

# ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

ISSN 0002-5852

## INHALTSVERZEICHNIS

### AUFSÄTZE

- K. Weber  
und C. Mattheck      Die Doppelnatur der Wurzelplatte ..... 77  
(The double nature of the root plate)

- Ch. Ammer,  
C. Ziegler  
und T. Knoke      Zur Beurteilung von intra- und interspezifischer Konkurrenz  
von Laubbaumbeständen im Dickungsstadium ..... 85  
(Assessing intra- and interspecific competition in thickets of  
broadleaved tree species)

- BUCHBESPRECHUNGEN ..... 95

**176. JAHRGANG 2005 HEFT 5 MAI**  
**J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG · FRANKFURT AM MAIN**

# ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

Unter Mitwirkung der  
Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten  
von Freiburg i. Br. und Göttingen

herausgegeben von

**Dr. K.-R. Volz**  
o. Professor  
der Forstwissenschaft an der  
Universität Freiburg i. Br.

**Dr. Dr. h.c. K. von Gadow**  
o. Professor  
der Forstwissenschaft an der  
Universität Göttingen

ISSN 0002-5852

*Erscheinungsweise:* Jährlich 12 Hefte, bei Bedarf Doppelhefte (zweimonatlich).

*Bezugspreis:* Jährlich € 132,- zuzüglich Zustellgebühr; Studenten und in Ausbildung befindliche Forstreferendare € 105,60 (empf. Richtpreis). Preis der Einzelhefte je nach Umfang verschieden.

*Bezug:* Durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag. Das Abonnement gilt jeweils für einen Jahrgang. Es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlussheftes eines Jahrgangs eine Abbestellung erfolgt.

*Manuskripte* (es werden nur Erstarbeiten veröffentlicht) sind nach vorheriger Anfrage an die Herausgeber einzusenden. Für unverlangt eingegangene Manuskripte wird keine Gewähr übernommen. Rücksendung erfolgt nur, wenn Rückporto beiliegt.

Entsprechend dem international weit verbreiteten Review-Verfahren wird jeder Beitrag von zwei Fachgutachtern (vor allem Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten der Universitäten in Freiburg i. Br. und Göttingen) hinsichtlich Inhalt und Form geprüft. Die Manuskripte sind möglichst auf Diskette und in dreifacher Ausfertigung einzureichen. Sie sollten 3 bis 4 (maximal 6 Druckseiten) umfassen. Hierbei entspricht eine Druckseite ungefähr einem zweiseitigen Text mit 12-Punkt-Schrift in Times New Roman. Neben einem möglichst kurz gehaltenen Titel der Arbeit sind bis zu maximal 10 Schlagwörter und key words anzugeben. Manuskripte mit Tabellen und Abbildungen werden nur angenommen, wenn die Tabellen-Überschriften und die Abbildungsunterschriften in deutscher und englischer Sprache abgefasst sind. Der Beitrag soll neben einer deutschen Zusammenfassung eine Zusammenfassung in englischer Sprache (Summary mit Title of the paper) enthalten. Die Übersetzung ins Französische (Résumé) erfolgt i. Allg. durch den Verlag.

Um unnötige Korrespondenz zu vermeiden, werden die Autoren gebeten, bei Abfassung ihres Manuskriptes eine neuere Ausgabe der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung sowie die beim Verlag und bei den Herausgebern erhältlichen „Hinweise für die Autoren“ zu beachten.

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck – auch von Abbildungen –, Vervielfältigung auf photomechanischem oder ähnlichem Wege oder im Magnettonverfahren, Vortrag, Funk- und Fernseh-sendung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – bleiben vorbehalten. Werden von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen einzelne Vervielfältigungsstücke im

Rahmen des § 54 UrhG hergestellt und dienen diese gewerblichen Zwecken, ist dafür eine Vergütung gem. den gleichlautenden Gesamtverträgen zwischen der Verwertungsgesellschaft Wort, Abt. Wissenschaft, Goethestr. 49, 80336 München und dem Bundesverband der Deutschen Industrie e. V., dem Gesamtverband der Versicherungswirtschaft e. V., dem Bundesverband deutscher Banken e. V., dem Deutschen Sparkassen- und Giroverband und dem Verband der Privaten Bausparkassen e. V., in die VG Wissenschaft zu entrichten. Die Vervielfältigungen sind mit einem Vermerk über die Quelle und den Vervielfältiger zu versehen. Erfolgt die Entrichtung der Gebühren durch Wertmarken der VG Wissenschaft, so ist für jedes vervielfältigte Blatt eine Marke im Wert von € 0,20 zu verwenden.

*Anzeigenannahme:* J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, D-60322 Frankfurt am Main.

*Anzeigenpreis:* Die 43 mm breite mm-Zeile € 0,44. Für Geschäftsanzeigen gilt die Preisliste Nr. 8. Anfragen an Verlag erbeten.

*Verlag:* J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, D-60322 Frankfurt am Main, Fernruf (069) 55 52 17, Telefax (069) 5 96 43 44. eMail: J.D.Sauerlaenders.Verlag@t-online.de *Bankkonten:* Commerzbank, Frankfurt a. M. 5 408 075; Frankfurter Sparkasse (Girokonto 96 958); Postbankkonto: Frankfurt a. M. Nr. 896-607.

This journal is covered by ELFIS, EURECO, CAB Forestry Abstracts, Chemical Abstracts, by Current Contents Series Agriculture, Biology and Environmental Sciences (CC/AB) and by the Science Citation Index® (SCI®) of Institute for Scientific Information.

#### Die Anschriften der Herausgeber:

Prof. Dr. K.-R. VOLZ, Institut für Forst- und Umweltpolitik der Universität Freiburg, Tennenbacher Str. 4, D-79106 Freiburg

Prof. Dr. Dr. h. c. KLAUS VON GADOW, Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen, Büsingenweg 5, D-37077 Göttingen

#### Die Anschriften der Mitarbeiter von Heft 5 des 176. Jahrgangs:

PD Dr. CHRISTIAN AMMER, Technische Universität München, Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

PD Dr. THOMAS KNOKE, Technische Universität München, Fachgebiet Waldinventur und Forstbetriebsplanung, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Professor Dr. CLAUDIUS MATTHECK, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Materialforschung II, Abteilung Biomechanik, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe

Dr. KARLHEINZ WEBER, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Materialforschung II, Abteilung Biomechanik, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe. E-Mail: karlheinz.weber@imf.fzk.de

CLAUDIA ZIEGLER, Technische Universität München, Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

#### Verfasser der Buchbesprechungen:

Professor Dr. Dr. h.c. H. ESSMANN, Universität Freiburg, Institut für Forst- und Umweltpolitik, AB Landnutzungspolitik, Tennenbacher Straße 4, D-79106 Freiburg

Prof. Dr. Dr. h.c. HORST KRAMER, Albert-Schweitzer-Straße 16, D-37075, Göttingen

Dr. R. LOCH, FVA Baden-Württemberg, Abt. Botanik und Standortkunde, Wonnhaldestr. 4, D-79100 Freiburg

#### Übersetzung der Résumés,

soweit sie nicht von den Autoren zur Verfügung gestellt werden:

J. MAHEUT, 25 Av. du Gal Leclerc, F-54600 Villers-les-Nancy



Aufsätze der **Allgem. Forst- und Jagdzeitung** seit 1949 in einem exklusiven **Recherche-Modul** auf dieser CD von **EURECO**: 26.279 Publikationen, 930.000 Keywords, zweisprachige Recherche **Deutsch-Englisch**, virtuelle **Bibliothek**, **Ausdrucke** und **Datenport** in **Proversion**; ab 69,- DM. aid, Konstantinstraße 124, Stichwort 'ÖKOWALD', D-53179 Bonn  
<http://www.fh-rotenburg.de/greenlink/oekowald/index.html>

# Die Doppelnatur der Wurzelplatte

(Mit 14 Abbildungen)

Von K. WEBER und C. MATTHECK

(Angenommen März 2005)

## SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Wurzelsystem; Wurzelarchitektur; Zugwurzel; Biegewurzel; Verriegelungswurzel; Wurzelplatte; Schubwurzelballen; spröder und zäher Windwurf; Holzstrahlen; Wurzelentwicklung.

Root system; root architecture; tension root; bending root; interlocking root; shear root-plate; brittle and ductile windthrow; wood anatomy; wood rays; root development.

## 1. EINLEITUNG

Grundlegende Arbeiten zur Entwicklung und Funktion von Wurzeln, zur Wurzelverankerung und dem Einfluss von Windlasten auf die Wurzelplatte finden sich in<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup>. Wird ein Baum bei Sturm geworfen, so schert seine Wurzelplatte aus der Erde. Die Radien solcher herausgedrehter Wurzelplatten wurden vermessen und mit den Stammradien der geworfenen Bäume verglichen. Die Messergebnisse von geworfenen Bäumen wurden im sogenannten Windwurf-Diagramm (Abb. 1) zusammengefasst<sup>7</sup>. Die herausgedrehte Wurzelplatte bzw. Wurzelsteller wird im folgenden Text als die „mechanisch wirksame Wurzelplatte“ und ihr Plattenradius mit „Rw“ bezeichnet.

Nachfolgend wurde anhand der Architektur von Wurzelsystemen und der Morphologie der einzelnen Wurzeln, einschließlich deren Veränderung im Laufe ihres Lebens (Teil I), sowie der Holzanatomie von Wurzeln in Abhängigkeit des Wurzelplattenradius (Teil II), die mechanische Wirkungsweise der Wurzelplatte, ihr Windwurfverhalten und die mechanische Wirkungsweise der windseitigen Wurzeln untersucht.

## 2. MATERIAL UND METHODE

### Teil I: Wurzelarchitektur und Windwurfverhalten – spröder und zäher Wurf

In einer Feldstudie an Rotbuchen und Fichten wurden Wurzelquerschnitte, Querschnittsformen und Größe einzelner Jahresringe, in Abhängigkeit des Wurzelradius untersucht.

An natürlich herausgedrehten Wurzelstellern nach Windwurf wurden die vor Ort auch tatsächlich relevanten Wurzelbereiche am Rande der mechanisch wirksamen Wurzelplatten (Rw, vgl. Abb. 1) zugänglich. Am Plattenrand wurden Wurzelholzproben entnommen, um „Verriegelungswurzeln“, vgl. Abb. 4, zu untersuchen ( $R = R_w$ ). Stammnah und stammfern wurden Wurzelholzproben entnommen, um „Biegewurzeln“ ( $R < R_w$ ), bzw. „Zugwurzeln“ ( $R > R_w$ ) zu untersuchen. Nach der makroskopischen Untersuchung wurden die Proben auch einer mikroskopischen Untersuchung (siehe Teil II) unterzogen.

### Teil II: Holzanatomie in Abhängigkeit vom Wurzelplattenradius

Vom Erdboden befreite, freigeblasene Wurzelstränge mehrerer Buchen (*Fagus sylvatica* L.) und Fichten (*Picea abies* L.) wurden segmentiert und holzanatomisch untersucht, wobei jedes Wurzelsegment einen unterschiedlichen radialen Abstand zum Stamm repräsentierte:

1) Stammnahe Proben aus der mechanisch wirksamen Wurzelplatte, mit  $R < R_w$ .

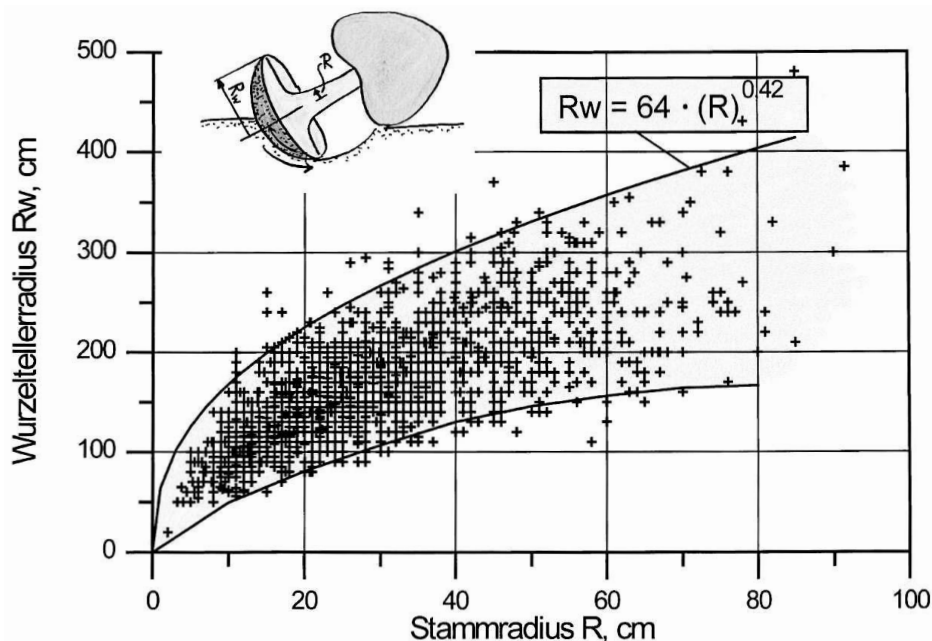


Abb. 1

Windwurf-Diagramm aus geworfenen Bäumen. Diagramm aus<sup>7</sup>.

The windthrow diagram is based on thrown trees. It shows the extent of the root-plate radius (Rw) for any given stem radius (R).

2) Proben aus dem Randbereich der mechanisch wirksamen Wurzelplatte,  $R = R_w$ .

3) Stammferne Proben außerhalb der mech. wirksamen Wurzelplatte, mit  $R > R_w$ .

Für die mikroskopische Untersuchung wurden mittels Schlittenmikrotom (Microm HM 440 E) 10–15 µm dicke Holzchnitte angefertigt. Es wurden jeweils Querschnitte und tangentielle Längsschnitte hergestellt. Die Holzchnitte wurden mit Safranin-Astrablau gefärbt, anschließend mit entmineralisiertem Wasser gewaschen, über eine Alkoholreihe entwässert und in Entellan eingeschlossen.

### 3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

#### Teil I: Wurzelarchitektur und Windwurfverhalten – spröder und zäher Wurf

Betrachten wir die Gestalt von Wurzelsystemen, so können wir drei wichtige Einflussgrößen erkennen, welche letztlich die vorhandene Wurzelplattenmorphologie festlegen: 1) Die angeborene Neigung des Wurzelsystems einer Baumart (genetische Eigenschaften), spiegelt sich im Einteilungssystem: Pfahl-, Herz-, Flachwurzler wider. 2) Das Baumalter. 3) Die Standortgegebenheiten: Bodeneigenschaften und äußere Belastungen vor Ort (Bodenverhältnisse z. B. Sand-, Fels-, Kiesboden, Humusgehalt und -verteilung, Staunässe, Bodentemperatur, Bepflanzungsdichte; Belastungsverhältnisse z. B. Windlasten und Windrichtungen). Vergleicht man diese Einflussgrößen mit der tatsächlichen Gestalt des individuellen Wurzelsystems, z. B. mit Hilfe des Wurzelatlas von KUTSCHERA und LICHTENEGGER<sup>8</sup>, so fällt auf, dass die Einteilung der Baumarten in Pfahl-, Herz- und Flachwurzler meist durch die Standortgegebenheiten festgelegt wurde (und weniger genetisch). Die Wurzeln wuchsen in und zu den Orten, wo sie die notwendigen Lebensbedingungen zum Wachsen fanden, d. h. die Wurzel muss

sich zwangsläufig den Bodenverhältnissen anpassen. Das Wurzelsystem eines jeden Baumes muss sich des Weiteren den individuellen Lastverhältnissen anpassen, z. B. Zugwurzelbildung auf der Windseite, um die Kräfte von Stamm und Krone kommend, in die Erde zu leiten. Bewältigt sie diese Aufgaben nicht, versagt sie.

Die individuelle Entwicklung des Wurzelsystems praktisch aller mitteleuropäischer Baumarten geht von der Keimpflanze als Pfahlwurzler startend über ein mehr oder weniger ausgeprägtes Herzwurzelsystem (alte Pfahlwurzeln sterben ab oder werden von Nachbarwurzeln im Wachstum eingeholt) zu einem Flachwurzelsystem des alten Baumes.

Schließlich kann man für mitteleuropäische Bäume ein vereinfachtes, verallgemeinertes Wurzelsystem-Modell ableiten, das praktisch den „Standardfall“ einer Baumwurzel darstellt, und das die Bodenbereiche mit den allgemein höchsten Wurzelichten beschreibt. *Abb. 2* zeigt dieses „Standard-Wurzelsystem“.

Der im Windwurf-Diagramm (*Abb. 1*) enthaltene Radius der mechanisch wirksamen Wurzelplatte ( $R_w$ ) stellt dabei den Ort der allgemein größten Bodendurchwurzelung und den Ort der Starkwurzeln dar. Dieser Teil des Wurzelsystems wird beim Wurf mit aus dem Boden gedreht – herausgeschert, weshalb wir ihn „Schubwurzelballen“ nennen werden. Um den zentralen Schubwurzelballen herum befindet sich ein flacherer äußerer Bereich hoher Wurzelichte, in dem sich die meisten dünneren Seitenwurzeln und Feinwurzeln befinden. Diesen Bereich der Wurzelplatte werden wir im Folgenden „Zugwurzelplatte“ nennen, da in diesem peripheren Wurzelplattenbereich die Gegenlager der Flachwurzeln, die Wurzelanker, lokalisiert sind.

