vorrat und Nettoprimärproduktion der Rinde und der Wurzel
- Kalibrierung okularer Kronentransparenzschätzungen anhand von Probebaumbeerntung und Streufallmessungen
- Bedeutung der Bodenstruktur für die Vorräte und Freisetzung an Nährstoffen
- Erweiterung der Informationen zur unterirdischen Biomasse
- Schätzung der Grobwurzelbiomassen verschiedener Baumarten über allometrische Beziehungen zum BHD
- Einflussgrößen auf die Wurzelzersetzung
- Erweiterung der Modelle auf unterschiedliche Entwicklungsstadien (Alter)
- Erweiterung der Modelle auf andere Baumarten und Bestandstypen
- Modellentwicklung zur Abschätzung der Basenfreisetzung aus dem auf der Fläche verbleibendem Totholzes
- Ermittlung leaf area index und Bereitstellung benötigter Modellparameter
- Review und Synthese bisher vorliegender Arbeiten
- Übertragbarkeit von Untersuchungen auf andere Standorte, Baumarten und auf Mischbestände
- Mischbestandsuntersuchungen
- Einfluss von Störungen des Ökosystems auf den Stoffaustausch
- Standorts- und Ernährungsabhängigkeit der Ergebnisse
- Stoff- und Elementvorräte sowie deren Umsätze beim Waldumbau
- Einbindung der Ergebnisse in Ökosystembilanzen
- Verbesserung der Umtriebszeit Modelle
- Allgemeingültige Aussagen schaffen; Einbringung der Ergebnisse in die Praxis

## 3. Literaturangaben in den Fragebogenantworten

- AKÇA, A., HEIDRICH RISKE, M., MENCH, A. (1994); Biomasseentwicklung in umweltbelasteten Fichtenbeständen des Einzugsgebietes Lange Bramke. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, 397-410.
- ANDERS S. (1988); Modelle der ökofaktorenabhängigen Stoffproduktion gleichaltriger Baumholzreinbestände von Kiefer und Buche. Diss B, Techn. Univ. Dresden.
- ANDERS S., HOFMANN, G.; UNGER, S. (1985); Quantifizierung der Leistungspotenz natürlicher Standortsproduktivität für die Rohholzerzeugung - dargestellt am Beispiel natürlicher Buchenwälder des unteren Berglandes. Beitr. Forstwirtsch., Berlin 19, S. 97-109.
- ANDERS, S.; BECK, W.; BOLTE, A.; HOFMANN, G.; JENSSSEN, M.; KRAKAU, U.K.; MÜLLER, J 2001 Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands.
- BARTELT, D. (1999); Oberirdische Phyto- u. NährELEMENTmassen auf meliorierten, immissionsbelasteten Standorten des Erzgebirges. Diss, TU Dresden, Tharandt.
- BARTELT, NEBE, LEUBE (1999); Biogeochemisches Potential ausgewählter Baumarten auf meliorierten, immissionsbelasteten Standorten des Erzgebirges, LAF-Schriftenreihe H18/1999.
- BECK W. (1990); Zur Quantifizierung und Modellierung der oberirdischen Nettoprimärproduktion ausgewählter Kiefernökosysteme im Tiefland der DDR. Diss A, Akademie der Landwirtschaftswiss.
- BOLTE, A. (1999); Abschätzung von Trockensubstanz-, Kohlenstoff- und NährELEMENTvorräten der Waldbodenflora - Verfahren, Anwendung und Schätzverfahren. Diss. Tharandt.

- BURGER, H. (1929-1953), zit in MITSCHERLICH, G. (1978): Holz, Blattmenge und Zuwachs: Mitt. d. Schweizer Anst. f. d. forstl. Versuchswesen. Bde. 20;22;28;29
- DROSTE ZU HÜLSHOFF, B. Frhr. von (1969); Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes auf Grund einer Dimensionsanalyse an oberirdischen Baumorganen. München, Ludwig -Maximilians-Universität, Diss. 209 S.
- EICHHORN, J. (1991); Vergleichende Untersuchungen von Feinwurzelsystemen bei unterschiedlich geschädigter Altfichten (*Picea abies* KARST.). Forschungsberichte Hess. Forstl. Versuchsanstalt, Bd.3.
- EICHHORN, J. (1991); Wurzeluntersuchungen an sturmgeworfenen Bäumen der Frühjahrsorkane 1990 in Hessen. In Sturmschäden des Frühjahrs 1990 in Hessen. Forschungsbericht Hess. Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 12, S. 93 – 162.
- EICHHORN, J. (1992); Wurzeluntersuchungen an sturmgeworfenen Bäumen in Hessen, Forst und Holz 47, S. 555-559.
- EICHHORN, J. (1995); Stickstoffsättigung und ihre Auswirkungen auf das Buchenwaldökosystem der Fallstudie Zierenberg, Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 124.
- EICHHORN, J.; GRABOWSKI, H. (1991); Immissionsbelastung des Bodenlebens, AFZ 46, S. 70-73.
- ELLENBERG, H., MAYER, R., SCHAUERMANN, J. (1984); Ökosystemforschung –Ergebnisse des Sollingprojektes. Verlag Eugen Ulmer/ Stuttgart, 488 S.
- FEGER, K. H.; RASPE, S. (1992); Ernährungszustand von Fichtennadeln und -wurzeln in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot im Boden. Forstwiss. Cbl. 111, S. 73-86.
- FISHER, R.F., BINKLEY D. 2001 Ecology and Management of Forest Soils. J. Wiley & Sons NY. 489 p.
- GLATZEL, G. (1989); Internal proton generation in forest ecosystems as influenced by historic land use and modern forestry. Aus: Internationaler Kongreß Waldschadensforschung: Wissensstand und Perspektiven, Vorträge Band 1, S.335-349.
- HEINSDORF, D. (1997); Vergleichende boden- und ernährungskundliche Untersuchungen in Kiefernrein- und Kiefern-Buchen- Mischbeständen im Gebiet des nordostdeutschen Tieflandes. Diss. TU Dresden, Tharandt.
- HEINSDORF, D.; KRAUß, H.H. (1996); Herleitung von Trockenmassen und Nährstoffspeicherung in Buchenbeständen. Forschungsbericht der Landesanstalt Eberswalde, unveröfftl.
- HEINSDORF,D.; KRAUß, H. H. (1990); Schätztafeln für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung von Kiefernbeständen. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung, Heft 18.
- HOCHBICHLER, E.; PUTZGRUBER, N.; KRAPFENBAUER, A. (1994); Biomassen- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40jährigen Buchenbestand. Centralblatt f. d. gesamte Forstwesen, 111.Jg., Heft 1, S. 1-22.
- HOFMANN, G. (1985); Die potentielle natürliche Nettoprimärproduktion an oberirdischer Pflanzentrockenmasse - ihre Quantifizierung und Kartierung für das Gebiet der DDR. Beitr. Forstwirtsch. Berlin 19, S. 110- 116.
- HOFMANN, G.; ANDERS,S.; MATTHES, B. (2000); Das potentiell-natürliche und derzeitige Waldbild in den ostdeutschen Ländern. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Nr 196.
- KÖNIG, M. (1998); Vergleich der Elementkonzentration an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel des oberirdischen Baumbestandes ausgewählter Kiefern-, Buchen- und Eichenökosysteme. Diplomarbeit der Fachhochschule Eberswalde.
- KREUTZER, K. (1976); Effects on growth in next rotation (regeneration). Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. ECE/FAO-Symposium in Hyvinkää/ Finnland, 1976, 78–90.
- LWF (2002); Inventur der Biomasse- und Nährstoffvorräte in Fichtenbeständen Bayerischer Waldklimastationen, Bay. Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (Hrsg.); Materialien der LWF (in Vorbereitung)
- MEIWES, K.-J., BEESE, F. (1988); Ergebnisse der Untersuchung des Stoffhaushaltes eines Buchenwaldökosystems auf Kalkgestein. Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B/ Bd. 9, 1-141.
- MONSERUD, R. A.; MARSCHALL, D. Allometric crown relations in three northern Idaho Conifer Species. Canad. J. Fore Research 29(5), S. 521-535.
- MOOSBURGER, W. (1999); Biomasse und Nährelementgehalte von Fichte und Rotbuche und Nährelemententzug durch forstwirtschaftliche Nutzung am Beispiel Höglwald, Diplomarbeit SG Waldernährung u. Wasserhaushalt, TU München.
- MÜNCH, D. (1989); Bioelementinventur u. Waldnutzungsgeschichte eines 45-jährigen Fichtenbestandes auf Bärhaldegranit im Südschwarzwald, Diplomarbeit, Institut f. Bodenkunde u. Waldernährung, Universität Freiburg i. Br.
- MÜNCH, D.; FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W. (1990); Nadelvergilbung, Elementverteilung und Wachstum von Fichten eines Hochlagenstandortes im Südschwarzwald. Allg. Forst- u. Jagdz. 161, S. 210-218.
- MURACH D.; Wiedemann H. (1988); Dynamik und chemische Zusammensetzung der Feinwurzeln von Waldbäumen als Maß für die Gefährdung von Waldökosystemen durch toxische Luftverunreinigungen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe B, Bd. 10, S. 1-287.