Wir können schließlich eine noch detailliertere Aufgabenverteilung in einem Wurzelsystem aus mechanischer Sicht ableiten, *Abb. 3*. Die äußere Zugwurzelplatte besitzt ihrerseits einen inneren

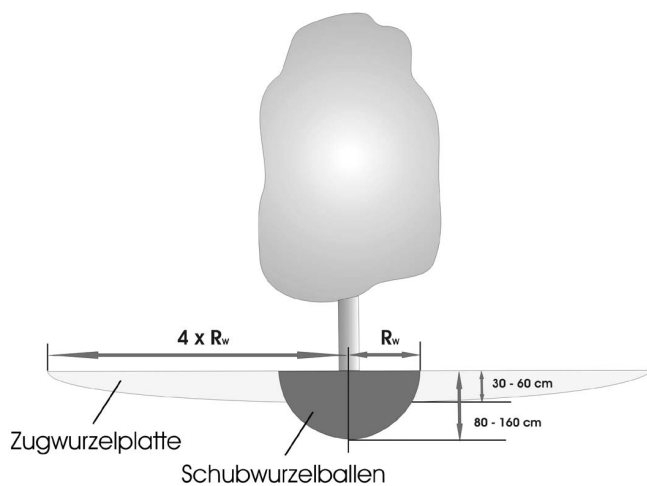


Abb. 2

Verallgemeinertes und vereinfachtes Wurzelsystem. Bodenbereiche der allgemein höchsten Wurzelichten (bei Stammradien  $R$  von ca. 10–30 cm).  $R_w$  = Radius der mechanisch wirksamen Wurzelplatte (Schubwurzelballen) mit den dicken Starkwurzeln und der allgemein größten Bodendurchwurzelung, während sich im flacheren äußeren Wurzelbereich (Zugwurzelplatte) die meisten dünneren Seitenwurzeln und Feinwurzeln befinden. Datengrundlage für die Herleitung dieses „Standardwurzelsystems“ war der *Wurzelatlas* von KUTSCHERA und LICHTENEGGER<sup>8</sup>.

Simplified model of the rootsystem. Soil regions with the highest root density.  $R_w$  = shear root plate radius (= root plate radius in *Fig. 1*), there are the most cardinal roots. In the tension root plate are the most fine roots. This “standard root system” is based on data from<sup>8</sup>.

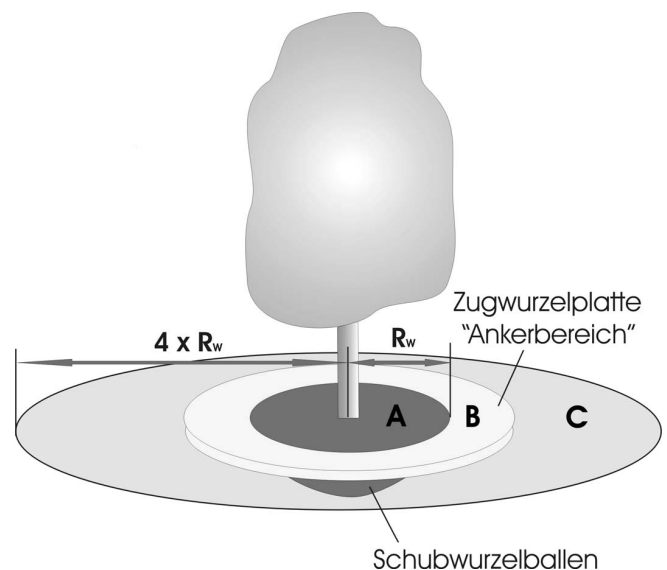


Abb. 3

Aufgabenverteilung im Wurzelsystem eines Baumes aus mechanischer Sicht. Innerer Bereich **A**: Schubwurzelballen mit  $R_w$  = Wurzelteller-radius aus Windwurfdiagramm. Mittlerer Bereich **B**: Mechanisch „aktiver“ Ankerbereich der Zugwurzelplatte. Außenbereich **C**: Feinwurzeln (physiologisch bedeutsam, weniger mechanisch). Bei windexponierten Bäumen ist **A** auf der Windseite ausgedehnter.

Division of functions within the root system from the mechanical view. **A**: Shear root plate. **B**: Mechanically “active” anchor range of the tension root plate. **C**: Fine roots in the marginal region of the tension root plate (more used physiologically than mechanically). In wind exposed places **A** is more extended on the wind side.

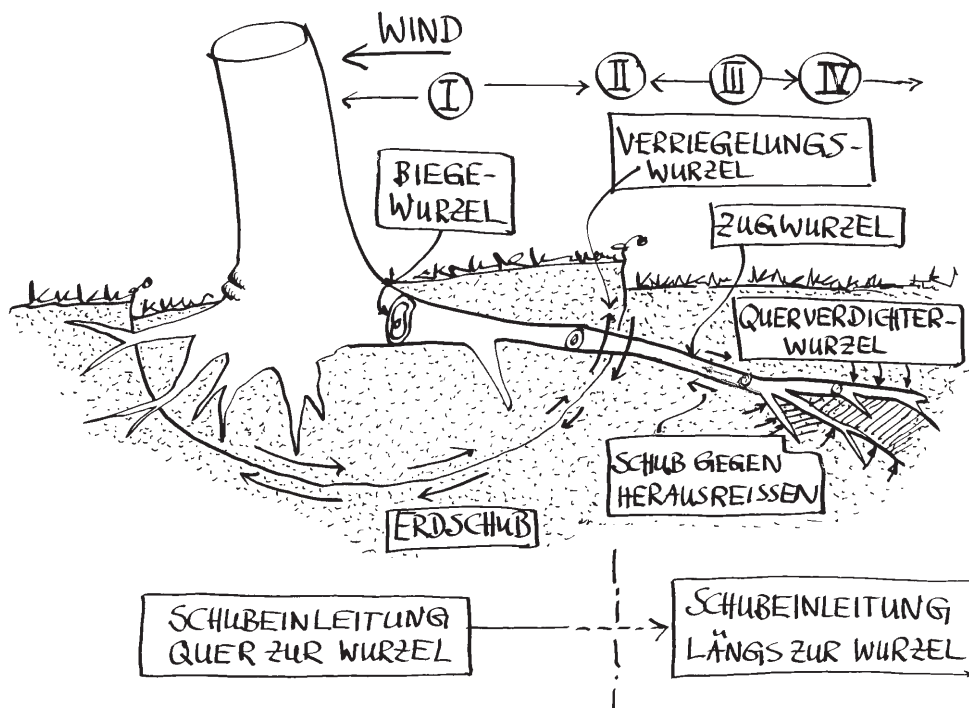


Abb. 4

Radiale Aufgabenverteilung in der Wurzel eines Baumes aus mechanischer Sicht.

- I: Stammnahe Biegewurzeln mit radialem Abstand  $R < R_w$ , II: Verriegelungswurzeln am Rande des Schubwurzelballens mit  $R = R_w$ , III: Zugwurzeln im Ankerbereich außerhalb des Schubwurzelballens  $R > R_w$  und IV: deren Seiten- bzw. Querverdichterwurzeln.

Radial division of mechanical functions within the root system of a tree.

- I: Bending root next to the stem with the radial distance:  $R < R_w$ . II: Interlocking root at the edge of the shear root plate ( $R = R_w$ ). III: Tension root in the anchor range outside the shear root plate ( $R > R_w$ ) and IV: Outer lateral compressor root system.

mechanisch „aktiven“ und daher auch mechanisch relevanten „Ankerbereich“, in dem die Zugwurzeln bei Zugbelastung den Erdboden zum Stamm hin komprimieren<sup>9</sup>, was dort die Scherfestigkeit der Erde erhöht und dem Herausreißen des Wurzelballens entgegenwirkt. Der periphere Plattenbereich (bis ca.  $4 \times R_w$ ) besteht vornehmlich aus dünnen Seitenwurzeln und aus Saug- bzw. Feinwurzeln in oberen Humusschichten, die meist auch von Mykorrhizapilzen umgeben und für die Wasser- und Mineralstoffaufnahme viel bedeutsamer sind, als für die Standfestigkeit des Baumes.

Nach diesen Vorbetrachtungen können wir nun auch die mechanische Aufgabenverteilung entlang einer einzelnen Baumwurzel in radialer Richtung von innen (stammnaher Wurzelbereich) nach außen (stammferner Wurzelbereich) erkennen und in Abb. 4 veranschaulichen. Wird ein Baum durch Wind gebogen, leitet sein Stamm Biegespannungen in die Wurzelanläufe ein. Diese Biegespannungen steuern das Dickenwachstum der Wurzeln und ovalisieren ihren Querschnitt (vgl. Abb. 5). Derartige stammnahe Wurzeln nennen wir im Folgenden „Biegewurzeln“ (Abb. 4, I). Folgen wir nun einer Wurzel radial nach außen, erreichen wir den Rand der mechanisch wirksamen Wurzelplatte ( $R_w$ ), bzw. den Rand des Schubwurzelballens. Unsere Wurzel verriegelt hier den Schubballenrand mit der umgebenden Erde, damit er nicht aus selbiger scheitern kann. Diesen Wurzelabschnitt werden wir folglich „Verriegelungswurzel“ nennen (Abb. 4, II). Folgen wir der Wurzel noch weiter nach außen, gelangen wir in einen Wurzelbereich, in dem Zug dominiert, weil auf einer Seite die Verriegelungswurzel zieht und auf der anderen Seite die Gegenlager ankern mittels Querverdichterwurzeln. Diesen Wurzelabschnitt wollen wir aufgabenbezogen „Zugwurzel“ nennen (Abb. 4, III). Im Zugwurzel/Querverdichter-

terwurzel-Bereich komprimiert sich messbar das Erdreich, wenn der Stamm sich biegt<sup>9</sup>. Weiter außen, im peripheren Wurzelplattenbereich befinden sich an dünnen Seitenwurzeln die meisten Fein-

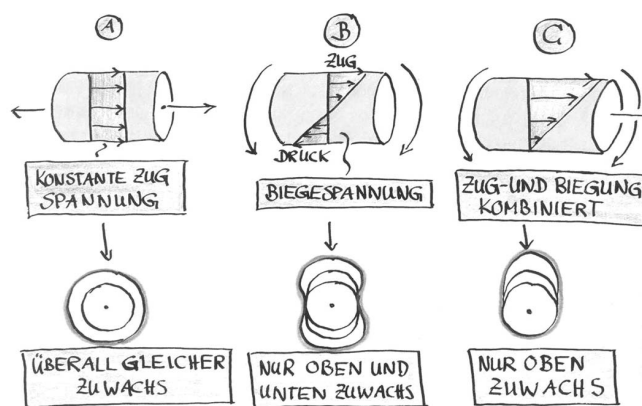


Abb. 5

Wurzelquerschnitte und mechanische Spannungen. An Bereichen hoher mechanischer Spannungen lagert der Baum mehr Holz, d. h. dickere Jahresringe, an; Zeichnung aus<sup>7</sup>.

Root cross-sections depending on sustained stresses.

- A: Uniformly distributed tensile or compressive stresses lead to uniform increments, i.e. an annual ring that is of equal thickness all the way around. B: Pure bending stresses lead to thick annual rings on top on the tension side and also below on the compression side. C: Adding the stresses from A and B, we get the stress distribution which leads only to increments on the upper side.

und Saugwurzeln, deren Hauptfunktion die Wasser- und Mineralstoff-Aufnahme ist, weshalb ihr Stützfunktionscharakter, bzw. ihre mechanische Relevanz, zunehmend zurück geht.

Häufig konnten am Rande der mechanisch wirksamen Wurzelplatte ( $R_w$ ) etwas horizontal abgeflachte Wurzelquerschnitte beobachtet werden, während in Stammnähe ( $R < R_w$ ) stark vertikal ovalisierte Querschnitte (Überlagerung von Biegung und Zug, „Biegewurzel“) und stammfern ( $R > R_w$ ) eher runde Wurzelquerschnitte (reiner Zug, „Zugwurzel“) beobachtet werden konnten. Die erhaltenen Wurzelquerschnitte standen im Einklang mit dem Modell des spannungsgesteuerten Wurzelwachstums, Abb. 5, und dem Modell der radialen Aufgabenverteilung innerhalb einer Wurzel, Abb. 4. Die Ursache für das mehrfach beobachtete horizontale Abflachen der Wurzelquerschnitte von „Verriegelungswurzeln“ wird derzeit untersucht. Möglicherweise entstand dies u. a. als Folge seitlichen Drehens des Schubwurzelballens bei Torsion des Stammes.

**Bemerkenswerte Erkenntnis:** Die Funktion der Wurzel in Abhängigkeit des radialen Abstandes vom Stamm spiegelte sich im stammnahen Wurzelquerschnitt wider, siehe Abb. 6. Aus der jugendlichen Zugwurzel mit rundem Querschnitt wurde während des Wurzelplattenwachstums eine Verriegelungswurzel mit beginnendem vertikal ovalisiertem Querschnitt (Übergang von Zug- nach Biegebelastung) und schließlich wurde aus ihr eine Biegewurzel mit achtförmigem Querschnitt. Noch anschaulicher wird diese Erkenntnis, in Abb. 7 selbsterklärend dargestellt.

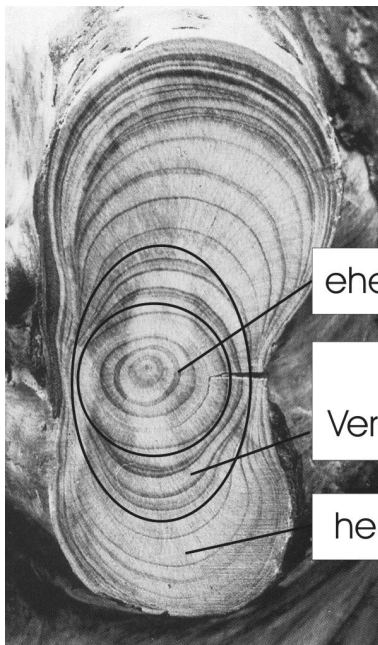


Abb. 6

Die Funktion der Wurzel in Abhängigkeit des radialen Abstandes vom Stamm (vgl. Abb. 4) spiegelt sich im stammnahen Wurzelquerschnitt wider. Aus der jugendlichen Zugwurzel mit mehr oder weniger rundem

Querschnitt wurde während des Wurzelplattenwachstums eine Verriegelungswurzel mit beginnendem vertikal ovalisiertem Querschnitt (Übergang von Zug- nach Biegebelastung) und schließlich wurde aus ihr eine Biegewurzel mit achtförmigem Querschnitt.

Mechanical root function depending on the radial distance to the stem (see fig. 4) is mirrored in the root cross section next to the stem. The juvenile tension root with a circular contour developed while root plate growth to an interlocking root with a beginning vertical-oval contour (transition from tension load to bending load) till at final stage a bending root occurs with a "figure-of-eight" contour at the cross section.

Bäume mit großen Schubwurzelballen umgeben von einer weitreichenden Zugwurzelplatte besitzen ein mechanisch optimales Wurzelsystem und damit auch eine ideale Wurfstabilität. Ist eine der beiden Komponenten stark unterrepräsentiert (Abb. 8), kann es beim Versagen zu einem „spröden“ oder „zähen“ Wurfverhalten kommen, vgl. Abb. 9.

## Teil II: Holzanatomie in Abhängigkeit vom Wurzelplatten-Radius

Die Holzanatomie von Wurzelabschnitten mit unterschiedlichem Abstand zum Stamm spiegelte sich in stammnahen Wurzelquerschnitten wider. Zugwurzeln mit rundem Querschnitt und außer-

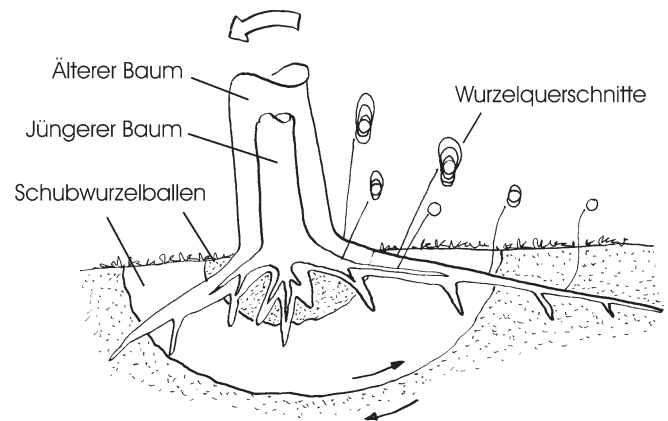


Abb. 7

Mit der Vergrößerung des Schubwurzelballens werden ehemals außerhalb von diesem zugbelastete Wurzeln nunmehr zu Verriegelungswurzeln am Rande der mechanisch wirksamen Wurzelplatte und später zu Biegewurzeln im Inneren der Wurzelplatte.

With the extension of the root plate former tension loaded roots (outside of the shear root plate) become interlocking roots (at the edge of the shear root plate) and at last bending roots (inside the shear root plate).

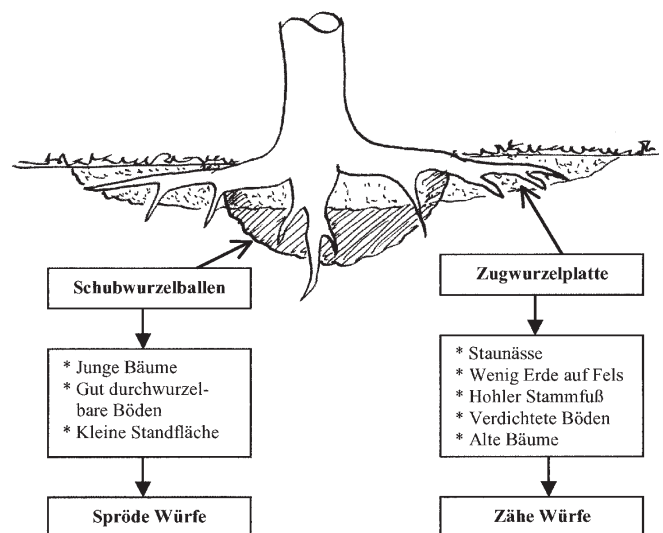


Abb. 8

Einige Ursachen für das einseitige Abweichen von der idealen Wurfstabilität (großer Schubwurzelballen umgeben von weitreichender Zugwurzelplatte) und ihre Folgen für das Windwurfverhalten.

Some reasons for differ from the ideal windthrow stability (big shear root plate surrounded by a widespread tension root plate) and the consequences in the windthrow behaviour.

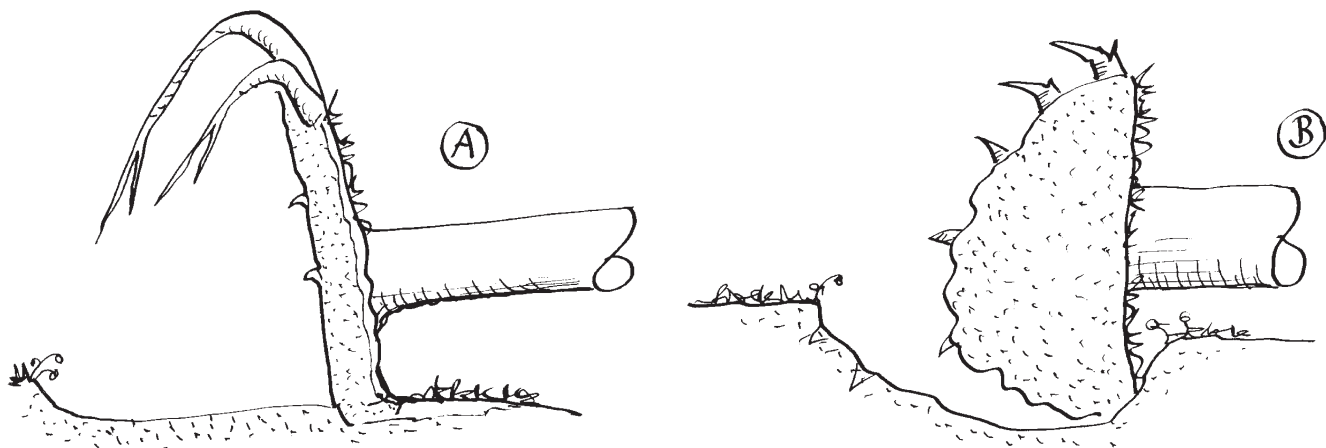


Abb. 9

Zäher und spröder Windwurf. **A:** Zäher Wurf bei (horizontal) wurzelbetonter Verankerung durch langsames Ausreißen der Zugwurzelplatte.

**B:** Spröder Wurf, der nach Überschreiten der Scherfestigkeit am Rande des Schubwurzelballens schnell erfolgt.

The ductile and the brittle windthrow. **A:** Ductile windthrow when horizontal root anchorage emphasised by a slowly pullout.

**B:** Brittle windthrow rapidly after exceed the shear strenght all-over the shear root plate.

halb der mechanisch wirksamen Wurzelplatte entnommen, hatten die gleichen holzanatomischen Merkmale wie die Holzbereiche um das primäre Xylem der stammnahen Wurzelquerschnitte von Biegewurzeln, vgl. *Abb. 10*.

Verriegelungswurzeln aus dem Rande der mechanisch wirksamen Wurzelplatte zeigten keine oder gerade beginnende Zuwachssteigerungen (zunehmende Jahrringbreiten) auf der Oberseite oder Ober- und Unterseite der Wurzel. Holzanatomisch entsprechende Bereiche ließen sich auch in stammnahen Wurzelquerschnitten beobachten. Da die Holzstrahlen immer etwa senkrecht auf den Jahrringgrenzen stehen, kommt es durch die Zuwachsänderung an dieser Stelle oft zu einer deutlich sichtbaren Umkehr der Holzstrahlrichtung auf dem Sägeschnitt, vgl. *Abb. 10* (VW). Durch die hier geänderten Belastungsverhältnisse (zusätzliche Biegespannung) reagierte das Kambium mit lokaler Zuwachssteigerung. Diese lokalen Zuwachssteigerungen nehmen, je näher wir an den Stamm kommen, bzw. je höher die eingeleiteten Biegespannungen sind, zu. Die stammnahe Biegewurzel, (BW) *Abb. 10*, zeigte schließlich oben große Zuwächse mit großem Holzfaserteil. Die Faserzellen hatten im mechanisch hoch belasteten oberen Bereich auch kleinere Durchmesser, als im weniger belasteten zentralen Bereich, wodurch eine höhere Faseranzahl pro Querschnittsfläche vorlag.

Die Holzstrahlspindeln in den tangentialen Längsschnitten (*Abb. 10*) stammnaher Wurzeln zeigten in Form und Größe ebenfalls Entsprechungen mit den Holzstrahlen in Wurzelproben aus unterschiedlichen Wurzelplattenradien. Zugwurzeln, sowie die entsprechenden zentralen Bereiche innerhalb der Verriegelungs- und Biegewurzeln, besaßen im Zentrum (nahe dem primären Xylem) lange, wenig geteilte Holzstrahlen aus relativ großen Parenchymzellen (vgl. *Abb. 10*). An der Oberfläche von Verriegelungswurzeln und im entsprechenden VW-Bereich innerhalb der Biegewurzeln waren die Holzstrahlspindeln dicker, besaßen ein Vielfaches an kleineren Parenchymzellen und waren stark aufgespalten. Im äußeren, oberen Biegewurzelbereich schließlich waren diese Holzstrahlspaltstücke durch Einziehen von Holzfasern und Gefäßen tangential auseinander gedriftet.

Diese zunehmende Aufspaltung der Holzstrahlen im Verriegelungswurzel- und Biegewurzelbereich kann die radiale Armierung des Wurzelholzes verbessern und so zu einer höheren radialen Biegefestigkeit beitragen<sup>10</sup>. C. KOLESINSKI<sup>11</sup> konnte des Weiteren bei

Buchenwurzeln am Rande der mechanisch wirksamen Wurzelplatte auch eine Zunahme der mittleren axialen Biegefestigkeit und axialen Zugfestigkeit feststellen.

Auch bei den Fichtenwurzeln spiegelte sich im stammnahen Wurzelquerschnitt die Holzanatomie der Wurzel in Abhängigkeit des Wurzelplattenradius wider. Zugwurzeln mit rundem Querschnitt und außerhalb der mechanisch wirksamen Wurzelplatte entnommen, hatten grundsätzlich die gleichen holzanatomischen Merkmale wie die Holzbereiche um das primäre Xylem bei stammnahen Biegewurzeln, siehe *Abb. 11*. Die Porosität der Zugwurzeln war jeweils sehr hoch, während der „holzfaserartige“ Spätholzanteil (dickwandige Spätholztracheiden) sehr gering war. Umgekehrt zeigte die stammnahe Biegewurzel, BW *Abb. 11*, oben größere Zuwächse mit hohem „holzfaserartigem“ Spätholzanteil.

Im Gegensatz zur Buchenwurzel konnte bei der Fichtenwurzel keine Holzstrahlaufspaltung beobachtet werden. Lediglich die Holzstrahldichte schien um das primäre Xylem etwas höher zu sein, als im übrigen Holzgewebe. Lokal gesteigerte Zuwächse mit hohem Spätholzanteil (dickwandige Tracheiden) waren bei Fichte die bevorzugte Antwort des Kambiums auf die zusätzliche Biegebelastung. Allerdings wurden die Tracheiden nach außen hin zunehmend kleiner, bzw. schlanker, wodurch auch eine deutlich höhere Anzahl pro Querschnittsfläche vorhanden war.

Das primäre Xylem im biologischen Zentrum der Fichtenwurzel, wie auch das dieses umgebende Gewebe, welches z. B. in der Biegewurzel die ehemalige Zugwurzel repräsentierte, veränderte sich anatomisch mit abnehmendem Abstand zum Stamm. *Abb. 12A* zeigt die dünne Zugwurzel außerhalb der mechanisch wirksamen Wurzelplatte. Die Harzkanäle ihres primären Xylems waren offen und mit dünnwandigen, unverholzten Epithelzellen ausgekleidet. Indes zeigt *Abb. 12B* das primäre Xylem einer Biegewurzel innerhalb der mechanisch wirksamen Wurzelplatte. Die Harzkanäle waren durch blasenartig eingewachsene Epithelzellen verschlossen, die außerdem dickwandig und verholzt waren (funktionell ein mit der Thyllenbildung bei Laubböhlzern vergleichbarer Vorgang in der Nadelholzwurzel). Auch die radialen Harzkanäle zeigten im zentralen Bereich diese Umwandlung. Des Weiteren wurden z. T. in den dort vorhanden Parenchymzellen phenolische Substanzen eingelagert (möglicherweise Folgen von Alterungsprozessen). Aus mechanischer Sicht bedeuten diese Veränderungen im primären Xylem und den umgebenden Gewebereichen ein etwas kompakteres und

auch festeres Holz im Zentrum der Biegewurzel gegenüber dem Zentrum der Zugwurzel. Eine Bestätigung dieses holzanatomischen Befundes lieferte C. KOLESINSKI<sup>11</sup>, indem sie eine mittlere Biegefestigkeit von Fichtenwurzelzentren von ca. 30 MPa in 50 cm Abstand vom Stamm nachwies, die langsam auf ca. 20 MPa in 200 cm Abstand vom Stamm abfiel. Abb. 13, zeigt des Weiteren die

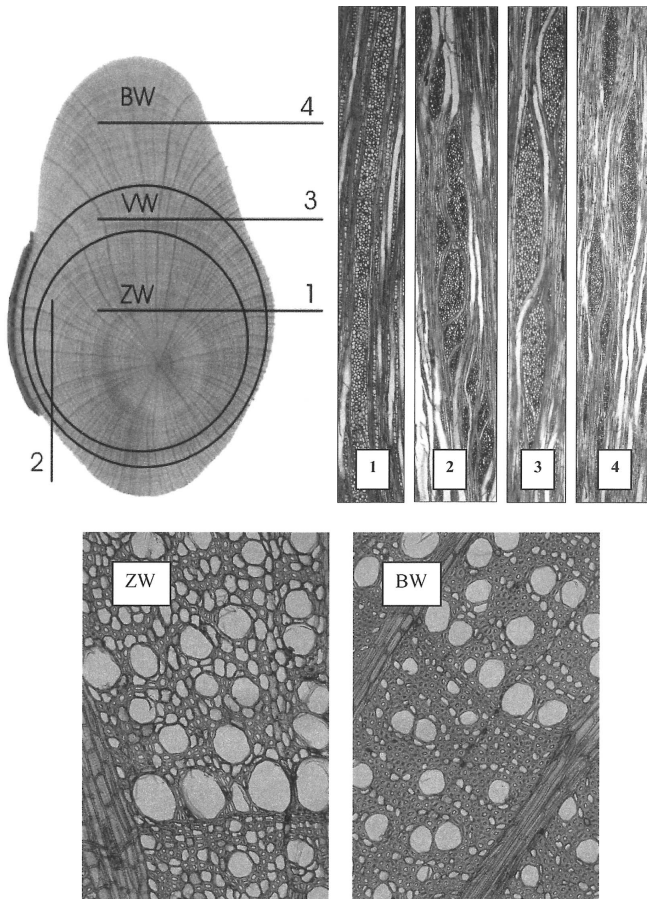


Abb. 10

Quer- und Längsschnitte einer Buchenwurzel (*Fagus sylvatica* L.), stammnahe „Biegewurzel“. Die Holzanatomie der Wurzel in Abhängigkeit des Abstandes vom Stamm spiegelt sich im stammnahen Wurzelquerschnitt wider. Die jugendliche Zugwurzel (ZW) [ $R > R_w$ ] mit in etwa rundem Querschnitt geriet während des Wurzelplattenwachstums in den Randbereich der mech. wirksamen Wurzelplatte und bekam die Funktion einer Verriegelungswurzel (VW) [ $R = R_w$ ] mit beginnendem ovalisiertem Querschnitt und schließlich wurde die Wurzelplatte so groß, dass sie zu einer nun stammnahen Biegewurzel (BW) [ $R < R_w$ ] „umfunktioniert“ wurde (starke Ovalisierung im Querschnitt). Details aus BW und ZW: Mikroskopvergrößerung 200x. 1, 2, 3, 4 zeigen jeweils die Schnittebenen der angefertigten tangentialen Längsschnitte und die Aufspaltung der Holzstrahlen. Mikroskopvergrößerung 80x.

Transverse and tangential sections of beech root wood (*Fagus sylvatica* L.), bending root located next to the stem, the wood anatomy depending to the radial distance to the stem is mirrored in the transverse section of the root located next to the stem. The young tension root (ZW) outside the shear root plate ( $R > R_w$ ) with a round contour developed while root plate growth to an interlocking root (VW) at the edge of the shear root plate ( $R = R_w$ ) with a beginning vertical-ovale contour till at final stage a bending root (BW) occurs with a highly ovale contour inside the shear root plate ( $R < R_w$ ).

Details from BW and ZW: Microscope magnification 200x.

1, 2, 3, 4 shows levels of cut directions of the tangential sections and the ray splitting (1–4, microscope magnification, MM 80x).

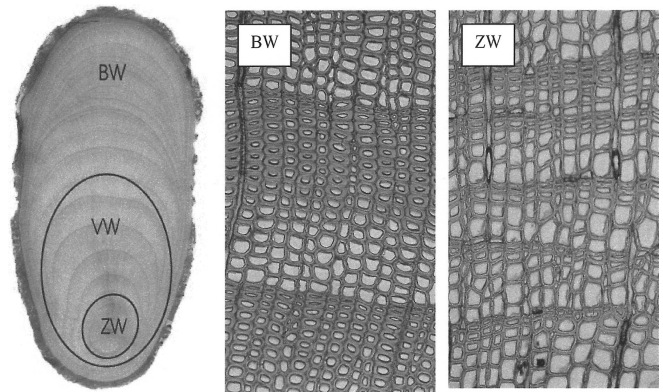


Abb. 11

Fichte (*Picea abies* L.), Wurzelquerschnitt aus einem Bereich innerhalb des Schubwurzelballens. Die Holzanatomie der Wurzel in Abhängigkeit des radialen Abstandes vom Stamm spiegelt sich im stammnahen Wurzelquerschnitt wider. Die jugendliche Zugwurzel (ZW) [ $R > R_w$ ] mit in etwa rundem Querschnitt geriet während des Wurzelstellerwachstums in den Randbereich der mech. wirksamen Wurzelplatte und bekam die Funktion einer Verriegelungswurzel (VW) [ $R = R_w$ ] mit beginnend ovalisiertem Querschnitt als Reaktion auf die überlagerte Biegespannung und schließlich wurde die Wurzelplatte so groß, dass sie zu einer nun stammnahen Biegewurzel (BW) [ $R < R_w$ ] „umfunktioniert“ wurde. Details aus BW und ZW, Mikroskopvergrößerung 200x.

Transverse sections of spruce root wood (*Picea abies* L.). „Bending root“ located next to the stem. BW: Outer region of the root wood loaded with bending + tension (MM: 200x). ZW: Early growth rings from the former tension loaded “tension root” (MM: 200x).

„Entwicklungsgeschichte“ von einer Zugwurzel zu einer Biegewurzel (bzw. Verriegelungswurzel) anhand Biegefestigkeitswerten.

Die in dieser anatomischen Studie dargestellten charakteristischen Wurzelgewebe der Zug-, Verriegelungs- und Biegewurzeln finden sich in Abb. 13 als Festigkeitswerte wieder.

### Die „Entwicklungsgeschichte“ einer Wurzel

Jede Baumwurzel macht im Allgemeinen eine Art Ausbildung durch. Zuerst, im Primärzustand, ist sie für die Aufnahme von Wasser (und darin gelösten Ionen/ Mineralien) mittels Wurzelhaare zuständig. Dann, im frühen Sekundärzustand, ist sie vornehmlich für den Transport von Wasser und Ionen verantwortlich. Danach bekommt sie zur Transportfunktion auch eine wichtige mechanische Aufgabe zugewiesen.

Sie beginnt windseitig ihre mechanische Ausbildung in der Regel als reine Zugwurzel, in dem sie runde konzentrische Jahresringe mit zunehmendem Spätholzanteil ausbildet. Je stärker an ihr gezogen wird, desto größer wird der holzfaserreiche Spätholzanteil. Während sie in die Dicke wächst, wächst auch das gesamte Wurzelsystem in die Breite und Tiefe. Unser hier betrachteter Wurzelabschnitt gerät nun in den Randbereich des Schubwurzelballens und erfährt jetzt zusätzlich Biegung, die vom Stamm eingeleitet wird, wenn er selber gebogen wird.