- NEBE, W. 1979 Auswirkungen von Biomassenutzungen in Fichten- und Kiefernbeständen auf den Nährelemekreislauf. Beitr. für d. Forstwirtschaft Heft 4, S. 125-159.
- NEBE, W.; HERRMANN, U.J. (1987); Das ökologische Messfeld der Sektion Forstwirtschaft der TU Dresden. VI. Zur Verteilung der Nährelemente in der oberirdischen Dendromasse eines 100jährigen Fichtenbaumholzes, Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden 36, Heft 6.
- PAAR, U.; KIRCHHOFF, A.; WESTPHAL, J.; EICHHORN, J. 2000 Die Fruktifikation der Buche in Hessen, AFZ 25/2000, S. 1362-1363.
- PELLINEN, P. (1986); Biomasseuntersuchungen im Kalkbuchenwald. Diss. Forstl. Fak. Göttingen, 145 S.
- RADEMACHER, P. (1994); Qualitative und quantitative Erfassung der Stoffflüsse und der Elementvorräte in Waldbäumen und deren Umwelt. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, 161-171. Abschlußbericht BMFT-Forschungsvorhaben "Destabilisierung von Waldökosystemen".
- RADEMACHER, P., BUß, B., MÜLLER-USING, B. (1999); Waldbau und Nährstoffmanagement als integrierte Aufgabe in der Kiefern-Waldwirtschaft auf ärmeren pleistozänen Sanden. Forst und Holz 54. Jg., 330-335.
- RADEMACHER, P., MEESENBURG, H., MÜLLER-USING, B. (2001); Nährstoffkreisläufe in einem Eichenwald-Ökosystem des nordwestdeutschen Pleistozäns. Forstarchiv 71, 43-54.
- RADEMACHER, P., MÜLLER-USING, B. (1998); Bioelemententzug bei der Holznutzung in Rein- und Mischbeständen aus Buche und Fichte. Genehmigter Antrag im BMB+F-Vorhaben ÖK-2.3.3: Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung -Fallstudie Waldlandschaft Solling, 112-129.
- RADEMACHER, P., MÜLLER-USING, B. (2001); Bioelemententzug bei der Holznutzung in Rein- und Mischbeständen aus Buche und Fichte. Zwischenbericht im BMB+F-Vorhaben ÖK-2.3.3: Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung -Fallstudie Waldlandschaft Solling, 13 S.
- RASPE, S. (1988); Ausbildung u. Mineralstoffgehalte des Wurzelsystems der Fichte (*Picea abies Karst.*) auf Buntsandstein-Braunerde im Stadtwald Villingen, Diplomarbeit, Institut f. Bodenkunde der Forstwiss. Universität Freiburg i. Br.
- RASPE, S. (1992); Biomasse und Mineralstoffgehalte der Wurzeln von Fichtenbeständen (*Picea abies Karst.*) des Schwarzwaldes und Veränderungen nach Düngung. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen , Heft Nr. 29.
- RASPE, S.; DIETRICH, H.-P.; SCHWARZMEIER, M.; KENNEL, M. PREUHSLER, T.(2000); Abschlußbericht zum Projekt ST 74, Oberirdische Biomasse u. Elementvorräte der Fichtenbestände auf den WKS Ebersberg u. Flossenbürg, Bayer. Landesanstalt f. Wald- u. Forstwirtschaft.
- RASPE, S.; FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W. (1989); Erfassung der Elementvorräte in der Wurzelbiomasse eines 100-jährigen Fichtenbestandes (*Picea abies Karst.*) im Schwarzwald. Aus: Angewandte Botanik 63, S. 145-163.
- RASPE, S.; FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W. (1998); Ökosystemforschung im Schwarzwald. Auswirkungen von atmogenen Einträgen u. Restabilisierungsmassnahmen auf den Wasser- u. Stoffhaushalt v. Fichtenwäldern. Verbundprojekt ARINUS.
- RASPE, S.; FEGER, K.H.; ZÖTTL, H.W.; SCHMID, M. (1991); Verteilung der Elementvorräte in einem schlechtwüchsigen 100-jährigen Fichtenbestand auf Buntsandstein. Forstwiss. Cbl. 110, S248-262.
- RASPE, S.; KENNEL, M.; DIETRICH, H.P. ( 2001); Biomasseuntersuchungen an den Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg, WKS-Jahrbuch 1999, Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft.
- RASPE, S.; FEGER, K.H. (1990); Air pollution research report 32 CEC, S. 137-146.
- SCHMID, M. (1989); Oberirdische Biomasse- und Elementvorräte eines 100-jährigen Fichtenreinbestandes (*Picea abies Karst.*) auf Buntsandstein-Braunerde im Stadtwald Villingen, Dipl.arbeit, Forstwiss. Fakultät der Universität Freiburg i. Br.
- SPANK, G. (1979); Über Kronen und Nadelmassen von Reinbeständen der Baumart Kiefer (*Pinus silvestris L.*) im Tiefland der DDR., Diss. A, Inst. F. Forstwiss. Eberswalde.
- SCHWARZMEIER, M. (2000); Erhebung der oberirdischen Biomassevorräte von Fichtenbeständen *Picea abies L.* Karst im Bereich der Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg. Diplomarbeit Fachbereich Forstwirtschaft, FH Weihenstephan.
- STEINER,A.; BOLTE, A.; SCHNEIDER, B.U.; HÜTTL, R.F. (1997); Phytomasse- und Stickstoffverteilung in unterschiedlich stickstoffbeeinflußten Kiefernforstökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes. Mitt. d. Deutsch. Bodenkundl. Ges. 85, II, S. 1041-1044.
- STEINER,A.; BOLTE, A.; SCHNEIDER, B.U.; HÜTTL, R.F. (1998); Phytomasse- und Elementvorräte unterschiedlich stickstoffbeeinflußter Kiefernbestände (*Pinus sylvestris L.*) des nordostdeutschen Tieflandes. Verhandl.d. Ges.f. Ökologie 28, S. 421-428.
- ULRICH, B., MAYER, R., SOMMER, U. (1975); Rückwirkungen der Wirtschaftsführung über den Nährstoffhaushalt auf die Leistungsfähigkeit der Standorte. Forstarchiv 46, 5-8.



# Diskussionen

E. Vel 183

S. Raspe et al. 186



# **Biomasse- und Nährstoffinventuren aus dem Blickwinkel integrierender Auswertungen eines forstlichen Monitoringprogrammes**

**Evert Vel**

My role here is to look at what has been done from the eyes of the monitoring on European level. As stated in the short programme I will do it in several steps.

## **1. The results of the workshop in the light of Quality Assurance and Quality Control**

First I like to look back at what you have presented yesterday and this morning. A wealth of information has been collected and evaluated. Many presentations were on the nutrient content in foliage, wood, bark, branches and roots. Models have been developed and presented. A number of questions on these models was raised. Unfortunately almost no one has stated the Quality Assurance applied, the way in which samples were taken, the digestion of the sample has been made nor how the analysis was carried out. Only in one presentation was mentioned that the digestion was done with nitric acid and the analysis with ICP. We all know that different methods will give different answers. Your colleague Mr Bartels has done a lot of work in this field. He carried out several ringtests on foliage. On a European level we have realised this long ago and we are spending an important part of our time on the documentation of actually applied methods and the possible systematic errors due to methodological differences.

It is therefore of high importance that all the research that you carried out is properly documented and validated. For the models that were presented I raise a similar question. By definition a limited number of parameters are used. Which parameters are really needed? What did you do when parameters were missing? What is the sensitivity of these parameters? From this point I urge all the experts to complete the datasets with the needed information on methods and validation procedures.

## **2. Sensitivity of parameters**

We have to realise that the values of the parameters are sometimes slow in changing. Even when a non-optimal level is reached and the pollution effect has been reduced below critical levels the improvement may still be very small, and could be too small to record. It is therefore important to look for parameters that are sensitive to changes (positive and negative) and that can be accurately assessed in order to discriminate assessment inaccuracy from the sensitive change.

## **3. European approach**

A next point I like to raise is the fact that we, in FIMCI, are always thinking on European level. And Europe goes from Lapland to Gibraltar and from Greece to Ireland. Although it is natural that models are developed on local scale, I ask you to keep the wider approach in mind. Your developed models will be of much greater benefit if they could be applied Europe-wide or at least for large

regions of Europe. In many models co-called constant values are used. But how constant are these constant values when looking at the European scale?

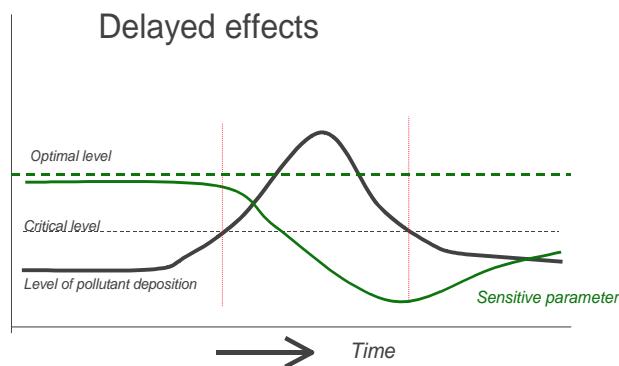


Fig. 1: Relation of sensitive parameter with pollution level

#### 4. Availability of data

We are confronted with the fact that we have given datasets with selected parameters and defined methods. Naturally the question comes up: How to make use of the models with the available data? The dataset is of course imperfect. Part of the needed input data could be missing or sampled and analysed in a different way. Although it is clear that no model is perfect, it is very important to identify the sensitivity of the parameters involved.

How can the models be applied to other species, on other soil types and/or other conditions?

#### 5. Total Forest Ecosystem approach

Many of you have participated in the FIMCI-meetings and other meetings of the intensive monitoring programme. You all know that we try to get a complete Forest Ecosystem approach and especially focus on the effects of atmospheric pollution on the Forest Ecosystem. In addition to what was considered in the last days, we also take into account the soil and its organic layer. The total Ecosystem approach in this way will then also take into account the pools of nutrients and Carbon in the soil.

The models developed here that included the whole rotation period and considered the nutrient output as wood or even full-tree harvesting will give us a further a new approach on the stability of forest ecosystems and a new push in the direction of critical loads.