Unser Wurzelabschnitt beginnt nun die zweite Phase seiner mechanischen Ausbildung, in dem er exzentrisch mit ein- oder beidseitig dickeren Jahresringen weiter wächst. Aus der Zugwurzel ist eine Verriegelungswurzel geworden, die nun verhindern soll, dass sich die mechanisch wirksame Wurzelplatte aus der Erde herausdreht, bzw. herauschert.

Während der Rand der mechanisch wirksamen Wurzelplatte als Folge des Baumwachstums immer weiter nach außen geschoben



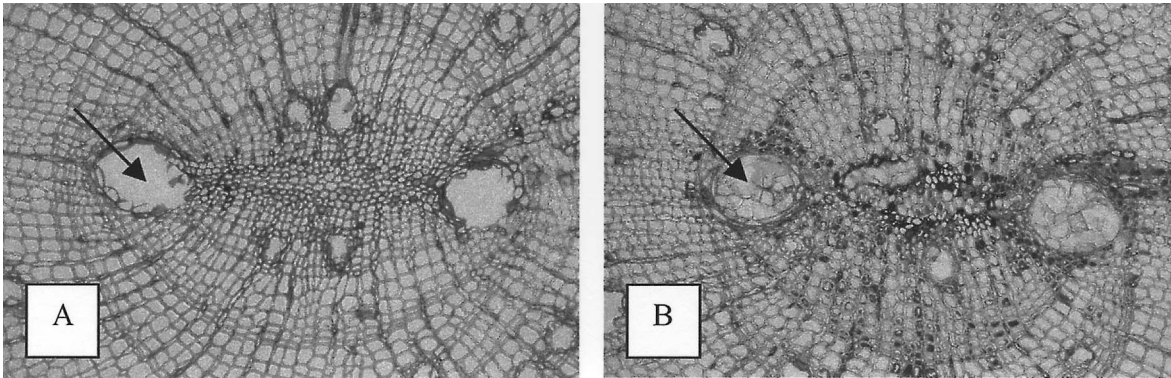


Abb. 12

Querschnitte des primären Xylems von Fichtenwurzeln mit Harzkanälen deren (A) Epithelzellen dünnwandig sind (junge Zugwurzel) und (B) deren Epithelzellen blasenartig in die Harzkanäle eingewachsen sind (Biegewurzel), die außerdem dickwandig und verholzt sind (eine Art Thyllenbildung). Mikroskopvergrößerung 100x.

- (A) Cross section of the “primary xylem” with resin canals from a young spruce tension root with a round contour, MM 100x,  
 (B) Cross section of the “primary xylem” with resin canals filled with bubble-like thick-walled epithelial cell-bulges from a bending root with an ovale contour, MM 100x.

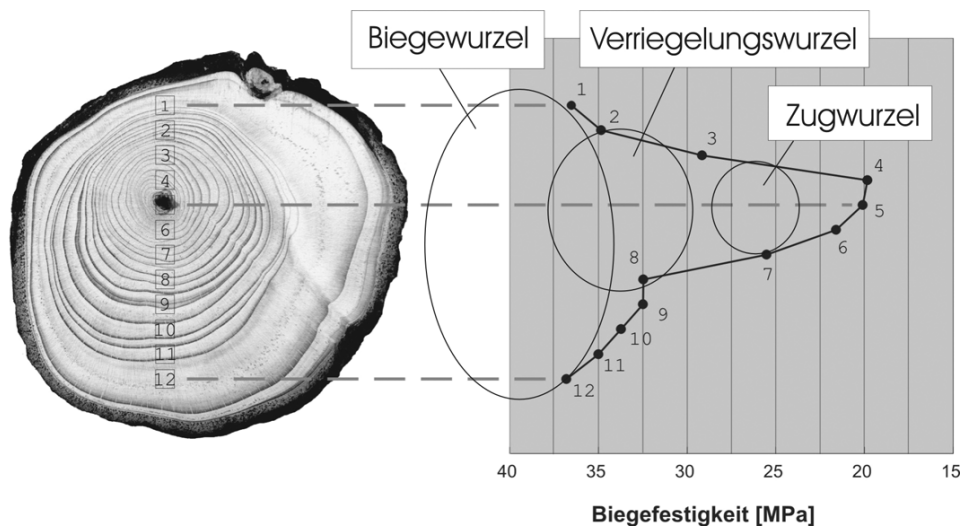


Abb. 13

Querschnitt einer Fichtenwurzel mit zugehörigem Festigkeitsprofil. Die aus der Holzscheibe entnommenen Proben für die Biegefestigkeitsmessung wurden mit 1–12 nummeriert. Der etwa runde, zentrale Bereich um das primäre Xylem (die Proben 3–7) repräsentiert die junge zugbelastete Wurzel mit konzentrischen, engen Jahresringen, mit weniger Spätholz und mit niedrigeren Biegefestigkeitswerten. Die Proben 9–12 entstammen aus dem exzentrischen Außenbereich der einseitig verdickten Jahresringen, mit höherem Spätholzanteil und viel höheren Biegefestigkeiten. Ab etwa der Probe 9, was auch einem bestimmten Wurzelalter entsprach, hatten sich die Belastungsverhältnisse an der Wurzel geändert, sie bekam dann zusätzlich Biegung. Abbildung verändert nach C. KOLESINSKI<sup>11</sup>.

Cross section of spruce root and the corresponding strength-profile. Samples for measuring bending strength are numbered 1–12. The circular centre region (No. 3–7) represents the young tension root with a low bending strength. The excentric external region (No. 9–12) with high rates of latewood represents the older bending root with a high bending strength. After sample No. 8/9 the loading was changed by adding bending load to tension load (a period of time, resp. root plate age, working as interlocking root). Figure modified after C. KOLESINSKI, 2002.

wird, wächst der Stamm geradewegs auf unseren betrachteten Wurzelabschnitt zu, der sich schließlich stammnah und innerhalb des Schubwurzelballens befindet.

So nahe am Stamm erfährt unsere Wurzel höhere Biegekräfte, wodurch sie meist stark einseitig zuwächst (brettartig, Zug-Biege-Überlagerung) oder auch beidseitig (achtförmig, vornehmlich Biegung), jeweils mit einem relativ hohen faserreichen Spätholzanteil,

und somit zur Biegewurzel avanciert. Ihre mechanische Ausbildung ist nun weitgehend abgeschlossen. Lediglich besonders stammnahen Wurzelabschnitten wird es erlaubt auch Wurzelanlauf zu werden.

Wie aus der Literatur entnommen werden kann<sup>8, 12</sup> und oben großteils dargestellt wurde, gilt allgemein für die Holzanatomie der Wurzel in Abhängigkeit des radialen Abstandes zum Stamm:

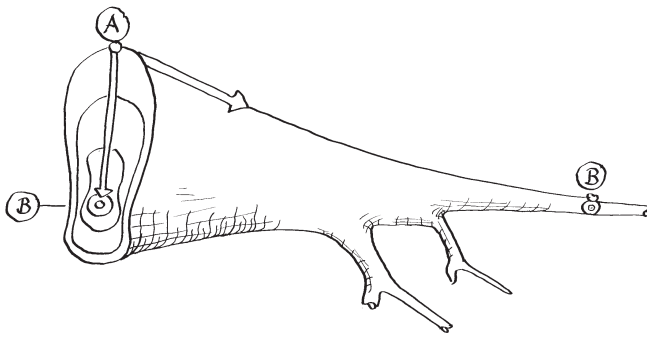


Abb. 14

Zusammenfassende Darstellung der Entwicklungsgeschichte einer Wurzel. Wandern wir vom Holzkörperbereich in Punkt (A) nach (B), so wandern wir in die „Vergangenheit“ des Punktes (A) so wohl holzanatomisch, wie auch mechanisch funktionell und das im Wurzelquerschnitt, wie auch in der gesamten Wurzelplatte des Baumes. Denn der stammnahe Wurzelquerschnitt spiegelt die Holzanatomie der Wurzel in Abhängigkeit des radialen Abstandes zum Stamm wider.

Summarised history of the root development. Going from region (A) to region (B) means going “into the past” anatomically and mechanically within the root transverse section as well as going outward within the root plate system of the tree, because the wood anatomy of the transverse section of the root located next to the stem is mirrored in the change of wood anatomy with the distance from the stem.

Durch einen höheren Gefäßanteil und meist auch höheren Parenchymanteil, sowie einen geringeren Holzfasernanteil, wie auch durch eine allmähliche Zunahme der Zelllängen aller Zelltypen bei gleichzeitiger Vergrößerung der Zelllumina und dünner werdenden Zellwänden, wird das Wurzelholz mit zunehmendem Stammabstand immer weicher, zäher und biegsamer.

Wie wir hier aus unserer Studie ableiten konnten, gilt diese allgemeine Beschreibung der Holzanatomie im Wesentlichen auch für das Holzgewebe in einem stammnahen Wurzelquerschnitt, wenn wir von außen (i. d. R. von oben) radial nach innen (zum primären Xylem) wandern. Denn der stammnahe Wurzelquerschnitt spiegelt die Holzanatomie der Wurzel in Abhängigkeit des radialen Abstands zum Stamm wider, vgl. Abb. 14.

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Teil der Arbeit wurde durch Vergleich der Wurzelarchitektur heimischer Baumarten ein „Standard-Wurzelsystem“ vorgestellt, das funktionsbedingt aus einem zentralen Schubwurzelballen und einer marginalen Zugwurzelplatte besteht. Aus mechanischer Sicht besteht innerhalb eines Wurzelstranges eine radiale Aufgabenverteilung. Stammnahe „Biegewurzeln“ innerhalb des Schubwurzelballens gehen in „Verriegelungswurzeln“ am Rande des Schubwurzelballens über um schließlich „Zugwurzeln“ im Ankerbereich außerhalb des Schubwurzelballens zu werden. Anhand Wurzelquerschnitten, deren Konturen und Jahrringbreiten lastgesteuert entstanden, konnte festgestellt werden, dass sich diese mechanischen Funktionen der Wurzel in Abhängigkeit des Abstandes zum Stamm auch im stammnahen Wurzelquerschnitt widerspiegeln.

Die ideale Wurfstabilität besitzen Bäume mit großen Schubwurzelballen umgeben von weitreichenden Zugwurzelplatten. Bei Unterrepräsentation einer dieser Komponenten kann es zu einem spröden oder zähen Windwurfverhalten kommen.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden die anatomischen Merkmale des Wurzelholzes in Abhängigkeit vom Wurzelplattenradius vergleichend gegenübergestellt und die mechanische „Berufsausbil-

dung“ innerhalb der Entwicklungsgeschichte der Wurzel vorgestellt. Auch hier spiegelte die Holzanatomie der stammnahen Wurzelquerschnitte die Holzanatomie der Wurzeln in Abhängigkeit des radialen Abstandes zum Stamm wider.

#### 5. Summary

Title of the paper: *The double nature of the root plate.*

Part I: Root architecture and windthrow behaviour-brittle and ductile throw.

Part II: Wood anatomy depending on the root plate radius.

Part I shows a simplified model of the root system by comparison local tree species. This “standard root system” consists of a central shear root plate surrounded by a tension root plate (see Fig. 2 and Fig. 3). From this follows the double nature of the root plate.

The ideal windthrow stability has a tree with a big shear root plate surrounded by a widespread tension root plate. Consequences in differ from this ideal anchorage can be a ductile or a brittle windthrow behaviour (see Fig. 8 and Fig. 9).

There also is a radial division of mechanical functions within a root-strand. A “bending root” next to the stem within the shear root plate will become to an “interlocking root” at the edge of the shear root plate and at least become a “tension root” outside the shear root plate (see Fig. 4). It was shown that this mechanical functions are mirrored in the root transverse sections next to the stem (see Fig. 6 and Fig. 7).

Part II shows the development and mechanical education of the root. The wood anatomy of the transverse section of the root located next to the stem (Fig. 10 and Fig. 11) is also mirrored in the change of wood anatomy with the distance from the stem (see Fig. 13 and Fig. 14).

#### 6. Résumé

Titre de l'article: *La double nature du plateau racinaire.*

Dans la première partie de ce travail on a proposé en partant de la comparaison de l'architecture des racines des essences autochtones un «système standard d'enracinement» qui comprend, compte tenu des fonctions remplies, un paquet – une balle – de racine exerçant une pression et un plateau marginal de racines exerçant une traction. Du point de vue mécanique il existe à l'intérieur de l'écheveau des racines une répartition des rôles radiale. A proximité de la souche on a des «racines arquées», à l'intérieur du paquet de racines, qui, à la limite de celui-ci, deviennent des «racines de verrouillage»; enfin, dans la zone d'ancrage, et cette fois en dehors de la balle racinaire, on aboutit aux «racines de tradition». En observant des sections transversales dont les contours et les largeurs des cernes résultent des contraires supportées on a pu établir que ces fonctions mécaniques des racines, qui se diversifient selon l'éloignement à partir de la souche, se reflètent également dans les sections transversales proches de la souche.

La résistance idéale aux ouragans appartient aux arbres ayant une balle important de racines entourée d'un plateau de racines de traction bien développé. Si l'un ou l'autre de ces composants est sous représenté il se peut que la résistance au vent devienne fragile et mollassone.

Dans la deuxième partie de cette étude on a mis en regard les unes des autres les caractéristiques anatomiques du bois des racines en fonction du rayon du plateau racinaire; on a également montré qu'elle était la «spécialisation mécanique» lors du développement des racines que l'on a retracé. Dans ce cas également l'anatomie du bois sur une section transversale de racine proche de la souche montre clairement que cette anatomie est liée à la distance par rapport à la souche.

J. M.

## 7. Literatur

- <sup>1</sup> TORREY, J. G. and D. T. CLARKSON (eds): The Development and Function of Roots, Third Cabot Symposium, Academic Press London, 1975
- <sup>2</sup> COUTTS, M. P.: Root architecture and tree stability, *Plant and Soil* **71**, 171–188, 1983
- <sup>3</sup> COUTTS, M. P. and J. GRACE (eds): *Wind and Trees*, Cambridge University Press, 1995
- <sup>4</sup> NICOLL, B. C. and D. RAY: Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site condition, *Tree Physiology* **16**, 891–898, 1996
- <sup>5</sup> STOKES, A. (eds): *The Supporting Roots of Trees and Woody Plants: Form, Function and Physiology*, Kluwer Academic Press Dordrecht Netherlands, 2000
- <sup>6</sup> MATTHECK, C.: *Warum alles kaputt geht – Form und Versagen in Natur und Technik*, Verlag Forschungszentrum Karlsruhe 2003; englische Übersetzung: *The Face of Failure in Nature and Engineering*, Forschungszentrum Karlsruhe, 2004

- <sup>7</sup> MATTHECK, C.: *Mechanik am Baum – erläutert mit einfühlsamen Worten von Pauli dem Bär*, Verlag Forschungszentrum Karlsruhe, 2002
- <sup>8</sup> KUTSCHERA, L. und E. LICHTENEGGER: *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*, Leopold Stocker Verlag, Graz-Stuttgart, 2002
- <sup>9</sup> MÜLLER, P. und C. MATTHECK: Die wunderbare Selbstkompression der Wurzelplatte in ihrem schwächsten Bereich. Tagungsband, 10. VTA-Spezialseminar, Messen und Beurteilen am Baum, Forschungszentrum Karlsruhe, 4.–5. Mai, 2004
- <sup>10</sup> MATTHECK, C., K. WEBER und K. GÖTZ: Wie die Rotbuche radiale Zugbelastungen bewältigt. *AFJZ* **171**, Heft 1, 2000
- <sup>11</sup> KOLESINSKI, C.: *Materialkundliche Untersuchung entlang einer Baumwurzel innerhalb der mechanisch wirksamen Wurzelplatte*. Dipl. Arbeit, Forschungszentrum Karlsruhe, 2002.
- <sup>12</sup> RIEDL, H.: *Bau und Leistungen des Wurzelholzes*, Dissertation TH Dresden, Verlag Gebrüder Borntraeger Leipzig, 1937

# Zur Beurteilung von intra- und interspezifischer Konkurrenz von Laubbaumbeständen im Dickungsstadium

(Mit 3 Abbildungen und 3 Tabellen)

Von CH. AMMER, C. ZIEGLER und T. KNOKE

(Angenommen April 2005)

## SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Konkurrenzindizes; Buche (Fagus sylvatica L.); Birke (Betula pendula Roth); Durchmesserzuwachs; Höhenzuwachs; Jungbestandspflege.*

*Competition indices; European beech (Fagus sylvatica L.); silver birch (Betula pendula Roth); diameter increment; height increment; tending of young stands.*

## 1. EINLEITUNG

Seit Jahren zwingt die schlechte Ertragslage die Forstwirtschaft insbesondere zu Maßnahmen der Kostenreduktion. Besonders kritisch sind dabei Aufwendungen für solche Investitionen, von denen unsicher ist, ob damit überhaupt Erträge verbunden sind oder diese erst in ferner Zukunft anfallen und daher durch kalkulatorische Zinsen belastet sind. Beides ist bei der Jungbestandspflege der Fall. So ist insbesondere in Laubbaumdickungen die Gefahr hoch, durch die flächig durchgeführten Entnahmen bedrängender Weichlaubbaumarten Kosten zu verursachen, ohne dadurch tatsächlich künftige Mehrerlöse in angemessener Höhe sicherstellen zu können. Dies gilt umso mehr, als sich in vielen Untersuchungen gezeigt hat, dass eine bemessene Konkurrenz durch Weichlaubbaumarten in bestimmten Phasen der Bestandesentwicklung insbesondere für die Qualitätsentwicklung der Zielbaumart positiv wirken kann (LEDER, 1996; AMMER und DINGEL, 1997; ROCK et al., 2004) oder ökologisch erwünschte Effekte mit sich bringt (COMEAU und HEINEMAN, 2003). Zu beachten ist aber auch, dass insbesondere auf Sturmwurfflächen Bestände entstanden, von denen davon ausgegangen werden muss, dass ohne steuernde Eingriffe zulasten natürlich angekommener Weichlaubebäume nur ein Bruchteil der mit hohen Kulturkosten eingebrachten Zielbaumarten gehalten werden kann. In den meisten Fällen hat das gestiegene Kostenbewusstsein in den letzten Jahren dazu geführt, Eingriffe in jungen Laubbaumbeständen entweder zu unterlassen oder nur noch punktuell durchzuführen (WAGNER und RÖKER, 2000). In jedem Fall steht die forst-

liche Praxis bei der Entscheidung, ob und in welchem Umfang gepflegt werden soll, vor der Aufgabe, die Konkurrenzsituation, in der sich die Bestockung befindet, möglichst realitätsnah einzuschätzen. Dies bedeutet, dass ohne Hilfsmittel auf gutachtlicher Basis erkannt werden muss, ob das im Hinblick auf den künftigen Bestand entscheidende Baumkollektiv so stark bedrängt ist, dass sein Durchmesser-, vor allem aber sein Höhenwachstum beeinträchtigt ist. Während die Reduktion des Durchmesserwachstums eines betrachteten Bäumchens durch konkurrierende Nachbarn in vielen Fällen akzeptiert wird, da der Konkurrenzdruck neben einer gebremsten Durchmesserentwicklung eine qualitativ Verbesserung (geringere Aststärken und frühzeitigeres Absterben der Äste) erwarten lässt (LEDER und WEIHS, 2000; FISCHER, 2000), ist eine Beeinträchtigung des Höhenwachstums ein erstes Kennzeichen dafür, dass das dauerhafte Überleben des betrachteten Individuums gefährdet ist. Betrifft dies einen Großteil der qualitativ erfolgversprechenden und gleichzeitig innerhalb ihrer Art vitalsten Individuen der Zielbaumart, sind Eingriffe meist unumgänglich (WAGNER und RÖKER, 2000).