#### 6. FIMCI activities

In the last years' report we have concentrated on the element budgets, input/output balances and hydrological aspects. We used strict Quality control criteria. Unfortunately this meant that data of a limited number of plots were included in the final evaluation. This year's report will focus on critical loads and while in the coming years dynamic modelling of elements is planned. On the Carbon side we have studied the carbon pools in the soil in 2000 and are planning to have an update of the

pools in the trees in 2003/2004 when the data of the forest growth survey become available for further evaluation.

In our reporting plans the critical loads of nitrogen, acidity and heavy metals is foreseen in 2002, while 2003 model predictions are scheduled.

In this context we (FIMCI) would be very glad if your developed models and other evaluation ideas are available for use on European level.

## **7. What do we need ?**

It would be nice if you, as scientists in this field, would be able to assist us in developing European wide valid models, based on the monitoring available parameters as input, that are sensitive to changes in atmospheric pollution, climatic change, etc.

## **8. Final remark**

The discussion during the last days has shown that our programme can be used to launch problems on different scales. But I want to point out that the co-operation between regional, national and European level is of high importance for the future.

## Ergebnisse der Plenumsdiskussion zum Workshop

### "Inventur von Biomasse- und Nährstoffvorräten in Waldbeständen"

S. Raspe, H.-P. Dietrich, T. Preuhlsler

Eine moderierte zusammenfassende Diskussion am Ende des Workshops baute auf den Vorträgen und ergänzenden Beiträgen auf und bezog sich auf die Themenbereiche:

1. Wozu werden Informationen zu Biomasse- und Nährstoffvorräten benötigt?
2. Können die Ergebnisse verglichen oder übertragen werden? Was bedarf es dazu?
3. Wo gibt es Defizite?
4. Wo sollen künftige Forschungsschwerpunkte liegen?

Die im Plenum diskutierten Beiträge und Vorschläge der Diskussion wurden während der Veranstaltung als Schlagworte auf Pinnkarten festgehalten.

Eine vertiefende Strukturierung der Einzelbeiträge zu jedem Themenbereich konnte aus Zeitgründen erst nach Ende des Workshops an der LWF in Freising erfolgen. Die Ergebnisse daraus werden nachfolgend erläutert und auf den Abbildungen 1 bis 7 dargestellt.

#### 1. "Wozu werden Informationen zu Biomasse- und Nährstoffvorräten benötigt?"

Die Frage nach der Zielsetzung von Biomasse- und Nährstoffinventuren offenbarte die große Heterogenität solcher Untersuchungen. Über die grundlegende Bedeutung von allgemeinen Informationen über Biomasse- und Elementvorräte für die ökosystemare Forschung aber auch für das Umweltmonitoring und die forstliche Praxis herrschte weitgehend Konsens. Die Vielzahl der Diskussionsbeiträge belegt den hohen Bedarf an konkreten Daten zu den Biomasse- und Elementvorräten möglichst vieler verschiedener Waldökosysteme. In einem Beitrag wurde jedoch auch die Frage nach dem „Grenznutzen“ von aufwendigen Inventuren großer Poolgrößen (z.B. der Baumbiomassen) gegenüber der Betrachtung intensiver Größen in einzelnen Baumkompartimenten (z.B. Nährelementkonzentrationen in Nadeln) oder kleinerer und damit stärker „reagibler“ Pools (z.B. Bodenvegetation) aufgeworfen.

Die Schlagworte der einzelnen Beiträge (Pinnkarten) des ersten Diskussionsabschnittes sind auf Abb. 1 wiedergegeben. Inhaltlich bot sich eine Gruppierung der Beiträge nach folgenden Aspekten an, die wiederum untereinander in enger Beziehungen stehen (Abb. 2):

- Istzustand ermitteln
- Prozesse verstehen
- Prozesse abbilden
- Potentiale beschreiben
- Indikatoren / Bewertungsgrößen bereitstellen
- erweiterten Nachhaltigkeitsbegriff formulieren

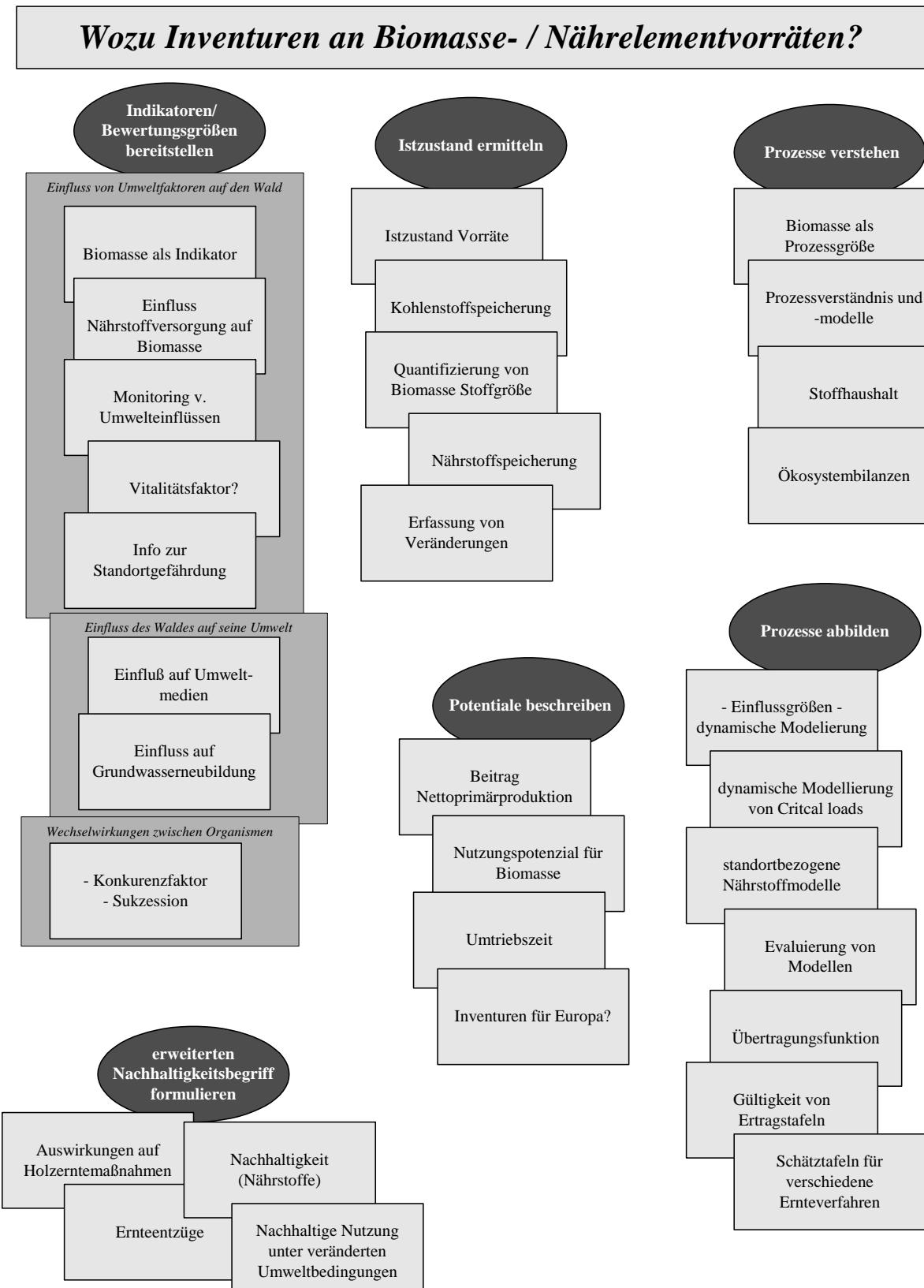


Abb. 1: Pinnwand: "Wozu Informationen zu Biomasse- und Nährstoffvorräten; ;trowgalhcS tim etraknniP =□μ = Clusterbegriff"

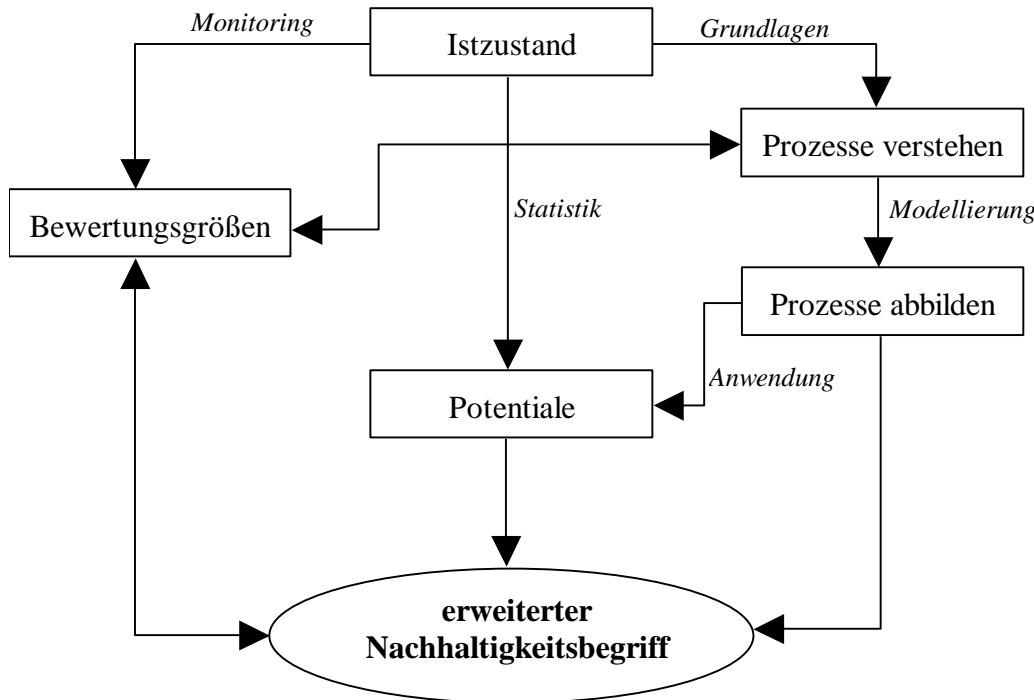


Abb. 2: Fragestellungen im Zusammenhang mit Biomasse- und Elementinventuren und ihre Beziehungen zueinander.

### Istzustand ermitteln

Das erste und allgemeinste Ziel von Biomasse und Nährstoffinventuren stellt sicherlich die Quantifizierung der Vorräte in den jeweiligen Untersuchungsbeständen dar (Abb. 1). Ausgehend von der Vorratsermittlung an Einzelbäumen wird i.d.R. das Ziel verfolgt, Aussagen über die jeweiligen Bestände treffen zu können. Neben dem Produktions- oder Leistungsvermögen sind Fragen der Kohlenstoff- bzw. Nährstoffspeicherung von besonderem Interesse. Im Vergleich mit früheren Untersuchungen auf den selben oder ähnlichen Standorten und in vergleichbaren Beständen können Veränderungen mit der Zeit wie auch mit dem Alter bzw. dem Reifen der Bestände aufgezeigt und nachgewiesen werden. Zusammen mit weiteren Rahmeninformationen lassen sich so Erklärungsansätze für solche Veränderungen formulieren.

Die Quantifizierung von Biomasse und von Stoffgrößen dient damit der Ressourcenplanung und -sicherung ebenso, wie dem Verständnis ökosystemarer Prozesse.

### Prozesse verstehen

Die Biomasse stellt eine wichtige Poolgröße im Stoffhaushalt von Waldökosystemen dar. Bei Kenntnis der Zuwachsrate können die aktuellen Nährstofffestlegungsraten abgeschätzt werden. Sind weiterhin ökosysteminterne Umlagerungsprozesse wie Streufall und Leaching sowie Wechselwirkungen im Kronenraum bekannt, so können auch Aufnahmeraten berechnet werden. Sie liefern einen wichtigen Beitrag zu Ökosystembilanzen im Rahmen wissenschaftlicher Fallstudien und langfristigem Umweltmonitoring, indem die (mit hohem Aufwand gemessenen) Elementflüsse mit den Poolgrößen integriert ausgewertet werden.

Kenntnisse um die Prozesse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre sind Voraussetzung um Störungen zu erkennen und das Ausmaß von Gefährdungen und Schädigungen frühzeitig abzuschätzen.

### *Prozesse abbilden*

Ein vertieftes Prozessverständnis selbst ist Grundlage für die Entwicklung deterministischer Modelle (Abb. 1). Diese bilden die bekannten Prozesse ab und verallgemeinern sie. Insofern können Biomasse- und Elementinventuren auch zur Modellentwicklung Grundlagendaten liefern. Eine Übertragung auf große Flächen wird dadurch möglich und eine wichtige Entscheidungsvoraussetzung geschaffen. Gleichzeitig stellen die Inventuren wichtige Grundparameter für praxiserprobte deterministische Wasser- und Stoffhaushaltsmodelle zur Verfügung. Fehlen diese Informationen am jeweiligen Untersuchungsstandort, müssen sie bei Anwendung dieser Modelle durch grobe Schätzungen hergeleitet werden. Eine größere Unschärfe der Modellergebnisse ist die zwangsläufige Folge. Auch für die dynamische Modellierung im Themenkomplex der Critical Loads stellt die Festlegung von Nährstoffen in der Biomasse eine ganz entscheidende Größe dar. Je mehr Informationen dazu vorliegen, desto genauer können die Critical Loads abgeschätzt werden. Schließlich werden gemessene Biomasse- und Elementvorräte sowie ihre Veränderungen auch für die Evaluierung von Modellergebnissen an konkreten Standorten und damit deren Fortentwicklung benötigt.

Aber auch ohne die Nutzung der Informationen in komplexen Modellen können aus den Biomasse- und Elementvorratsdaten möglichst vieler Bestände mit statistischen Ansätzen Übertragungsfunktionen abgeleitet und damit Verallgemeinerungen getroffen werden, die je nach Genauigkeitsanspruch für die forstliche Praxis Bedeutung erlangen (Abb.1). Solche Übertragungsfunktionen stellen zum Beispiel die bekannten Ertragstafeln für die Holzernte dar. Die Aktualität und Gültigkeit verschiedener Ertragstafeln wird heute öfters bezweifelt, weshalb neue Erhebungen zu ihrer Aktualisierung benötigt werden. Eine Weiterentwicklung stellt dabei auch die Aufstellung von Biomasseschätztafeln oder Nährstoffvorratstafeln dar, die ebenfalls nur auf der Grundlage aktueller Vorratsgrößen aufgestellt werden können. Zielsetzung bei all diesen Bemühungen ist es, möglichst genaue Übertragungsfunktionen zur Schätzung der Biomasse- und Nährstoffvorräte auf unterschiedlichen Standorten und für unterschiedliche Bestandesalter zu entwickeln.

### *Potentiale beschreiben*

Mit Hilfe solche Übertragungsfunktionen und deterministischer Modelle können Nutzungs- und Nährstoffpotentiale der Wälder beschrieben werden (Abb. 1). Beispielsweise kann so ein Beitrag des Waldes zur Nettoprimärproduktion unter dem Aspekt des globalen Kohlenstoffhaushaltes auf einer gesicherten Grundlage quantifiziert werden. Auch hier gilt, je mehr Informationen über die Poolgrößen und ihre Veränderungen vorliegen, desto genauer können Aussagen zur Kohlenstoffspeicherung und zur C-Senkenfunktion der Wälder gemacht werden. Im Hinblick auf die monetäre Bewertung ist diese Frage nicht unerheblich. Vor diesem Hintergrund könnte sich der relativ hohe Aufwand für Biomasseinventuren relativieren. Ebenso bedeutsam für die Praxis ist der Wunsch nach möglichst genauer Quantifizierung der Verwertungspotentiale forstlich produzierter Biomasse im Energiesektor. Gleichzeitig wachsen aber auch die Bedenken hinsichtlich erhöhter Nährstoffentzüge bei intensivierter Nutzung. Im Zusammenhang mit Kenntnissen über die verfügbaren Nährstoffvorräte im Boden und die Nährstoffflüsse in den Waldökosystemen können Gefährdungspotentiale abgeschätzt werden. Auf der Grundlage detaillierter Bodeninformationen lassen sich Standorte die besonders sensibel auf Nährstoffexporte reagieren im Sinne eines vorsorgenden

Bodenschutzes identifizieren und die Bedeutung verschiedener Holzernteverfahren für den Nährstoffexport charakterisieren. Bis heute reichen die vorhandenen Informationen über die verschiedenen Standorte und Baumarten unter diesen Aspekten bei weitem noch nicht aus.

### *Indikatoren / Bewertungsgrößen bereitstellen*

Auch als Indikator oder Bewertungsgröße beim Umweltmonitoring werden Informationen zu den Biomasse- und Elementvorräten benötigt (Abb. 2).

Zum einen können Umwelteinflüsse mittelbar Auswirkungen auf Produktion und Speicherung von Biomasse haben. Dies gilt zum Beispiel für die Einflüsse der Nährstoffversorgung oder von Schadstoffeinträgen auf das Wachstum und damit die Bildung von Biomasse. Biomasse- und Elementvorräte selbst sind deshalb Indikatoren für Standortseinflüsse. Stoffhaushaltsbilanzen können einen Beitrag zur Beurteilung von Standortgefährdungen leisten. Eine Frage, die kontrovers diskutiert wurde widmete sich etwa der Biomasse als Vitalitätsindikator und dem möglichen Zusammenhang zwischen tatsächlicher Blatt- oder Nadelmasse mit den im Rahmen der Waldzustandserhebung erfassten Belaubungsverlusten. Vor kausanalytischen Schlüssen eines Vergleichs wurde allerdings gewarnt, da die Methodik der Waldzustandserhebung einer anderen Zielsetzung folgt.

Umgekehrt kann der Aufbau und die Speicherung organischer Substanz in der Biomasse selbst die Umwelt und die nachgeschalteten Sphären beeinflussen. So hat die Blattmasse entscheidende Auswirkung auf die Höhe der Transpiration oder die Interzeption im Wasserhaushalt der Waldökosysteme. Sie beeinflusst unmittelbar die Versickerungsrate und die Grundwasserneubildung und letztlich den gesamten ökosystemaren Stoffkreislauf von Biomassewachstum und Nährstofffestlegung.

In diesem Zusammenhang stehen auch Fragen der Wechselwirkung biologischer Systeme untereinander, wie z.B. Aspekte der Konkurrenz verschiedener Individuen oder Arten untereinander, der Sukzession, oder auch der Wechselwirkungen mit biogenen Stressoren.

Weil sich die im Waldbestand produzierten Biomassen- und Elementvorräte selbst als Indikatoren eignen, können sie auch als Bewertungsgrößen genutzt werden, zumal sie ökosystemare Prozesse integrierend abbilden. Damit wird ihre Bedeutung im Zusammenhang mit dem erweiterten Begriff der Nachhaltigkeit bei der forstlichen Nutzung deutlich.

### *Erweiterten Nachhaltigkeitsbegriff formulieren*

Der ursprünglich auf die Sicherung der künftigen Holzerträge ziellende Begriff der Nachhaltigkeit hat in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Erweiterung im forstlichen Kontext erfahren. Heute wird unter nachhaltiger forstwirtschaftlicher Nutzung die Gewährleistung der ökologischen Stabilität der Standorte verstanden. Hierzu gehört auch der Nährstoffhaushalt der Waldökosysteme, der in die geochemischen Stoffkreisläufe eingebunden ist. Die Biomasse und die in ihr festgelegten Nährstoffvorräte müssen dabei den im Boden vorhandenen und verfügbaren Vorräten sowie den Flussraten im Ökosystem gegenübergestellt werden. Die Kenntnis der Nährstoffvorräte in den verschiedenen Kompartimenten der Waldökosysteme und der mit der Holzernte verbundenen Nährstoffentzü-

ge stellt die Grundlage für die Beurteilung einer nachhaltigen Forstwirtschaft aus der Sicht des Nährstoffhaushaltes dar (s.Abb. 2).