Die Konkurrenz der oft vorwüchsigen sogenannten „Weichlaubhölzer“ (z.B. Birke, Aspe, Vogelbeere, Weide) wird dabei offensichtlich häufig als besonders stark empfunden, was mancherorts zum rigorosen Aushieb solcher Mischungskomponenten geführt hat. Es erschien damit interessant zu untersuchen, welche Unterschiede hinsichtlich des Konkurrenzdrucks durch einzelne Baumarten(gruppen) existieren.

Im einzelnen sollten hierzu die folgenden Fragen überprüft werden:

1. Besteht zwischen der durch Konkurrenzindizes quantifizierten Konkurrenzsituation zu Beginn der Vegetationsperiode und dem nachfolgend geleisteten Wachstum ein Zusammenhang?

2. Inwieweit wird eine gutachtliche Einschätzung der Konkurrenzsituation eines ausgewählten Kollektivs den tatsächlich gemes-

senen Verhältnissen gerecht bzw. findet diese im tatsächlich geleisteten Zuwachs ihre Entsprechung?

3. Welcher Anteil an der erwarteten Beeinträchtigung kommt der innerartlichen und welcher der zwischenartlichen Konkurrenz zu?

4. Mit welchem der getesteten Konkurrenzindizes kann der höchste Anteil der Variation der gemessenen Zuwachswerte erklärt werden?

## 2. MATERIAL UND METHODEN

### Untersuchungsbestand

Die vorliegende Untersuchung wurde im Wald der Ludwig-Maximilians-Universität München auf einer ca. 2 ha großen Fläche durchgeführt (11°59'32" E, 48°34'46" N). Der ursprünglich darauf stockende Fichtenbestand war 1990 vom Sturm geworfen und noch im selben Jahr mit zweijährigen Buchen (*Fagus sylvatica* L., 8000/ha) wiederaufgeforstet worden.

Der daraus inzwischen entstandene Buchenbestand befindet sich im Wuchsbezirk 12.09 (Niederbayerisches Tertiärhügelland) in ebener Lage und stockt auf einer mäßig frischen, zum Teil schwach pseudovergleiten Parabraunerde aus Lösslehm über tertiärem Material. Die Jahresniederschläge betragen im Mittel ca. 780 mm, die mittlere Jahrestemperatur liegt bei ca. 7,5°C (SCHÄFER, 2000).

In den seit der Pflanzung im Jahr 1990 bis zum Zeitpunkt der Aufnahme vergangenen 11 Jahren hatten sich zwischen den Buchen weitere Baumarten auf natürlichem Wege eingefunden. Dabei handelte es sich insbesondere um Faulbaum (*Rhamnus frangula* L.), Birke (*Betula pendula* Roth), Stieleiche (*Quercus robur* L.), Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.), Weiden (*Salix spec.*) und die Aspe (*Populus tremula* L.). Aufgrund der die Fläche dem äußeren Eindruck nach dominierenden Weichlaubebäume, insbesondere durch die durchschnittlich 2350 Birken/ha, wurde der Jungbestand zum Zeitpunkt der Aufnahmen von mehreren Praktikern einheitlich als pflegedringlich eingestuft.

### Auswahl und Aufnahme der Probestämme

Insgesamt wurden 63 förderungswürdige, d. h. vitale und qualitativ befriedigende Buchen als Probestämme markiert und an-

schließend aufgenommen. Im Zuge der Auswahl wurde auf ein möglichst breites Spektrum an Konkurrenzsituationen bei gleichzeitig möglichst einheitlichem Ausgangsdurchmesser geachtet. Im Durchmesserbereich von ca. 1 bis 3,5 cm (siehe Abb. 1) wurden insgesamt 63 Bäumchen aufgenommen. Diese wurden so ausgewählt, dass je 21 Individuen einer gutachtlich angesprochenen „starken“, „mittleren“ und „schwachen“ Konkurrenz ausgesetzt waren. Hierbei galt als starke Konkurrenz wenn die Kronen mehrerer Nachbarindividuen in die Krone des betrachteten Baumes einwuchsen oder diesen überschirmten. Als mittlere Konkurrenz wurden Verhältnisse klassifiziert bei denen die Krone mindestens eines Nachbarn in die Krone des betrachteten Baumes einwuchs. Als schwach wurde die Konkurrenz angesprochen, wenn die Kronen der Nachbarbäume nicht in die Krone des betrachteten Baumes einwuchsen. Bei jedem der so ausgewählten Bäumchen wurden sowohl zu Beginn (April) als auch nach Abschluss (Oktober) der Vegetationsperiode des Jahres 2001 der Brusthöhendurchmesser (in mm mit einer Schiebelehre) und die Baumhöhe (in cm mit einer Teleskopstange) gemessen.

### Auswahl und Aufnahme der Konkurrenten

Im April wurde neben den Messungen an den Probestämmen auch eine Aufnahme ihrer potenziellen Konkurrenten durchgeführt. Als Konkurrenten galten dabei alle Bäume die eines der beiden folgenden Kriterien erfüllten: Zum Einen wurden alle Bäume erfasst, deren Standpunkt innerhalb eines Radius von 1,60 m um den jeweiligen Probestamm lag. Dadurch sollten auch Konkurrenzwirkungen durch Individuen berücksichtigt werden, die kleiner waren als der jeweilige Probestamm. Der Radius von 1,60 m entsprach etwa der halben durchschnittlichen Höhe der Bäumchen. Zum Zweiten wurden als Konkurrenten alle Bäume klassifiziert, die in einen bei 2/3 der Höhe des Probestammes ansetzenden Suchkegel mit einem Öffnungswinkel von 90° (alternativ wurde auch mit einem Öffnungswinkel von 60° operiert) hineinragten und maximal 5 m von diesem entfernt waren. Dieses Vorgehen orientierte sich an den von PRETZSCH (1992) gemachten Vorschlägen zur Konkurrentenauswahl. An allen Konkurrenten wurden die Baumart, der Brusthöhendurchmesser (in mm), die Höhe (in cm) und die Position zum Probestamm nach Entfernung und Winkel bestimmt.

Tab. 1

**Regressionsgleichungen zur Schätzung der mittleren Kronenschirmfläche cc (in m<sup>2</sup>) aus dem BHD (in cm). Die angegebenen Variablentransformationen dienen der Einhaltung der Modellvoraussetzungen der Regressionsanalyse (vgl. QUINN und KEOUGH, 2002). In einigen Fällen wurden zusätzlich Ausreißer eliminiert.**

**Regression equations for estimating crown projection area ("cc" in m<sup>2</sup>) by diameter in breast height ("bhd" in cm). Note that the independent variable bhd was transformed for reasons of normality and homoscedasciety of the residuals according to QUINN and KEOUGH (2002). Moreover in some cases outliers had to be removed.**

Baumart	Regressionsgleichung	R <sup>2</sup>	df	MSE	Pr>F
Buche	cc = -0,06085 + 0,47804 bhd <sup>0,9</sup>	0,80	16	0,0311	<0,0001
Birke	cc = -11,11861 + 9,53342 bhd <sup>0,3</sup>	0,85	21	0,9619	<0,0001
Vogelbeere	cc = -0,25859 + 0,34656 bhd <sup>1,3</sup>	0,88	10	0,1342	<0,0001
Faulbaum	cc = -0,13711 + 0,33634 bhd <sup>1,6</sup>	0,86	16	0,0397	<0,0001
Weide	cc = e <sup>(-1,6988 + 1,85992 ln (bhd))</sup>	0,77	16	0,2356	<0,0001
Eiche	cc = e <sup>(-1,79337 + 1,96198 ln (bhd))</sup>	0,88	14	0,0729	<0,0001
Aspe	cc = e <sup>(-0,94299 + 1,51609 ln (bhd))</sup>	0,70	14	0,1474	<0,0001
Fichte	cc = -0,26156 + 0,75224 bhd <sup>0,7</sup>	0,85	12	0,0295	<0,0001

Das so erfasst Kollektiv umfasste 809 Bäume. An mindestens 12 und bis zu 21 Individuen je Baumart wurden darüber hinaus in 8 Himmelsrichtungen die Kronenradien durch Abloten bestimmt, um baumartenspezifische Funktionen zur Schätzung der Kronenschirmflächen zu parametrisieren. Die Ergebnisse der betreffenden Schätzfunktionen sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

### Konkurrenzindizes

Die Quantifizierung der Konkurrenzsituation vor Beginn der Vegetationsperiode erfolgte durch die Berechnung von sieben im folgenden beschriebenen Konkurrenzindizes (CI). Dabei wurden zunächst in Anhalt an PRETZSCH (1992) als Konkurrenten eines Probebaums alle Individuen ausgewählt, die in einen bei 2/3 der Höhe des Probebaumes ansetzenden Suchkegel mit einem Öffnungswinkel von 60° hineinragten. Sämtliche Berechnungen wurden darüber hinaus auch mit einem Suchkegel zur Konkurrentenauswahl mit einem Öffnungswinkel von 90° durchgeführt.

Nach der Auswahl der Konkurrenten wurden für jeden Probebaum mit jedem der sieben Indizes drei, nach Baumarten(gruppen) getrennte Konkurrenzwerte berechnet. Zum einen wurde die Konkurrenz auf der Basis von Konkurrenten berechnet, die ebenfalls Buchen darstellten (CI<sub>Buche</sub>, d. h. nur Buchen werden als Konkurrenten j berücksichtigt). Zudem wurde der Konkurrenzwert für die ausschließlich von Birken ausgehende Konkurrenz bestimmt (CI<sub>Birke</sub>, d. h. nur Birken werden als Konkurrenten j berücksichtigt). Und schließlich wurde die von allen noch verbleibenden Bäumen verursachte Konkurrenz in einem dritten Konkurrenzindex zusammengefasst (CI<sub>Sonstige</sub>, d. h. alle anderen Baumarten werden als Konkurrenten j berücksichtigt).

Aus der Vielzahl der bislang in den verschiedenen Untersuchungen getesteten Indizes (vgl. z. B. DANIELS et al., 1986; PUKKALA und KOLSTRÖM, 1987; MAC DONALD et al., 1990; BIGING und DOBBERTIN, 1992 und 1995; UNG et al., 1997; BACHMANN, 1998; RICHARDSON et al., 1999; WANG et al., 2000; BRAVO et al., 2001; LEDERMANN und STAGE, 2001; RADKE et al., 2003) wurden folgende Konkurrenzindizes ausgewählt:

(1) Index nach ELLIOTT und VOSE (1995):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{h_j}{bhd_i * dist_{ij}}$$

Dieser wird als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus der Höhe des Konkurrenten j (h<sub>j</sub>) und dem mit der Entfernung (dist<sub>ij</sub>) zwischen Probebaum i und Konkurrenten j multiplizierten Bruthöhendurchmesser des Probebaums i (bhd<sub>i</sub>) bestimmt.

(2) Index nach HEGYI (1974, zit. nach BACHMANN, 1998):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{bhd_j}{bhd_i * (dist_{ij} + 1)}$$

Dieser wird als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus dem Bruthöhendurchmesser des Konkurrenten j (bhd<sub>j</sub>) und dem mit der Entfernung (dist<sub>ij</sub>) zwischen Probebaum i und Konkurrenten j + 1 multiplizierten Bruthöhendurchmesser des Probebaums i (bhd<sub>i</sub>) bestimmt.

Die Indizes (1) und (2) enthalten keine baumartenspezifischen Komponenten.

(3) Index in Anhalt an BIGING und DOBBERTIN (1995):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{cc_j}{cc_i * (dist_{ij} + 1)}$$

Dieser Index berechnet sich als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus der Kronenschirmfläche des Kon-

kurrenten j (cc<sub>j</sub>) und der mit der Entfernung (dist<sub>ij</sub>) zwischen Probebaum i und Konkurrenten j gewichteten Kronenschirmfläche des Probebaums i (cc<sub>i</sub>).

Die Herleitung der Kronenschirmflächen sowohl der Konkurrenten, als auch der Probebäume erfolgte durch die in *Tabelle 1* angegebenen baumartenspezifischen Regressionsgleichungen, durch die sich die Kronenschirmfläche eines Baumes aus dem BHD schätzen lässt.

(4) Index nach SCHÜTZ (1989):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n 0,5 - \frac{(dist_{ij} - cr_i - cr_j)}{(cr_i + cr_j)} + 0,65(h_j - h_i)$$

Dieser wird als Summe des für alle n Konkurrenten gebildeten Verhältnisses aus dem um die mittleren Kronenradien von Probebaum i (cr<sub>i</sub>) und Konkurrent j (cr<sub>j</sub>) verminderten Abstand zwischen beiden Bäumen (dist<sub>ij</sub>) und der Summe der beiden mittleren Kronenradien sowie der mit 0,65 gewichteten Höhendifferenz von Probebaum und Konkurrent (h<sub>j</sub>-h<sub>i</sub>) bestimmt.

(5) Index in Anhalt an PRETZSCH (1992, 2001), PRETZSCH et al. (2002):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot \frac{cc_j}{cc_i} \cdot tm_b$$

Der Index berechnet sich für jeden Probebaum aus der Summe des für alle Konkurrenten n gebildeten Produkts von β, das ist der Winkel zwischen der Grundlinie des bei 2/3 der Höhe des Probebaumes aufsetzenden Suchkegels von 60° (siehe oben) und der Verbindungslinie zur Kronenspitze eines Konkurrenten j, und dem Verhältnis der wie unter (3) beschrieben aus den Bruthöhendurchmessern von Probebaum i und Konkurrent j geschätzten Kronenschirmflächen cc<sub>j</sub> und cc<sub>i</sub>, sowie dem baumartenspezifischen Transmissionskoeffizienten tm<sub>b</sub>. Dieser beträgt in Anhalt an PRETZSCH (2001) und ELLENBERG (1982) für Buche = 1,0, für Birke = 0,2, für Vogelbeere, Weide, Aspe und Faulbaum = 0,4, für Eiche = 0,6 und für Fichte = 0,8.

(6) Index nach BELLA (1971):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{o_{ij} \cdot bhd_j}{cc_i \cdot bhd_i}$$

Für die Berechnung dieses Index ist es notwendig die Fläche zu bestimmen, die sich durch die Überlappung der Kronenschirmflächen (o<sub>ij</sub>) von Probebaum i und Konkurrent j ergeben. Der Index selbst berechnet sich aus der Summe des für alle Konkurrenten gebildeten Verhältnisses der mit dem BHD des Konkurrenten gewichteten Überlappungsfläche und der mit dem BHD gewichteten Kronenschirmfläche des Probebaumes i.

(7) Index nach PUKKALA und KOLSTRÖM (1987):

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j$$

Bei diesem Index wird für jeden der n Konkurrenten ein Winkel α berechnet, den die beiden Tangenten bilden, die vom Stammzentrum in 1,3 m Höhe des betrachteten Bäumchens i ausgehend die als Kreis angenäherte Grundfläche des Konkurrenten j seitlich berühren. Mit Hilfe des Winkels α wird ähnlich wie bei der Winkelzählprobe auf elegante Weise die Entfernung des Konkurrenten einerseits und seine Dimension andererseits in einem einzigen Wert ausgedrückt. Ein schwacher Stamm kann damit eine im Vergleich zu einem deutlich stärkeren Stamm identische oder höhere Konkurrenz bewirken, wenn er näher am betrachteten Baum steht. Die Höhe des Konkurrenzindex für jedes betrachtete Bäumchen ergibt sich aus der Summe aller Winkel α.

Auch der Index (7) enthält – wie die Indizes (1) und (2) – keine artspezifischen Komponenten.

### Statistische Auswertung

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit sich die mittleren Brusthöhdurchmesser und Höhen der Probebäume der gutachtlich bestimmten Teilkollektive „beeinflusst durch schwache Konkurrenz“ „beeinflusst durch mittlere Konkurrenz“ und „beeinflusst durch starke Konkurrenz“ im Frühjahr und im Herbst signifikant unterscheiden, wurde ein varianzanalytischer multipler Mittelwertvergleich nach TUKEY (vgl. DUFNER et al., 1992) durchgeführt.

Die Quantifizierung der intra- und interspezifische Konkurrenzwirkungen auf den Durchmesser- und Höhenzuwachs der Probebäume erfolgte durch eine multivariate Regressionsanalyse. Hierbei wurde für jeden Konkurrenzindex getestet, welcher Anteil der Variation der gemessenen Zuwachswerte durch die unabhängigen Variablen „Ausgangsdurchmesser“ bzw. innerartliche (Buche) und zwischenartliche Konkurrenz erklärt werden konnte. Im Falle der

zwischenartlichen Konkurrenz wurde der Einfluss der Birken von jenem aller anderer Baumarten getrennt betrachtet. Das hierzu verwendete Regressionsmodell lautete ( $y$  war entweder der Durchmesser- (in mm) oder der Höhenzuwachs (in cm)):

$$y = b_0 + b_1 BDH_{April} + b_2 (CI_{Sonstige})^{0,25} + b_3 (CI_{Buche})^{0,25} + b_4 (CI_{Birke})^{0,25}$$

Als Alternativmodell wurde eine Regressionsgerade parametrisiert, die hinsichtlich der Konkurrenz nicht nach Baumarten differenzierte. Die Modellgleichung lautete hier:

$$y = b_0 + b_1 BDH_{April} + b_2 (CI_{Alle})^{0,25}$$

Zur Einhaltung der Modellvoraussetzungen, denen die Regressionsanalyse unterliegt, mussten die Konkurrenzwerte wegen der jeweils linksschiefen Verteilungen transformiert werden. Dazu wurde in Anhalt an QUINN und KEOUGH (2002) die 4. Wurzel der jeweiligen Variable berechnet. Dies führte in allen Fällen zu normalverteilten Residuen. Sämtliche Berechnungen und statistischen

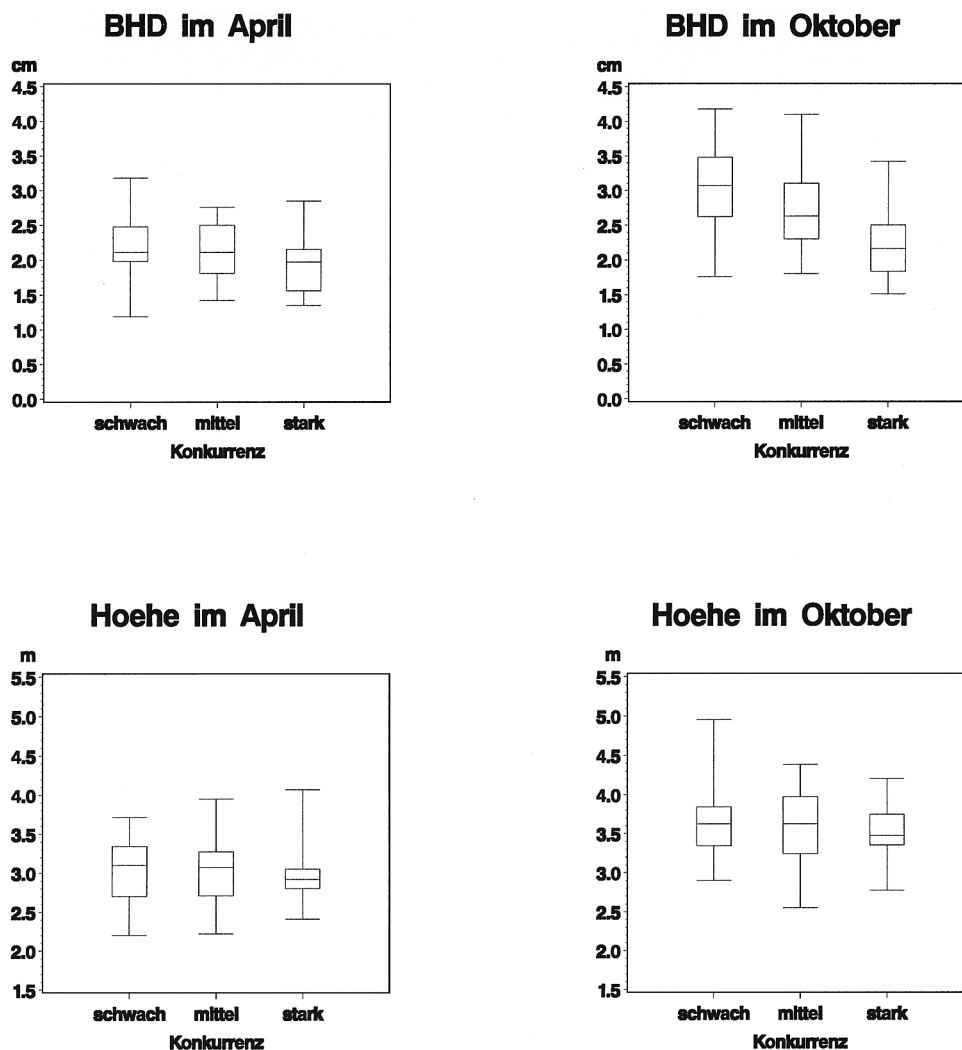


Abb. 1

Boxplots von Höhe und Durchmesser der Buchen der drei ausgewählten Kollektive zu Beginn und nach Abschluß der Vegetationsperiode.

Boxplots of beech height ("Höhe") and diameter in breast height ("Durchmesser") for three subsamples of the subject trees: subsample "schwach" (low competitive interactions of neighbouring trees at the beginning of the investigation), "mittel" (intermediate competitive interactions of neighbouring trees at the beginning of the investigation) and "stark" (strong competitive interactions of neighbouring trees at the beginning of the investigation). The graphs show the height and diameter values at the beginning (April) and at the end (October) of the observed period.

Analysen wurden mit dem Statistikpaket SAS® (Statistical Analysis System Version V 8, SAS Institute Inc., Cary, N.C.) durchgeführt.

### 3. ERGEBNISSE

Der Vergleich der drei ausgewählten Kollektive im Frühjahr und im Herbst zeigt, dass sich die unterschiedliche Konkurrenzsituation der untersuchten Bäumchen im Durchmesserzuwachs, nicht aber in der Höhenentwicklung widerspiegelt (*Abb. 1*). So unterschieden sich die Durchmesser nach nur einer Vegetationsperiode im Herbst zwischen den ausgeschiedenen Gruppen (schwache, mittlere, starke Konkurrenz) statistisch hoch signifikant, während dies im Frühjahr zum Zeitpunkt der ersten Messung noch nicht der Fall war. Im Gegensatz dazu konnten statistisch nachweisbare Unterschiede in der Höhe der drei Kollektive weder im Frühjahr noch im Herbst nachgewiesen werden. Deutlich werden diese Zusammenhänge beim Vergleich der je Kollektiv geleisteten mittleren Durchmesser- bzw. Höhenzuwächse. Diese betragen im Falle der Bäume ohne Konkurrenz 0,82 cm bzw. 0,61 m, im Falle der Bäume mit mittlerer Konkurrenz 0,58 cm bzw. 0,56 m und lagen bei den Bäumen die starker Konkurrenz ausgesetzt waren bei 0,32 cm bzw. 0,52 m. Im Vergleich lassen die Kollektive also mit zunehmender Konkurrenz einen erheblichen Abfall des Durchmesserwachstums, aber einen nur unwesentlichen Abfall des Höhenwachstums erkennen.

Wie sich zeigte, ließ sich beim Gesamtkollektiv die Variation der Durchmesserzuwächse bis zu 67% aus dem Ausgangsdurchmesser und der vor Beginn der Vegetationsperiode bestimmten und durch die verschiedenen Indizes quantifizierten Konkurrenzsituation erklären (*Tab. 2*). Im Gegensatz dazu war mit keinem der verwendeten Indizes eine signifikante Beziehung zwischen dem Höhenzuwachs und der Ausgangshöhe sowie der Konkurrenzsituation

absicherbar. Die in *Tabelle 2* dargestellten Ergebnisse beruhen hinsichtlich der für die Berechnung der Konkurrenzindizes getroffenen Auswahl der Konkurrenten auf einem Suchkegel mit einem Öffnungswinkels von 60° (vgl. Abschnitt Material und Methoden). Alternativ dazu durchgeführte Regressionsberechnungen auf der Grundlage eines Suchkegels mit einem Öffnungswinkel von 90° ergaben bei der Erklärung der Variation der Durchmesserzuwächse durchwegs um ca. 0,1 geringere Bestimmtheitsmaße.

In allen Regressionsmodellen zur Erklärung des Durchmesserzuwachses erwiesen sich der Ausgangsdurchmesser und die durch Buchen und Birken ausgeübte Konkurrenz als signifikante Einflussfaktoren (*Tab. 2*). Mit nur einer Ausnahme (Index von BIGGING und DOBBERTIN, 1995) war dies auch für die interspezifische Konkurrenz durch alle anderen Baumarten der Fall (*Tab. 2*). Die Analyse der Residuen, beispielhaft in *Abbildung 2* dargestellt, ergab durchwegs keine systematischen Trends oder inhomogene Fehlerstreuungen. Damit konnte davon ausgegangen werden, dass die Voraussetzungen, an die die Regressionsanalyse geknüpft ist, nicht verletzt wurden.

Wie der Vergleich der im Zuge der Regressionsrechnungen ermittelten Koeffizienten der unabhängigen Variablen in *Tabelle 2* zeigt, wird – vordergründig betrachtet – der Bedeutung der Konkurrenz durch Nachbarbuchen, Birken und Konkurrenten anderer Baumarten je nach Konkurrenzindex ein unterschiedliches Ausmaß beigemessen. Dieses Ergebnis verdeutlicht *Abbildung 3*, in der die je Konkurrenzindex berechneten Koeffizienten der Konkurrenz durch Birke bzw. andere Baumarten ins Verhältnis zum entsprechenden Wert für die innerartliche Konkurrenz gesetzt wurden. So zeigt sich, dass jeweils nur ein Index die von Birken bzw. anderen Baumarten ausgehende Konkurrenz auf den Durchmesserzuwachs stärker einschätzt als die intraspezifische Konkurrenz – für Birke

Tab. 2

**Ergebnisse der Regressionsberechnungen zur Erklärung der Variation des Durchmesserzuwachses junger Buchen aus der durch Indizes erfassten Konkurrenz durch Nachbarbuchen, Birken und sonstige Konkurrenten. Die angegebenen Variablentransformationen dienten der Einhaltung der Modellvoraussetzungen der Regressionsanalyse (vgl. QUINN und KEOUGH, 2002). In einigen Fällen wurden zusätzlich Ausreißer eliminiert.**

**Results of regression analyses. The table shows the regression equations for the prediction of the increment in diameter breast height of the subject beeches (“Durchmesserzuwachs” in mm) by their initial dbh (“bhd<sub>April</sub>” in mm) and the values of seven competition indices.**

**Each index was calculated separately for three different groups of competitors:**

**CI<sub>sonstige</sub> labels competitors of all tree species which were not birches and beeches.**

**CI<sub>Birke</sub> and CI<sub>Buche</sub> represent competition by birch and beech respectively. Note that the independent variables were transformed using the fourth root according to QUINN and**

**KEOUGH (2002). Moreover in some cases outliers had to be removed.**

Index	Ordinatenabschnitt	BHD <sub>April</sub>	CI <sub>sonstige</sub>	CI <sub>Buche</sub>	CI <sub>Birke</sub>	R <sup>2</sup>	Df	MSE	F	Pr>F
Elliott & Vose	0,51234 (0,0002)	0,14776 (0,0103)	-0,12553 (0,0006)	-0,11562 (0,0045)	-0,11637 (0,0005)	0,64	58	0,02977	23,48	< 0,0001
Hegyí	0,52227 (0,0002)	0,14764 (0,0097)	-0,14961 (0,0025)	-0,16175 (0,0027)	-0,15797 (0,0001)	0,63	58	0,02989	23,33	< 0,0001
Bigging & Dobbertin	0,49746 (0,0003)	0,16792 (0,0037)	n.s.	-0,15820 (0,0001)	-0,09493 (<0,0001)	0,66	57	0,02987	34,15	< 0,0001
Schütz	0,53332 (0,0001)	0,14217 (0,0130)	-0,11212 (0,0054)	-0,16613 (0,0007)	-0,11678 (0,0002)	0,62	59	0,03254	22,10	< 0,0001
Pretzsch	0,48144 (0,0004)	0,15256 (0,0034)	-0,17048 (0,0099)	-0,22018 (0,0019)	-0,23330 (<0,0001)	0,67	56	0,02338	26,58	< 0,0001
Bella	0,40720 (0,0023)	0,14545 (0,0106)	-0,18327 (0,0058)	-0,21095 (0,0024)	-0,13201 (0,0021)	0,57	58	0,03252	18,08	< 0,0001
Pacala & Kolström	0,53416 (<0,0001)	0,14502 (0,0105)	-0,15335 (0,0010)	-0,17250 (0,0007)	-0,14878 (0,0003)	0,63	59	0,03152	23,26	< 0,0001

Regressionsgleichung:

$$\text{Durchmesserzuwachs (mm)} = b_0 + b_1 \text{BDH}_{\text{April}} + b_2 (\text{CI}_{\text{sonstige}})^{0,25} + b_3 (\text{CI}_{\text{Buche}})^{0,25} + b_4 (\text{CI}_{\text{Birke}})^{0,25}$$

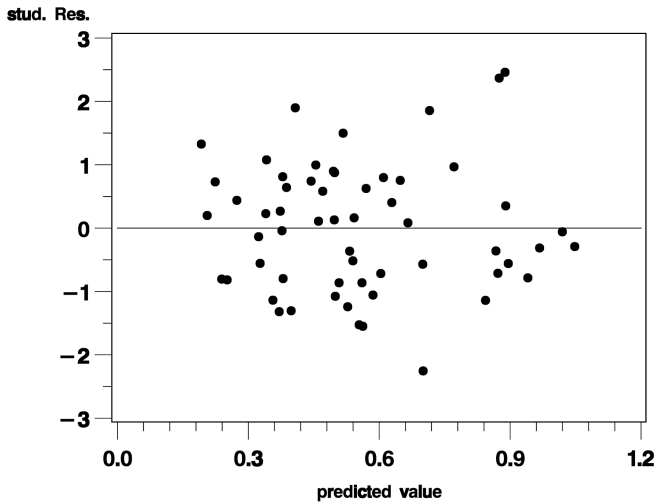


Abb. 2

Beispielhafte Darstellung der studentisierte Residuen für eine der durchgeführten Regressionsberechnungen (die Grafik beruht auf den Ergebnissen der in *Tabelle 2* Zeile „Pretzsch“ angegebenen Regressionsgleichung).

Example of a residual plot. The results of the regarding regression analysis are shown in *Table 2* line “Pretzsch”.

der Index von PRETZSCH (2001), für die anderen Baumarten der Index von ELLIOTT und VOSE (1995).

Aufgrund der unterschiedlichen Struktur der Konkurrenzindizes müssen diese Befunde im Hinblick auf die Frage, ob von den Birken bzw. sonstigen Bäumen eine im Vergleich zu den Buchen unterschiedlich starke Konkurrenz ausgeht, aber differenziert betrachtet werden. Durch die Integration baumartenspezifischer Merkmale, wie z. B. der Kronenschirmflächen oder von Transmissionskoeffizienten, wird die Interpretation der Parameter der Konkurrenzindizes in Bezug auf die Stärke der Konkurrenz erschwert. Die Kombination von im Konkurrenzindex selbst abgebildeten

Baumartenmerkmalen, auf der einen Seite, mit dem baumartenspezifischen Parameter des Index, auf der anderen Seite, verschleiert einen etwaigen Unterschied in der Stärke der Konkurrenz zwischen den Baumarten(gruppen), wenn man diesen aus den entsprechenden Parametern ablesen möchte. Es können hier Kompensationen eintreten. So muss beispielsweise bei der Interpretation einer vordergründig stärkeren Konkurrenz der Birke nach dem Index von PRETZSCH (2002) beachtet werden, dass der entsprechend erhöhte Parameter eventuell lediglich die Wirkung des Transmissionskoeffizienten (der ja für die Birke bei nur 0,2 lag) aufhebt. Ähnlich verhält es sich im Falle der Berücksichtigung von baumartenspezifischen Kronenschirmflächen.

Aussagen zur Stärke der von verschiedenen Baumarten(gruppen) ausgehenden Konkurrenz lassen sich folglich am besten anhand von Indizes ableiten, die keine baumartenspezifischen Charakteristika beinhalten. Geeignet zur Abbildung von baumartenspezifischer Konkurrenz mit Hilfe der Parameter der Konkurrenzindizes sind demnach die Indizes von ELLIOTT und VOSE (1995) sowie HEGYI (1974, zit. nach BACHMANN, 1998). Zumindest mit Blick auf die besonders interessierende Birke deuten diese Indizes aber darauf hin, dass keine Unterschiede im Vergleich zur Konkurrenz durch Buchen vorliegen (vgl. *Abb. 3*).