Zusammenfassend kann von der ersten Diskussionsrunde festgehalten werden, dass Informationen zu den Biomasse- und Elementvorräten für eine Vielzahl verschiedener Fragestellungen im Bereich der ökosystemaren Forschung und des Umweltmonitorings von Bedeutung und für ein modernes Forstmanagement unentbehrlich sind. Oberstes Ziel aller Untersuchungen ist dabei die Sicherung einer nachhaltigen Bewirtschaftung unserer Wälder im modernen, erweiterten Sinne des Begriffes.

## 2. "Können die Ergebnisse verglichen oder übertragen werden? Was bedarf es dazu?"

Die Frage nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse geht über die Planung, Durchführung und Auswertung einzelner Untersuchungen hinaus. Dass die Ergebnisse untereinander vergleichbar sein müssen und auch eine Übertragbarkeit auf verschiedenen Skalenebenen angestrebt werden sollte war unumstritten. Komponenten für die Übertragbarkeit der Ergebnisse sind auf Abb. 3 aufgezeigt.

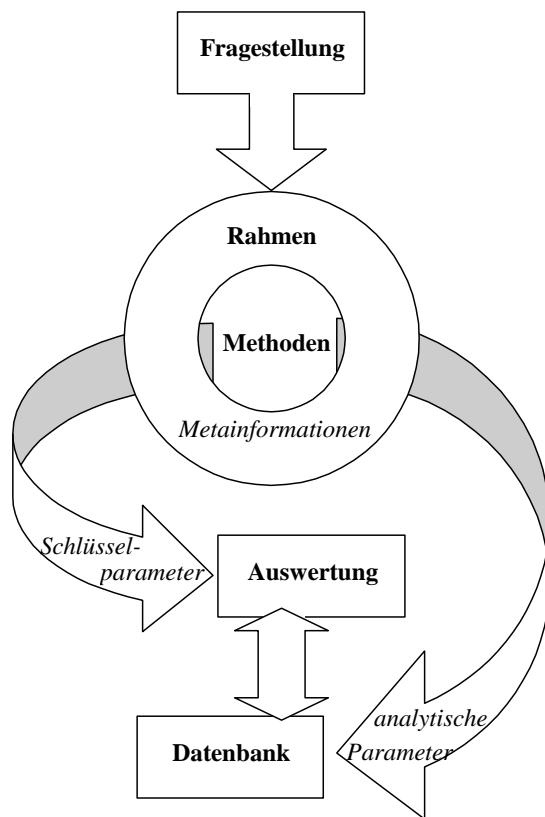


Abb. 3: Komponenten für eine Übertragbarkeit der Ergebnisse von Biomasse- und Elementinventuren.

Die Vielzahl der Diskussionsbeiträge belegt, dass es hier noch einige Defizite und Probleme zu überwinden gibt. Es wurde deutlich, dass ein erheblicher Abstimmungsbedarf der einzelnen Forstgruppen untereinander besteht. Die Stichworte zu den einzelnen Diskussionsbeiträgen sind auf Abb. 4. dargestellt und zu den Themenblöcken "Rahmeninformationen", "Methoden dokumentieren und harmonisieren", "Datenbereitstellung und -haltung" und "Problemfelder" gruppiert.

## Können wir Ergebnisse vergleichen, übertragen? Was bedarf es dazu?

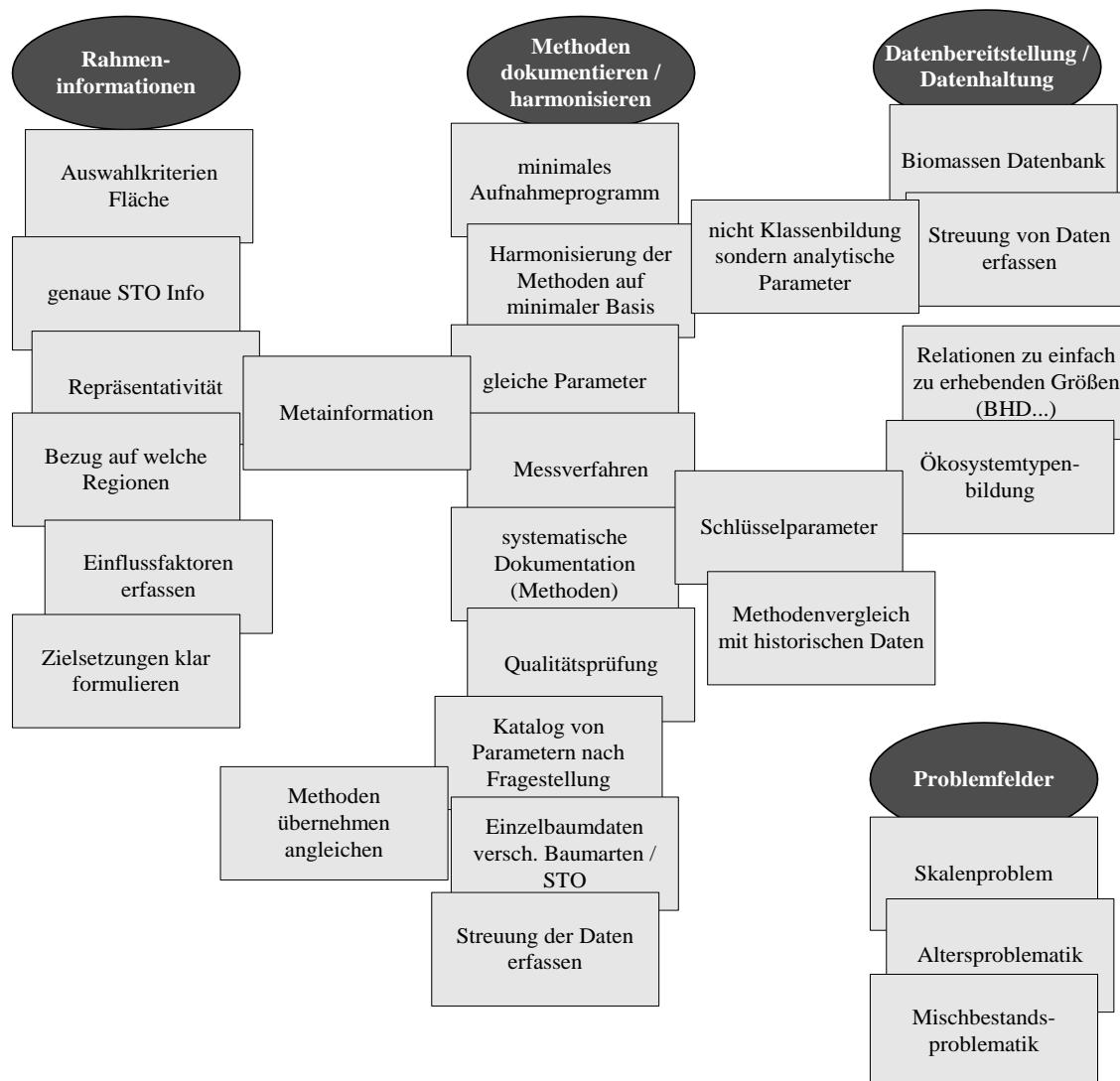


Abb. 4: Pinnwand: "Können wir Ergebnisse vergleichen, übertragen? Was bedarf es dazu?"; *tim etraknniP = □ Schlagwort; μ = Clusterbegriff*

### Rahmeninformationen

Die Vergleichbarkeit verschiedener Untersuchungen hängt zunächst einmal von der Fragestellung ab (Abb. 4). Die Fragestellung definiert die Anforderungen an Art, Umfang und Genauigkeit der erfassten Parameter. Aus der Diskussion wurde deutlich, dass für eine Übertragbarkeit oder einen Vergleich verschiedener Ergebnisse vor allem Metainformationen über die einzelnen Studien benötigt werden. Das betrifft zum einen "Rahmeninformationen" über die Auswahlkriterien der Untersuchungsflächen und deren Repräsentativität. Dabei ist es wichtig möglichst genaue Standortsinformationen zu bekommen. Es wurde vorgeschlagen einen möglichst einheitlichen Satz an Standorts-

informationen zu definieren. Dies wäre sicherlich für alle Vergleiche verschiedener Studien von großem Vorteil. Ebenso hilfreich wären Informationen zu Klima und Witterung, der Höhe der Depositionsbelastung am jeweiligen Standort und der waldbaulichen Behandlung der Bestände.

Während des Workshops wurde immer wieder auf die regionale Begrenzung von Biomasseerhebungen hingewiesen. Deshalb wurde für eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen ein klarer Hinweis gefordert auf welche Region sich die Untersuchungen jeweils beziehen. Dabei wurde allerdings nicht erkennbar, wie diese Abgrenzungen erfolgen könnte, da die Untersuchungen i.d.R. nur lokal durchgeführt werden.

### *Methoden dokumentieren und harmonisieren*

Als vorrangiges Ziel wurde eine systematische Dokumentation der angewandten Methoden formuliert. In der Regel werden solche Informationen in den einzelnen Fallstudien zwar skizziert, eine ausführliche Beschreibung ist jedoch häufig nur in Diplomarbeiten, Abschlußberichten oder anderer "grauer" Literatur zu finden. Hier wäre mehr Transparenz sicher wünschenswert.