Auch der Index von PACALA und KOLSTRÖM (1987) berücksichtigt keine Baumartenspezifika. Durch ihn wird sowohl die Konkurrenz der Birken als auch die der sonstigen Baumarten im Vergleich zu den Buchen als niedriger eingewertet. Es zeigt sich damit insgesamt, dass wir von den häufig vorwüchsigen Birken und sonstigen „Weichlaubhölzern“ eine maximal gleich große Konkurrenz wie durch die Buchen selbst zu erwarten haben.

Mit diesem Befund in Einklang stehend ergab ein Regressionsmodell, das auf die Differenzierung des Konkurrenzindex nach Baumarten verzichtet, keine wesentlich schlechteren Resultate. Der mittlere quadratische Fehler (MSE) dieses Modells schwankte, je nach verwendetem Konkurrenzindex, zwischen 0,03288 (was einer durchschnittlichen Differenz zwischen wirklichem und prognostiziertem Zuwachs von nur  $\pm 0,18$  mm entspricht) und 0,042 ( $\pm 0,20$  mm, vgl. *Tab. 3*). Das Modell mit einem nach Baumarten

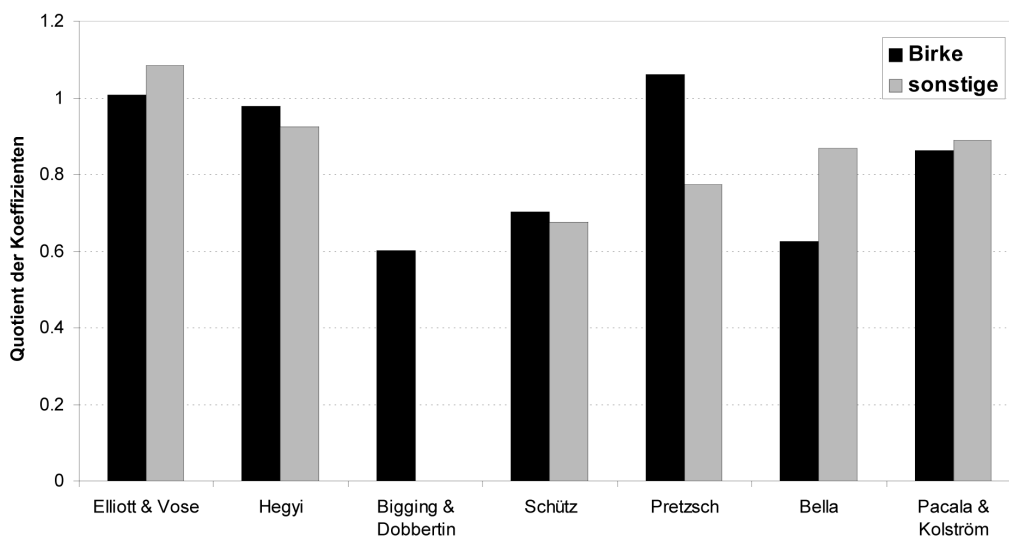


Abb. 3

Quotient der je Konkurrenzindex berechneten Regressionskoeffizienten (vgl. *Tab. 2*) von Birke ( $CI_{\text{Birke}}$ ) und den sonstigen Baumarten ( $CI_{\text{sonstige}}$ ) zu jenem der Buche ( $CI_{\text{Buche}}$ ) aus *Tabelle 2*.

Ratio of the regression coefficients given in *Table 2*. The graph shows the ratio of the regression coefficients of the independent variables  $CI_{\text{sonstige}}$  (grey columns; CI calculated on the basis of all competitors which were not birches or beeches) and  $CI_{\text{Birke}}$  (black columns, CI calculated on the basis of all competing birches) to that of  $CI_{\text{Buche}}$  (CI calculated on the basis of all competing beeches, i. e. intraspecific competition) for each CI.



Tab. 3

**Ergebnisse der Regressionsberechnungen zur Erklärung der Variation des Durchmesserzuwachses junger Buchen aus der durch Indizes erfassten Konkurrenz durch benachbarte Individuen aller Baumarten. Die angegebenen Variablentransformationen dienen der Einhaltung der Modellvoraussetzungen der Regressionsanalyse (vgl. QUINN und KEOUGH, 2002). In einigen Fällen wurden zusätzlich Ausreißer eliminiert.**

**Results of regression analyses. The table shows the regression equations for the prediction of the increment in diameter breast height of the subject beeches ("Durchmesserzuwachs" in mm) by their initial dbh ("bhd<sub>April</sub>" in mm) and the values of seven competition indices. In contrast to table 2 all competitors, regardless of tree species, were considered for the calculation of each index. Note that the independent variable was transformed using the fourth root according to QUINN and KEOUGH (2002). Moreover in some cases outliers had to be removed.**

Index	Ordinatenabschnitt	BHD <sub>April</sub>	CI	R <sup>2</sup>	Df	MSE	F	Pr>F
Elliott & Vose	0,59859 (<0,0001)	0,15133 (0,0086)	-0,25205 (<0,0001)	0,60	59	0,03472	43,15	< 0,0001
Hegyí	0,59404 (<0,0001)	0,14886 (0,0080)	-0,31577 (<0,0001)	0,60	58	0,03288	42,46	< 0,0001
Bigging & Dobbertin	0,50488 (0,0012)	0,17891 (0,0045)	-0,14469 (<0,0001)	0,52	59	0,04200	30,99	< 0,0001
Schütz	0,47438 (0,0006)	0,19551 (0,0007)	-0,22796 (<0,0001)	0,58	58	0,03492	38,34	< 0,0001
Pretzsch	0,57339 (<0,0001)	0,14928 (0,0067)	-0,45236 (<0,0001)	0,62	58	0,03164	45,22	< 0,0001
Bella	0,30246 (0,0175)	0,19625 (0,0005)	-0,23573 (<0,0001)	0,54	58	0,03229	32,22	< 0,0001
Pacala & Kolström	0,51942 (<0,0001)	0,18416 (0,0009)	-0,30191 (<0,0001)	0,60	58	0,03275	42,74	< 0,0001

Regressionsgleichung:

$$\text{Durchmesserzuwachs (mm)} = b_0 + b_1 \text{BDH}_{\text{April}} + b_2 (\text{CI})^{0,25}$$

aufgeteilten Konkurrenzindex erreichte Werte zwischen 0,02338 ( $\pm 0,15$  mm) und 0,03252 ( $\pm 0,18$  mm). Die Bestimmtheitsmaße fielen durch die Aufgabe der Baumartendifferenzierung lediglich um 0,03 bis 0,05 ab. Allein im Falle des Konkurrenzindex nach BIGING und DOBBERTIN (1995) ergab sich ein bedeutender Verlust an Erklärungskraft, indem das Bestimmtheitsmaß um 0,14 absank.

#### 4. DISKUSSION

##### Zur Beziehung zwischen Konkurrenzsituation und Wachstum

Die erste der eingangs gestellten Fragen, durch die geklärt werden sollte, ob zwischen der durch Indizes quantifizierten Konkurrenzsituation vor der Vegetationsperiode und dem nachfolgend geleisteten Wachstum der betrachteten Bäume ein Zusammenhang besteht, kann für das Durchmesserwachstum mit ja, für das Höhenwachstum dagegen mit nein beantwortet werden (Abb. 1, Tab. 2). Dieser Befund, also das Ergebnis, dass Konkurrenzwirkungen das Durchmesserwachstum negativ beeinflussen, lange bevor sie sich auf das Höhenwachstum auswirken, deckt sich mit den Ergebnissen vieler anderer Versuche (KURTH, 1946; VON LÜPKE, 1991; WAGNER und RADOSEVICH, 1991; LEDER, 1992; GÖRLITZ und LEDER, 1994; LEDER und WEIHS, 2000; WAGNER und RÖKER, 2000). Aus ökologischer Sicht ist dieses Verhalten von Individuen, die Konkurrenzwirkungen ausgesetzt sind, zweckmäßig, da das möglichst uneingeschränkte Aufrechterhalten des Höhenwachstums ein dauerhaftes Überleben eher sicherstellt als ein forciertes Durchmesserwachstum zulasten der Höhe.

##### Zur gutachtlichen Einschätzung der Konkurrenzsituation

Für die Beurteilung der Konkurrenzsituation von Jungbeständen in der Praxis bedeutet das oben genannte Ergebnis, dass gutachtlich

zwar die Konkurrenzsituation in Bezug auf den Durchmesser, nicht aber in Bezug auf die Höhe wirklichkeitsnah eingeschätzt werden kann. So konnte weder beim Vergleich der drei Kollektive noch bei der Erklärung des Höhenwachstums durch die Konkurrenzindizes ein signifikanter Einfluss der Konkurrenz durch Nachbarbäume auf das Höhenwachstum abgesichert werden. Folgt man WAGNER und RÖKER (2000), nach denen ein Eingriff zugunsten der Zielbaumart erst dann notwendig ist, wenn deren Höhenwachstum beeinträchtigt wird, wäre im vorliegenden Fall eine waldbauliche Pflegemaßnahme noch nicht zwingend erforderlich gewesen. Es ist allerdings angesichts des tendenziell bereits abgesunkenen Höhenwachstums insbesondere des Kollektivs „starke Konkurrenz“ davon auszugehen, dass dieser Zeitpunkt für einen Teil des herrschenden Kollektivs in naher Zukunft erreicht worden wäre. Auch wenn die Beobachtungszeit im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für weitreichende waldbauliche Schlussfolgerungen zu kurz bemessen ist und die Studie einen methodischen Schwerpunkt hat, deuten sich aus den Ergebnissen auch Hinweise für die waldbauliche Praxis an. Für die Beurteilung der Konkurrenzsituation in Laubbaumdickungen könnte als Schlussfolgerung bei gleichzeitiger Beantwortung der zweiten der eingangs gestellten Fragen demnach der Grundsatz formuliert werden, dass pflegende Eingriffe erst ein bis drei Jahre nach dem Zeitpunkt notwendig sind, zu dem das gesamte herrschende Kollektiv einer Konkurrenz ausgesetzt ist, die als stark eingeschätzt wird. Dies bedeutet umgekehrt, dass Pflegeeingriffe in vielen Fällen vermutlich eher zu früh und zu häufig durchgeführt werden, als dies zur Erhaltung einer ausreichenden Zahl qualitativ guter und vitaler Individuen der Zielbaumart notwendig wäre. Inwieweit diese vorläufige Einschätzung Bestand hat müssen künftige Untersuchungen zeigen.

Immerhin zeigen die Ergebnisse in Übereinstimmung mit den Befunden von VON LÜPKE (1991) aber auch, dass eine gutachtliche Einschätzung der Konkurrenzsituation grundsätzlich möglich ist (vgl. auch TER-MIKAELIAN et al., 1999; WANG et al., 2000). Für die Beurteilung der Pflegedringlichkeit empfehlen WAGNER und RÖKER (2000) das jährliche Besichtigen der Jungbestände um ein deutliches Absinken des Höhenzuwachses nicht zu übersehen. Ein solches Vorgehen erscheint zwar durchaus wünschenswert. Es ist aber offen, ob eine jährliche Besichtigung der Flächen bei stetig anwachsenden Betriebs- und Reviergrößen praktikabel ist.

##### Zur Wirkung von intra- und interspezifischer Konkurrenz

Vermutlich wird in der forstlichen Praxis neben der Pflegedringlichkeit auch die Bedeutung der interspezifischen Konkurrenz insbesondere durch Birken nur zum Teil richtig eingeschätzt. Bei der Beantwortung der dritten in der Einleitung gestellten Frage zeigte sich nämlich, dass die vom Birkenkollektiv oder den anderen Baumarten ausgehenden Konkurrenzwirkungen sich kaum von der innerartlichen Konkurrenz unterscheiden. Bestätigt sich dieser Befund auch in länger andauernden Versuchen bedeutet dies, dass sich ein Buchenbestand mit zahlreichen Birken von einem reinen Buchenbestand mit hoher Stammzahl nicht grundsätzlich unterscheidet. Diese Aussage gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass sich die Wirkung der Birken auf die Qualitätsentwicklung der Buchen nicht von jener durch andere Buchen abhebt (wobei hinsichtlich dieses Postulats noch Forschungsbedarf besteht) und unter der Annahme, dass qualitativ befriedigende Birken auf dem Holzmarkt auch in Zukunft absetzbar sein werden. Eine der wenigen Studien, in der die Konkurrenzwirkungen auf die Zielbaumart ebenfalls nach intra- und interspezifischer Konkurrenz unterschieden wurden, haben ROCK et al. (2004) für junge Eichen vorgestellt. Wie sich zeigte, war dort die innerartliche Konkurrenz deutlich niedriger als die von Birken auf die Eichen ausgeübte (ROCK et al., 2004). Dies kann mit vorliegender Studie, die allerdings auf einem Buchen- und nicht auf einem Eichenbestand aufbaut, nicht bestätigt

werden. Vielmehr legen die mit dieser Arbeit erzielten Befunde nahe, Birken und andere „Weichlaubhölzer“ in einem Buchenbestand ähnlich wie die Buchen selbst zu betrachten und zu behandeln. Auch wenn die kurze Beobachtungszeit eine abschließende Beurteilung der Notwendigkeit zu steuernden Eingriffen in Laubbaumjungbeständen nicht zulässt, deutet sich an, dass eine bevorzugte Entnahme von Birken vor dem Hintergrund der von ihnen ausgehenden Konkurrenzwirkung kaum gerechtfertigt ist. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang auch der Hinweis, dass bei der Festlegung des Zeitpunktes der Pflegemaßnahme die sehr unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeit der Baumarten, Konkurrenzwirkungen durch Weichlaubebäume zu ertragen (vgl. z. B. KÜSSNER und WOLLMERSTÄDT, 2003), Berücksichtigung finden sollte.

Zusammenfassend kann in Übereinstimmung mit anderen Autoren festgehalten werden, dass angesichts der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Mischungen (vgl. KNOKE, 2003) und dem Umstand, dass Birken in der Regel bereits früher hiebsreif sind als die meisten Zielbaumarten, diese nicht mehr vollständig entnommen werden sollten (VON LÜPKE, 1991; LEDER, 1996; WAGNER und RÖKER, 2000). Dies gilt im Grundsatz auch für alle anderen Mischbaumarten, von denen ein wirtschaftlicher Wert oder ein sonstiger Nutzen zu erwarten ist und die keine anderen Auswirkungen auf die Qualifizierung der Zielbaumart haben, als die innerhalb dieser Art zu erwartenden Konkurrenzwirkungen (LEDER, 1996).

Nach WAGNER und RÖKER (2000) empfiehlt sich ein differenziertes Eingreifen nicht nur hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Zielbaumart und der Konkurrenten, sondern auch bezüglich der Eingriffstärke. So sollten stark bedrängte, aber vitale und qualitativ vielversprechende Individuen deutlicher freigestellt werden als ebenso zielgemäße, aber nur schwach bedrängte Bäume. Auch dies erfordert eine verlässliche gutachtliche Einschätzung der Konkurrenzsituation einzelner Bäume.

#### **Zur Eignung der getesteten Konkurrenzindizes für Jungbestände**

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass sich alle hier verwendeten, in der Regel aus der Analyse von Altbeständen entwickelten Konkurrenzindizes im Prinzip auch für die Abschätzung von Konkurrenzwirkungen in Jungbeständen eignen. So konnte mit Ausnahme des Index von BELLA (1971), der allerdings ursprünglich nur für die Verwendung in gleichaltrigen Reinbeständen entwickelt wurde, ein relativ ähnlicher (62–67%) Teil der Variation des Durchmesserwachstums aus dem Ausgangswert und den Konkurrenzwerten erklärt werden. Dies unterstreicht die Einschätzung von DANIELS et al. (1986), BIGING und DOBBERTIN (1995), BRAVO et al. (2001) sowie LEDERMANN und STAGE (2001), dass es keinen „besten“ Konkurrenzindex gibt, sondern deren Eignung von den untersuchten Arten und den jeweiligen Verhältnissen abhängt.

Selbstverständlich ist auch das Untersuchungsziel relevant. Eine Reihung der Stärke der Konkurrenzwirkung nach Baumarten erscheint in diesem Zusammenhang am besten mit Indizes möglich, die artspezifische Unterschiede nicht implizit berücksichtigen.

Da sich die Indizes in den zu ihrer Berechnung notwendigen Messgrößen zum Teil erheblich unterscheiden, können für künftige Untersuchungen in Jungbeständen insbesondere die einfach zu berechnenden Indizes wie z. B. jener von HEGYI (1974, zit. nach BACHMANN, 1998) empfohlen werden (vgl. HOLMES und REED, 1991), welcher zudem den Vorteil hat, artspezifisch unterschiedliche Konkurrenzwirkungen aufdecken zu können. Hinsichtlich des Öffnungswinkels des zur Auswahl der Konkurrenten geeigneten Suchkegels bestätigen die Ergebnisse die Zweckmäßigkeit des von PRETZSCH (1992) vorgeschlagenen Ansatzes. So zeigte sich deutlich, dass ein größerer Öffnungswinkel, d. h. das Einbeziehen

zusätzlicher Bäume zur Berechnung der Indizes, in keinem Fall zu einer verbesserten Erklärung der Variation der Durchmesserzuwachsrate führte. Ein vergleichbares Ergebnis erzielten DANIELS (1976) bei der vergleichenden Untersuchung verschiedenen Ansätze zur Konkurrentenauswahl sowie WAGNER und RADOSEVICH (1991) und BIGING und DOBBERTIN (1992).