Darüber hinaus wurde in der Diskussion eine Harmonisierung der Methoden gefordert. Wie weit diese Harmonisierung gehen soll und kann war jedoch durchaus umstritten. Sicher ist dabei dass die aufzunehmenden Parameter stark abhängig von der jeweiligen Fragestellung zu sehen sind. Dennoch sollte der Versuch unternommen werden, ein minimales Aufnahmeprogramm zu formulieren; es soll einen Satz von unverzichtbaren Parametern enthalten, welche für überregionale Vergleiche oder Modellanwendungen unabdingbar sind und damit eine Nutzung und Übertragbarkeit der Ergebnisse ermöglichen. Dazu müssten Schlüsselparameter für standortsunabhängige Schätzfunktionen definiert und angewendet werden. Hierzu können Methoden aus der Literatur übernommen und übertragen werden. Es sollte vermieden werden, dass in jeder Untersuchung eigene Methoden entwickelt werden (müssen).

Um verschiedene Untersuchungen miteinander vergleichen zu können wurde die Angabe von Einzelbaumkenndaten gefordert. Auf dieser Basis erscheint die Ableitung standortübergreifender Schätzfunktionen aussichtsreicher als mit aggregierten Bestandeskennzahlen, zumal sich dort auch bestandespezifische Einflussgrößen (Konkurrenz, waldbauliche Behandlung) identifizieren lassen. Hier wird noch weiterer Forschungsbedarf gesehen, da diese Daten noch für viel zu wenig Baumarten und Standorte vorliegen.

Ein wichtiger Punkt für die Vergleichbarkeit von Daten ist deren Qualitätsprüfung. Nur wenn die erhobenen Daten qualitativ vergleichbar sind, werden überregionale Vergleiche möglich. Hierbei sind dringend Aussagen sowohl zu den räumlichen als auch den technischen Fehlerbereichen der einzelnen Parameter erforderlich. Das betrifft sowohl die Massenermittlung wie auch die chemische Analytik und die jeweiligen Berechnungsverfahren. Alle Aussagen sollten vor diesem Hintergrund mit der gebotenen Vorsicht getroffen werden. Überregionale Schätzfunktionen werden daher immer eine nicht unerhebliche Unschärfe aufweisen.

### *Datenbereitstellung, Datenhaltung*

Für den Vergleich und die Übertragbarkeit von Biomasseuntersuchungen wurden aber nicht nur Ansprüche an Metainformationen, sondern auch an die Datenverarbeitung und Datenhaltung gestellt (Abb. 3 und Abb. 4).

Der im Bereich der Metainformationen oben bereits erwähnte Satz an zu definierenden Schlüsselparametern sollte Relationen zu einfach zu erhebenden Größen wie z.B. dem Brusthöhendurchmesser (BHD) aufweisen um somit eine Übertragbarkeit mit Hilfe flächenhaft vorhandenen Daten / Informationen zu gewährleisten. Auch die Kategorisierung der Erhebungsdaten etwa durch die Einordnung nach Ökosystemtypen wurde vorgeschlagen.

Grundsätzlich stellt sich die Frage nach der Vergleichbarkeit neuerer Untersuchungen mit historischen Daten. Frühere Untersuchungen wurden i.d.R. mit völlig anderen Zielsetzungen durchgeführt als dies derzeit der Fall ist. Häufig standen ertragskundliche Aspekte und weniger Stoffhaushaltsfragestellungen im Vordergrund des Interesses. Dies spiegelt sich sowohl in der Methodik als auch in der Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse wider. Unzweifelhaft haben sich auf der analytischen Seite die Labormethoden deutlich weiterentwickelt, so dass vor allem bei chemischen Parametern (insbesondere bei Stickstoff und Schwefel) z.T. erhebliche Unterschiede zu erwarten sind. Eine entsprechende ausführliche wissenschaftliche Studie zum Methodenvergleich wurde daher in der Diskussion als dringend erforderlich erachtet.

Auch für die Datenhaltung wurde die Empfehlung ausgesprochen, im Sinne einer möglichst weiten Verwendbarkeit der Daten nicht die aggregierte Sekundärdaten (z.B. Klassenbildung), sondern die analytischen Einzeldaten zu speichern und zu dokumentieren. Leider stehen bei vielen älteren Untersuchungen heute nur noch die Tabellenwerke aus einer aggregierten Klassenbildung zur Verfügung, die das Ergebnis der damaligen Fragestellungen widerspiegeln. Stünden die Einzeldaten zur Verfügung, wären möglicherweise wesentlich bessere Vergleiche und Übertragungen auf aktuelle Fragestellungen möglich. Die Einrichtung einer "Biomassen Datenbank" wurde vorgeschlagen, die neben den geforderten Standardsatz der Metainformationen (s.o.) auch möglichst viele Einzelparameter und Daten enthält. Der Aufbau einer solchen Datenbank ist allerdings sowohl von der technischen als auch der urheberrechtlichen Seite her nicht unproblematisch.

### *Problemfelder*

Besondere Probleme wurden in der für eine Übertragbarkeit noch unzureichend geklärten Skalen-, Alters- und Mischbestandsproblematik gesehen. Zur Skalenproblematik zählen etwa die Fragen, wie weit man lokale Ergebnisse von Einzelstandorten räumlich übertragen kann, oder in welcher Detailliertheit eine Übertragung möglich ist. Eine weitere wichtige Fragestellung galt der Übertragbarkeit von Biomasse- und Nährstoffergebnissen auf Bäume und Bestände unterschiedlichen Alters und der Interpretierbarkeit echter oder unechter Alterszeitreihen. Gelten die festgestellten Relationen, z.B. zum Brusthöhendurchmesser, auch in Beständen anderen Alters oder in Plenterwäldern und wenn ja in welchem Rahmen? Ähnlich ist die Frage nach der Übertragbarkeit von in der i.d.R. in Reinbeständen gewonnenen Erkenntnissen auf Mischbestände zu sehen. Vor dem Hintergrund moderner naturnaher Waldbauverfahren sind diese Fragen von besonderem Interesse.

Zusammenfassend lässt sich der klare Bedarf für eine größere Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit von Biomasseerhebungen festhalten. Es wurden klare Anforderungen sowohl an die Metainformationen zu den Untersuchungen als auch zur Dokumentation und Auswertung der Messdaten diskutiert und auf noch unzureichend untersuchte Problemfelder hingewiesen.

### 3. "Wo gibt es Defizite?"

Die Diskussionsbeiträge zu der Frage nach den aktuellen Wissensdefiziten im Bereich von Biomasse- und Elementvorräten spiegelten zum Teil die zuvor diskutierten Zielsetzungen (vgl. 1. u. 2.) wider. Schon die Vielzahl der Beiträge (Abb.5) belegt den von den Teilnehmern des Workshops konstatierten erheblichen Forschungsbedarf auf diesem Gebiet. Defizite wurden sowohl beim Untersuchungsgegenstand wie auch den Untersuchungsparametern gesehen. Eine Reihe von Vorschlägen für Untersuchungsziele und Fragestellungen wurde formuliert, die insbesondere das Wissen um die Einflussfaktoren erweitern soll. Vor allem wegen des mit derartigen Inventuren verbundenen hohen Erhebungsaufwandes wurden Defizite insbesondere bei der Datenverfügbarkeit und Präsentation der Ergebnisse gesehen und die Notwendigkeit eines intensiven Datenaustausches und gemeinsamer Kooperationen beschrieben (Abb.5).

#### *Untersuchungsgegenstand*

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Mischwäldern im naturnahen Waldbau wurde nochmals das Fehlen von Biomasse- und Elementvorratsdaten in Nichtreinbeständen hervorgehoben. Aber auch in Reinbeständen sind nicht alle Baumarten gleich gut untersucht. Verlässliche standortstunabhängige Aussagen sind daher zur Zeit am ehesten bei der Fichte zu erwarten, während bei den anderen Baumarten die Unsicherheiten bei Übertragungsfunktionen zwangsläufig höher sind. Es wurde daher angeregt, auch andere Baumarten als die Fichte verstärkt in die Untersuchungen mit einzubeziehen.

Ein weiteres Feld mit deutlichen Wissensdefiziten betrifft die unterirdischen Baumkompartimente - die Wurzeln. Untersuchungen zur Wurzelbiomasse sind äußerst arbeitsaufwendig und daher nicht weit verbreitet. Ältere Arbeiten waren meist rein deskriptiv und beschränkten sich auf die Morphologie der Wurzelsysteme. Quantitative Aufnahmen der Wurzelmasse und der in ihr gespeicherten Nährstoffvorräte sind selten. Ähnliches gilt für die Bodenvegetation, die zwar leichter zugänglich ist, dafür aber eine äußerst große Dynamik und Vielfalt aufweist. Hier wird Forschungsbedarf bei allen Baumarten, Bestandestypen und -altern gesehen.

Bezüglich der Untersuchungsparameter wurde angeregt, wegen des hohen Arbeitsaufwandes von Biomasseinventuren das Probenmaterial auch möglichst immer zur Bestimmung der Nähr- und Schwermetallgehalte zu nutzen oder zumindest zu archivieren. Durch eine besserer Kooperation und Koordination könnte hier in erheblichen Maße künftiger Arbeitsaufwand eingespart und der Informationsgewinn verbessert werden. Weitere Empfehlungen galten der Erhebung zusätzlicher Untersuchungsparameter wie dem LAI (leaf area index), der stomatären Leitfähigkeit oder der Primärproduktion der Rinde. Diese Punkte sind sicher stark abhängig von der jeweiligen Fragestellung

der Untersuchung. Ob diese als Standardparameter mit aufgenommen werden könnten bedarf sicher weiterer Diskussionen.

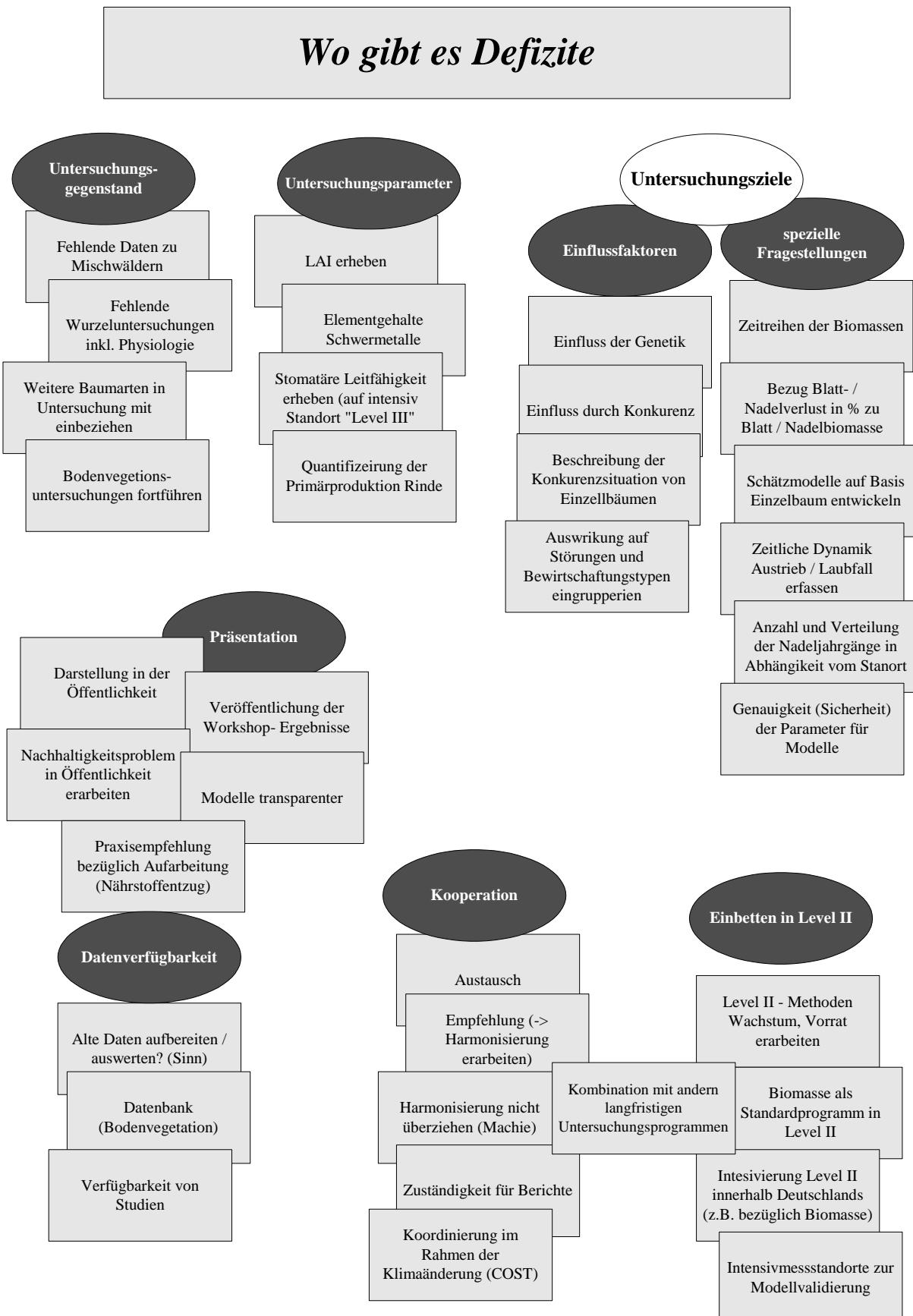


Abb. 5: Pinwand: "Wo gibt es Defizite?"; ;trowgalhcS tim etraknniP = □μ = Clusterbegriff

### *Untersuchungsziele (Fragestellungen)*

Zusätzliche Untersuchungsziele wurden formuliert, so z.B. die Ermittlung von verschiedenen Einflussfaktoren auf die Biomassebildung, etwa durch die Genetik, die Konkurrenzsituation oder Störungen, wie z.B. Sturmschäden oder auch Erntemaßnahmen. Andererseits wurde auch eine Reihe spezieller Fragestellungen aufgezählt. So entsteht aus der Bedeutung der Biomasse- und Nährstoffvorräten als Indikator und Bewertungsgröße (Abb. 5) der Bedarf an Untersuchungen, die die Ableitung von Bewertungsmaßstäben zur Zielsetzung haben.

Defizite wurden dabei zum Einen bei der Biomasse als Vitalitätsindikator gesehen. Hier wurden Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Nadel- bzw. Blattmasse und dem Blatt-/Nadelverlustprozent gefordert. Auch sollten dabei Streufallmessungen miteinbezogen werden. Allerdings wurde auch darauf hingewiesen, dass einfache Zusammenhänge nicht zu erwarten sind, da die im Rahmen der Waldzustandserhebung durchgeföhrten Schätzungen der Nadelverlustprozente sich nur auf die Lichtkrone beziehen und mit Streufallmessungen nur die gesamte Nadelstreu (unabhängig von der Herkunft der Nadeln) erfasst werden kann. Eine zusätzliche Fraktionierung nach z.B. Licht- und Schattennadeln sind immens aufwendig. Eine weitere Fragestellung betrifft die Erfassung der zeitliche Dynamik des Austriebs und Laubfalls. Hier sind interessante Zusammenhänge mit phänologischen Beobachtungen und Modellierungen zu erwarten. Darüber hinaus wurde auch ein großer Bedarf an Zeitreihen der Biomasseentwicklung gesehen. Dies betrifft neben der im jahreszeitlichen Verlauf variablen Blatt- und Feinwurzelmasse vor allem auch die Dynamik des Zuwachses aller Baumkompartimente während des Bestandeswachstums.

Eine Forderung bezog sich auf die Entwicklung von Schätzmodellen auf der Basis von Einzelbäumen. Nur wenn Relationen zwischen der Biomasse von Einzelbäumen und einfach zu erhebenden Parametern aufgestellt werden, können die daraus entwickelten Schätzfunktionen erfolgreich auf unterschiedliche Bestandestypen übertragen werden. Dies ist auch von Bedeutung für die Anwendbarkeit solcher Schätzmodelle als Eingangsgrößen für Stoffhaushaltsmodelle.

### *Datenverfügbarkeit*

Große Defizite wurden in der Datenverfügbarkeit und der Vermittlung und Darstellung der Ergebnisse gesehen. Insgesamt wurde eine unzureichender Zugang zu vor allem älterer Studien beklagt. Manche wertvolle Arbeit schlummert in zum Teil unfertigen Auswertungen in grauer Literatur oder gänzlich unpubliziert. Gerade im Hinblick auf die Erstellung sogenannter Massen- und Nährstoffschätztafeln und damit dem Versuch einer standortübergreifenden Anwendung von Fallstudienergebnissen wird ein besonderer Bedarf für ein intensives Literatur- und Quellenstudium gesehen. Hier könnte möglicher Weise die Erstellung einer "Biomassedatenbank" eine erhebliche Hilfe sein. Ein Beispiel dafür bietet die auf diesem Workshop vorgestellte Datenbank zur Bodenvegetation. Die Schwierigkeiten und Probleme mit der Erstellung und Pflege einer solchen Datenbank wurden bereits oben besprochen (vgl. Pkt. 2).

### *Kooperation*

Als wichtige Voraussetzung für eine weitergehende Datennutzung wird eine verstärkte Kooperation gewünscht. Konkret wurde ein verstärkter wissenschaftlicher Austausch zwischen den Forschergruppen gefordert. Einen wichtigen Beitrag hierzu lieferte sicherlich dieser erste Workshop in Freising. Eine unregelmäßige Folge solcher Veranstaltungen wurde angeregt. Dort könnten Empfehlungen zur Harmonisierung von Methoden- und Untersuchungsparametern erarbeitet und weitere Forschungskonzepte vorgeschlagen und abgestimmt werden. Gleichzeitig wurde aber auch vor einer allzu großen Harmonisierung gewarnt. Die Vielfalt an Ideen und Fragestellungen darf dadurch nicht vermindert werden. Besonders hervorgehoben wurden die Möglichkeiten zu Kooperationen, die sich im Rahmen bestehender langfristiger Untersuchungsprogramme bieten. Als ein Beispiel für die koordinierende Rolle im Rahmen nationaler und internationaler Forschungen, etwa zu den Auswirkungen von Klimaänderungen wurde das sogenannte COST-Programm genannt.

### *Einbettung in das Level II-Programm*

Eine besondere Bedeutung wurde innerhalb des Teilnehmerkreises auch dem europäischen Level II-Programm beigemessen, das ein europaweites Netzwerk zum Umweltmonitoring im Wald mit weitgehend einheitlicher Messmethodik beinhaltet. Hier wurde die Aufnahme von Biomasseerhebungen in das Level II Standardmessprogramm, zumindest bei einer Intensivierung innerhalb Deutschlands, angeregt. Die Erhebung von Biomassedaten an Intensivmessstandorten könnte vorzüglich zur Modellvalidierung beitragen.

### *Präsentation*

Einige Diskussionsbeiträge beschäftigten sich auch mit den Defiziten bei der Darstellung der Ergebnisse in der Öffentlichkeit und für die forstliche Praxis. Hier wurde zunächst einmal gefordert die Ergebnisse des Workshops zu veröffentlichen, was mit dem vorliegenden Bericht bereits geplant war. Darauf hinaus sollte jedoch in der forstlichen wie in der nichtforstlichen Öffentlichkeit die erweiterte Nachhaltigkeitsproblematik stärker ins Bewusstsein gebracht werden. Biomasse- und Elementvorratsinventuren liefern hierzu die Fakten mit denen die öffentliche Diskussion untermauert werden kann. Das bestehende Wissen muss unbedingt gebündelt und auf seine Tauglichkeit für Praxisempfehlungen z.B. für Holzernte- und aufbereitungsstrategien untersucht werden. Auch wenn weiterhin sicherlich noch einige Wissensdefizite bestehen, müssen Handlungsempfehlungen im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes auf der Basis der bisherigen Erkenntnisse abgeleitet werden. Dies ist sicher als eine der vordringlichsten Aufgaben in der näheren Zukunft anzusehen.

## **4. "Wo sollen künftige Forschungsschwerpunkte liegen?"**

Für die Behandlung der zukünftigen Forschungsschwerpunkte stand auf dem Workshop vergleichsweise nur noch wenig Zeit zur Verfügung. Dennoch sind drei Schwerpunkte der Diskussionsbeiträge ableitbar. Die Beiträge hierzu lassen sich in die Themenschwerpunkte „Koordination“,

„Übertragung von Ergebnissen“ sowie „künftige Auswahl von geeigneten Untersuchungsstandorten“ gruppieren (Abb. 6).



Abb. 6: Pinwand: "Wo sollen zukünftige Forschungsschwerpunkte liegen?"; ;trowgalhcS tim etraknniP =  $\square\mu$ = Clusterbegriff.

### Koordination

In den meisten Diskussionsbeiträgen wurde eine verstärkte Koordination zukünftiger Untersuchungen gefordert. Als geeignetes Mittel hierzu wurde die Einrichtung einer Arbeitsgruppe zu Biomasseuntersuchungen vorgeschlagen. Eine Präzisierung dieses Vorschlages konnte jedoch nicht mehr vorgenommen werden. Aufgabe einer solchen Arbeitsgruppe wäre jedoch auch eine intensive Literaturstudie, die Zusammenstellung aller vorhandenen Ergebnisse und eine Bewertung der Sensitivität der Untersuchungsparameter. Hieraus ließen sich die bereits unter den Punkten 1 und 2 geforderten Standards definieren. Eine solche Aufgaben könnte z.b. die Bund/Länder-Arbeitsgruppe Stoff-

haushalt im Rahmen des Level II-Programms in Deutschland übernehmen. Aber auch auf europäischer Ebene ist eine solche Arbeitsgruppe auf Level II-Ebene denkbar.

### *Auswahl von Untersuchungsstandorten*

Auch bei der zukünftigen Standortswahl gab es Stimmen, die sich für eine Ankoppelung von Biomasseinventuren an das Level II-Programm aussprachen. Es wurde sogar eine weitere Intensivierung einzelner Level II-Standorte zu einem „Level III“ des europäischen Umweltmonitorings angelegt. Dieser Ansicht entgegengesetzt stand die Forderung nach einfachen Messprogrammen auf möglichst vielen Standorten. Dabei kommt es nicht so sehr auf eine differenzierte Aufnahme an, die sowieso nicht auf andere Standorte übertragen werden kann, sondern vielmehr auf ein breites Standortsspektrum. Je nach Fragestellung sind sicher beide Ansätze weiter zu verfolgen.

Im Sinne einer möglichst guten Übertragbarkeit ist zweifelsfrei die Abdeckung eines großen Standortsspektrums erforderlich. Für detaillierte Aussagen zum Stoffhaushalt dagegen ist die Konzentration auf weniger, aber genau untersuchte Standorte unerlässlich.

In einem dritten Ansatz wurde die Abdeckung eines möglich großen Standortspektrums auf kleinem Raum gefordert um die Variabilität der übrigen Umwelteinflüsse (wie z.B. Klima/Witterung, Deposition) möglichst gering zu halten. Da bei einem solchen Vorgehen eine annähernde Homogenität der anderen Umweltfaktoren aber nur bei äußerst sorgfältiger und enger Standortsauswahl gewährleistet ist, wird die messtechnische Erfassung und die auswertungstechnische Berücksichtigung dieser Faktoren dennoch unerlässlich. Aufgrund des hohen Aufwandes empfiehlt sich dann jedoch wieder die Angliederung an bereits bestehende intensiv untersuchte Standorte, wie z.B. die Level II-Stationen.

Eine weitere Forderung zur Einbeziehung von geografischen Informationssystemen (GIS) zur Standortsauswahl und -charakterisierung leitet zur Übertragung in die Fläche über.

### *Räumliche Übertragung von Fallstudienergebnissen*

Mehrere Diskussionsbeiträge sahen in der Entwicklung von Übertragungsfunktionen für Biomasse- und Elementvorratsdaten einen wichtigen Forschungsbedarf. Der hohe Arbeitsaufwand für die Aufnahme der Vorräte macht eine einfache Abschätzung auf vielen Standorten unumgänglich. So war dieses Thema bereits auch in den drei vorhergehenden Diskussionsrunden von zentraler Bedeutung. Die Erstellung von Relationen zwischen Biomasse- und Elementvorräten verschiedener Baumkompartimente und einfach zu erhebenden und flächenhaft vorhandenen Daten sollte daher eine hohe Priorität bei zukünftigen Forschungsansätzen haben.

## **5. Schlussfolgerungen**

Der Workshop hat die Bedeutung von Biomasse- und Nährstoffvorratsinventuren im Bereich der aktuellen waldökosystemaren Forschung deutlich unterstrichen. Die erhobenen Daten sind einerseits für das Verständnis und die Modellierung ökosystemarer Prozesse unentbehrlich, andererseits dienen sie auch als Indikator und als Bewertungsgröße von Umwelteinflüssen und einer nachhalti-

gen Forstwirtschaft. Bei einer Vielzahl von Fragestellungen dienen sie als Basisdaten. Diese Vielzahl bedingt jedoch gleichzeitig eine relativ große Heterogenität in der Methodik, der Wahl der Untersuchungsparameter, der Dokumentation und der Auswertung der verschiedenen Untersuchungen. Daher ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Standorte und Fragestellungen zumeist nicht unproblematisch. In der Diskussion wurde versucht die Anforderungen für eine in Zukunft bessere Übertragbarkeit herauszuarbeiten. Diese betreffen alle Bereiche von den Metainformationen bis hin zu der Auswertung. Auf erhebliche Defizite im Bereich des Wissens, der Kooperation und der Darstellung wurde hingewiesen. Aus diesen Defiziten ergibt sich ein klarer weiterer Forschungsbedarf, der jedoch koordiniert werden sollte. Oberstes Ziel der zukünftigen Forschung sollte die Erstellung von Übertragungsfunktionen auf der Basis von Einzelbäumen sein.

Am Ende des Workshops war man sich über die Bedeutung und den Erfolg der Veranstaltung einig. Wichtige Impulse für eine weitere Zusammenarbeit wurden gesetzt und eine Wiederholung des intensiven und produktiven Gedankenaustausches angeregt.

Als letzte Hefte der Reihe „Forstliche Forschungsberichte München“ sind erschienen:

- Nr. 173 1998 E.GUNDERMANN  
R.BECK Forum Forstgeschichte Ergebnisse des Arbeitskreises Forstgeschichte in Bayern 1997
- Nr. 174 1998 W.WARKOTSCH  
K.DUMMEL Formec '98 32. Internationales Symposium Mechanisierung der Walddarbe
- Nr. 175 1999 KOLLOQUIUM Die Bedeutung forstwirtschaftlicher Zusammenschlüsse als Marktpartner Herausforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten
- Nr. 176 1999 A.FISCHER  
R.MÖSSMER Forschung in Sturmwurf - Ökosystemen Mitteleuropas
- Nr. 177 1999 F.-J. MAYER Beziehungen zwischen der Belaubungsdichte der Waldbäume und Standortparametern - Auswertung der bayerischen Waldzustandsinventuren -
- Nr. 178 2000 E.GUNDERMANN  
G.BRAUN Waldbelange in der Infrastrukturplanung
- Nr. 179 2000 B.KÜSTER Die Auswirkungen unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen auf das Wachstum und die Qualitätsentwicklung junger Traubeneichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)
- Nr. 180 2000 E.GUNDERMANN  
R.BECK Forum Forstgeschichte Ergebnisse des Arbeitskreises Forstgeschichte in Bayern 1998/1999
- Nr. 181 2001 C.DUSCHL Simulation forstbetrieblicher Sachverhalte auf der Basis gegenwärtiger Waldstrukturen
- Nr. 182 2001 A.BAUER Möglichkeiten zur Extensivierung der Forsteinrichtung im Hochgebirge durch Einsatz moderner Techniken der Luftbildauswertung
- Nr. 183 2001 S.REIMEIER Analyse der Zuwachsveränderungen von Waldbeständen und Möglichkeiten der Prognose aus Daten permanenter Stichprobeninventuren
- Nr. 184 2001 S.RASPE Konzepte für eine integrierende Standardauswertung der Messergebnisse von den bayerischen Waldklimastationen
- Nr. 185 2001 K.HAMMEL  
M.KENNEL Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90
- Nr. 186 2001 H.P.DIETRICH  
S.RASPE  
T.PREUHSLER Inventur von Biomasse- und Nährstoffvorräten in Waldbeständen

Die Preise der Hefte der Schriftenreihe können der Homepage der Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement <http://www.forst.tu-muenchen.de> Zentrale Einrichtungen Bibliothek Forstliche Forschungsberichte entnommen werden.

Zu beziehen sind die Hefte über die Universitätsbuchhandlung  
Heinrich Frank, Schellingstr. 3, D - 80799 München  
Tel.: 089/284151 Fax: 089/2809636 email: [info@heinrich-frank.de](mailto:info@heinrich-frank.de)  
Internet: [www.heinrich-frank.de](http://www.heinrich-frank.de)