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen belegen einmal mehr die Bedeutung des Ausgangswertes für das Durchmesserwachstum (vgl. BRAND, 1986; HOLMES und REED, 1991). So erwies sich selbst bei einem hinsichtlich des Ausgangsdurchmessers relativ homogenen Kollektiv ausgewählter Bäume dieser trotz der geringen Variation der betreffenden Werte neben der Konkurrenz als wesentliche Größe für die Erklärung der Variation des Durchmesserwachstums (Tab. 2).

Welcher Art die durch die Indizes ausgedrückten Konkurrenzwirkungen im Hinblick auf die von den Pflanzen genutzten Ressourcen sind, kann aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung nicht abgeleitet werden. Wie eine eingehende Analyse verschiedener Konkurrenzindizes und gleichzeitig durchgeführter Strahlungsmessungen jedoch zeigten (vgl. MAC DONALD et al., 1990; ELLIOTT und VOSE, 1995; RICHARDSON et al., 1999; COMEAU und HEINEMAN, 2003), sind die Werte vieler Indizes streng mit der Strahlungsverfügbarkeit korreliert. Da sich mit diesen Indizes in der Regel eine große Variation des Durchmesserwachstums erklären lässt, gehen viele Autoren davon aus, dass insbesondere in den frühen Phasen der Bestandesentwicklung Konkurrenz um Licht einen für das Fortkommen der Pflanzen besonders wichtigen Einfluss ausübt (BRAND, 1986; HOLMES und REED, 1991; MORRIS und FORSLUND, 1991). Unabhängig davon ist zu beachten, dass die Konkurrenzindizes auch unterirdische Konkurrenz berücksichtigen können. In der Regel geschieht dies allerdings nur insoweit sich die unterirdische Konkurrenz in den zur Berechnung des Konkurrenzindex gemessenen oberirdischen Parametern widerspiegelt (BURTON, 1993). Dies bedeutet, dass aus der Verwendung eines Konkurrenzindex keine abschließenden Aussagen zur Bedeutung der unter den jeweiligen Verhältnissen für das Pflanzenwachstum entscheidenden Ressourcen abgeleitet werden können (DANIELS et al., 1986; TER-MIKAELIAN et al., 1999). Dies würde eine klare Beziehung zwischen den für einen Index zu bestimmenden Größen und den Prozessen, mit denen Pflanzen die Ressourcen nutzen, erfordern (BRAVO et al., 2001).

#### **5. ZUSAMMENFASSUNG**

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Auswirkungen unterschiedlich starker intra- und interspezifischer Konkurrenz auf das Durchmesser- und Höhenwachstum von 11jährigen Buchen untersucht. Zur Quantifizierung der Konkurrenz wurden 7 verschiedene Konkurrenzindizes eingesetzt. Je nach verwendetem Index ließen sich 57–67% der Variation der gemessenen Durchmesserzuwächse aus dem Ausgangsdurchmesser und den Konkurrenzwerten erklären. Im Gegensatz dazu konnte ein Einfluss auf den Höhenzuwachs der betrachteten Buchen nicht nachgewiesen werden. Hinsichtlich des Durchmesserwachstums konnten die inter- von den intraspezifischen Konkurrenzwirkungen getrennt werden. Es zeigte sich dabei, dass die Konkurrenz durch Birken eine ähnliche Größenordnung erreichte wie die intraspezifische Konkurrenz. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung belegen, dass sich alle hier verwendeten, in der Regel aus der Analyse von Altbeständen entwickelten Konkurrenzindizes im Prinzip auch für die Abschätzung von Konkurrenzwirkungen in Jungbeständen eignen. Soll allerdings aufgedeckt werden, welchen Konkurrenzdruck die verschiedenen Baumarten ausüben, sind die Indizes nicht gleichwertig. Für diese Fragestellungen sollten die verwendeten Indizes möglichst keine artspezifischen Komponenten (wie z.B.

Kronenschirmflächen oder Transmissionskoeffizienten) integrieren. Nur dann lassen sich artspezifische Unterschiede in der Konkurrenz eindeutig aus den Parametern der für die einzelnen Baumarten berechneten Konkurrenzindizes ablesen. In der vorliegenden Untersuchung zeigten die artenspezifischen Indizes beim Vergleich der von den Baumarten(gruppen) „Buche“, „Birke“ und „Sonstige“ ausgeübten Konkurrenz aber kaum Unterschiede an. Die unter dem Vorbehalt der nur kurzen Beobachtungszeit aus diesen Ergebnissen abgeleiteten Schlussfolgerungen für die waldbaulichen Praxis können wie folgt zusammengefasst werden: Da der tatsächliche Konkurrenzdruck insbesondere durch vorwachsene Birken in Jungbeständen in der Regel überschätzt zu werden scheint, sollten pflegende Eingriffe einige Zeit nach dem Zeitpunkt erfolgen, zu dem die Konkurrenz dem das gesamte herrschende Kollektiv ausgesetzt ist, als stark eingeschätzt wird. Eingriffe sind aber in Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus anderen Studien spätestens dann notwendig, wenn ein Absinken des Höhenzuwachses zu beobachten ist. Angesichts der ökonomischen und ökologischen Vorteilhaftigkeit von Mischungen sollten vollständige Entnahmen von bedrängenden Weichlaubebäumen nicht mehr durchgeführt werden sollten. Nach der vorliegenden Untersuchung kann der Konkurrenzdruck durch die sogenannten „Weichlaubhölzer“ als ähnlich hoch eingeschätzt werden, wie jener durch die innerartliche Konkurrenz der Buchen. Dies gilt insbesondere für die Birke. Diese Baumart ist daher hinsichtlich ihrer Förderungswürdigkeit oder Konkurrenzwirkung genauso zu behandeln wie eine entsprechende Buche.

## 6. Summary

Title of the paper: *Assessing intra- and interspecific competition in thickets of broadleaved tree species.*

The impact of inter- and intraspecific competition on height and diameter growth of 11 years old European beech (*Fagus sylvatica* L.) was investigated using seven different competition indices. Depending on the competition index used regression analyses revealed that 57 to 67% of the variation of the diameter growth data could be explained by the initial diameter and intra- and interspecific competition (Table 2). In contrast to diameter, height growth did not response to competition (figure 1). Competition effects on beech were separated into interference by neighbouring beeches, by birch (*Betula pendula* Roth) and by all other tree species respectively. It could be shown that the interspecific competition by birch was comparable to the intraspecific interferences. For that reason a regression model where a differentiation between the competitive effect of tree species was renounced, resulted in only slightly reduced R-squares and hardly increased MSEs (Table 3).

The results show that the seven competition indices tested within the present study can be used for sound estimations of inter- and intraspecific competition effects although they all have been developed for investigations in older stands. However, if the competitive effect of different tree species is to be differentiated, not all indices are suitable. In this case only indices should be used which were not characterized by species specific components like crown shape or light transmission coefficients. Otherwise the parameters of the indices calculated on a tree species level do not provide information on the competitive effect of the interfering species. However, in the present study even the indices which do not take into account species specific components showed no distinct differences in the competitive effect between beech and birch (see figure 3).

The main objective of the study was to test competition indices in young stands and to differentiate the competitive effect of different tree species. The study therefore focused mainly on methodical implications. However, even though the observed period comprised

only one vegetation period some silvicultural recommendations for tending measures in young broad-leaved were derived. These are summarised as follows: Measures to control competing tree species are required if height growth of the vital and qualitatively promising trees starts to be impeded. This might be some years after these trees are classified as strongly affected by competition. However, because of the ecological and economic advantages of mixtures tending measures should never remove all interspecific individuals competing with the target tree species. This is true particularly for tree species like birch which can yield high prices or species which provide wildlife habitat or other none timber production values. As the competitive effect of birch does not differ from the intraspecific interference of beech, it should be removed only if this is advised also for a comparable beech tree.

## 7. Résumé

Titre de l'article: *Détermination des concurrences, intra et interspécifique, dans des peuplements feuillus au stade du fourré.*

Dans la recherche présentée ici on a étudié quels étaient les effets sur les accroissements en diamètre et en hauteur de concurrences intra et interspécifiques de forces différentes sur des hêtres âgés de 11 ans. Selon l'indice utilisé on explique 57 à 67% de la variation de l'accroissement de diamètre, mesuré depuis le diamètre de départ et selon les valeurs de la concurrence. En revanche aucune influence sur l'accroissement en hauteur des hêtres observés n'a pu être détectée. En ce qui concerne l'accroissement en diamètre il a été possible de distinguer les effets de la concurrence interspécifique de ceux de la concurrence intraspécifique. Il est apparu que la concurrence due aux bouleaux était du même ordre de grandeur que la concurrence intraspécifique. Les résultats de la présente recherche ont établi que les indices, en général développés à partir d'analyses effectuées dans des vieux peuplements, convenaient également, en principe, pour évaluer les effets de la concurrence dans les jeunes peuplements. Cependant s'il s'agit de découvrir quelle pression de concurrence exercent les différentes essences, les indices ne sont plus alors tous équivalents. Dans ce cas les indices utilisés ne doivent pas, dans toute la mesure du possible, comporter des composantes propres à l'espèce (par ex. les surfaces abritées par les couronnes ou les coefficients de transmission). Cela étant des différences inhérentes à l'espèce dans la concurrence exercée ne peuvent être clairement détectées qu'à partir des paramètres des indices calculés pour chacune des essences. Dans cette étude, lorsqu'on a comparé la concurrence provoquée par les essences, ou groupes d'essences, «hêtre», «bouleau», «divers», c'est à peine si les indices spécifiques aux essences ont présenté quelques différences. Sous réserve de la brièveté de la période d'observation, les conclusions à tirer de ces résultats pour la pratique sylvicole peuvent se résumer comme ci-après. Comme la pression de concurrence effective, en particulier celle des bouleaux préexistants dans les jeunes peuplements, paraît en général surestimée, les interventions culturales sont à pratiquer peu après le moment où la concurrence à laquelle est soumise l'ensemble de la collectivité dominante est considérée comme forte. Mais, et ceci en conformité avec les résultats d'autres études, des interventions s'avèrent au plus tard nécessaires lorsque l'on observe une diminution des accroissements en hauteur. Eu égard aux avantages que présentent les mélanges aux plans économique et écologique, les prélèvements ne doivent plus concerner exclusivement les feuillus tendres gênants. Selon la recherche présentée, la pression concurrentielle exercée par ce qu'il est convenu d'appeler «bois feuillus tendres» peut être considérée comme étant d'un niveau analogue à celle des hêtres entre eux. Cela vaut tout particulièrement pour les bouleaux. Par conséquent cette essence, en raison de son aptitude au développement ou de son effet concurrentiel, est à traiter comme un hêtre, en fait analogue.

J. M.

## 8. Danksagung

Wir danken dem Betriebsleiter des Waldes der Universität München Herrn Prof. Dr. R. MOSANDL und dem Revierleiter Herrn Dipl.-Forstwirt (univ.) CH. DIMKE für die vielfältige Unterstützung vor Ort. Wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes verdanken wir zwei anonymen Gutachtern.

## 9. Literatur

- AMMER, Ch. und C. DINGEL: Untersuchungen über den Einfluß starker Weichlaubholzkonkurrenz auf das Wachstum und die Qualität junger Stieleichen, Forstwissenschaftliches Centralblatt **116**, 346–358, 1997
- BACHMANN, M.: Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchungen in Bergmischwäldern. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 171, 1998
- BIGING, G. S. und M. DOBBERTIN: A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees, Forest Science **38**, 695–720, 1992
- BIGING, G. S. und M. DOBBERTIN: Evaluation of competition indices in individual tree growth models, Forest Science **41**, 360–377, 1995
- BELLA, J. E.: A new competition model for individual trees, Forest Science **17**, 364–372, 1971
- BRAND, D. G.: A competition index for predicting the vigour of planted Douglas-fir in southwestern British Columbia, Canadian Journal of Forest Research **16**, 23–29, 1986
- BRAVO, F., D. W. HANN und D. A. MAGUIRE: Impact of competitor species composition on predicting diameter growth and survival rates of Douglas-fir trees in southwestern Oregon, Canadian Journal of Forest Research **31**, 2237–2247, 2001
- BURTON, P. J.: Some limitations inherent to static indices of plant competition, Canadian Journal of Forest Research **23**, 2141–2152, 1993
- COMEAU, P. G. und J. L. HEINEMAN: Predicting understory light microclimate from stand parameters in young paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) stands, Forest Ecology and Management **180**, 303–315, 2003
- DANIELS, R. F.: Simple competition indices and their correlation with annual Loblolly pine tree growth, Forest Science **22**, 454–456, 1976
- DANIELS, R. F., H. E. BURKHART und T. R. CLASON: A comparison of competition measures for predicting growth of Loblolly pine trees, Canadian Journal of Forest Research **16**, 1230–1237, 1986
- ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1982
- ELLIOTT, K. J. und J. M. VOSE: Evaluation of the competitive environment for White pine (*Pinus strobus* L.) seedlings planted on prescribed burn sites in the Southern Appalachians, Forest Science **41**, 513–530, 1995
- FISCHER, H.: Qualitätsverbesserung bei jungen Traubeneichen (*Quercus petraea* Liebl.) allein durch innerartliche Konkurrenz, Forst und Holz **55**, 377–382, 2000
- GÖRLITZ, E. und B. LEDER: Über die Wirkung von Pflegemaßnahmen in Stieleichen-Jungbeständen, Beiträge zu Forstwirtschaft und Landschaftsökologie **28**, 153–159, 1994
- HOLMES, M. J. und D. D. REED: Competition indices for mixed species northern hardwood, Forest Science **37**, 1338–1349, 1991
- KNOKE, T.: Die Begründung von Mischbeständen – eine Möglichkeit zur Minderung von Risiko? In: Deutscher Forstverein e.V.: Die Begründung von Mischbeständen – eine Möglichkeit zur Minderung von Risiko? Deutscher Forstverein e.V., 2003
- KURTH, A.: Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen, Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen **24**, 581–658, 1946
- KÜSSNER, R. und J. WOLLMERSTÄDT: Entwicklung eines Tannenvoranbaus mit Birkenverjüngung, Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald **58**, 311–312, 2003
- LEDER, B.: Weichlaubhölzer – Verjüngungsökologie, Jugendwachstum und Bedeutung in Jungbeständen der Hauptbaumarten Buche und Eiche, Schriftenreihe der Landesanstalt für Forstwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Sonderband, Balve: Zimmermann, 1992
- LEDER, B.: Weichlaubhölzer in Eichen- und Buchenjungbeständen. Empfehlungen zur Einbeziehung in die waldbauliche Konzeption bei der Pflege von Jungbeständen, Forst und Holz **51**, 340–344, 1996
- LEDER, B. und U. WEIHS: Wachstum und qualitative Entwicklung eines 8 Jahre alten Buchen-Verbandsversuches unter Kieferschirm im Niederrheinischen Tiefland, Forst und Holz **55**, 172–176, 2000
- LEDERMANN, T. und A. R. STAGE: Effects of competitor spacing in individual-tree indices of competition, Canadian Journal of Forest Research **31**, 2143–2150, 2001
- LÜPKE, B. v.: Einfluß der Konkurrenz von Weichlaubhölzern auf das Wachstum junger Traubeneichen, Forst und Holz **46**, 166–171, 1991
- MACDONALD, B., D. M. MORRIS und P. L. MARSHALL: Assessing components of competition indices for young boreal plantations, Canadian Journal of Forest Research **20**, 1060–1068, 1990
- MORRIS, D. M. und R. R. FORSLUND: A field-oriented competition index for young jack pine plantations and a computerized decision tool for vegetation management, New Forests **5**, 93–107, 1991
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 115, 1992
- PRETZSCH, H.: Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag im Blackwell-Wissenschaftsverlag, Berlin, Wien, 2001
- PRETZSCH, H., P. BIBER und J. DURSKÝ: The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation, Forest Ecology and Management **162**, 3–21, 2002
- PUKKALA, T. und T. KOLSTRÖM: Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine, Silva Fennica **21**, 55–67, 1987
- QUINN, G. P. und M. J. KEOUGH: Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Melbourne, Madrid, Cape Town, 2002
- RICHARDSON, B., M. O. KIMBERLEY, J. W. RAY und G. W. COKER: Indices of interspecific plant competition for *Pinus radiata* in the central north island of New Zealand, Canadian Journal of Forest Research **29**, 898–905, 1999
- RADTKE, P. J., J. A. WESTFALL und H. E. BURKHART: Conditioning a distant-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition, Forest Ecology and Management **175**, 17–30, 2003
- ROCK, J., K. PUETTSMANN, H. A. GOCKEL und A. SCHULTE: Spatial aspects of the influence of silver birch (*Betula pendula* L.) on growth and quality of young oaks (*Quercus* spp.) in central Germany, Forestry **77**, 235–247, 2004
- SCHÄFER, A.: Untersuchungen zur Charakterisierung der Strahlungs- und Überschirmungsverhältnisse in Fichtenaltbeständen und zum Einfluss der Überschirmung auf den Keimerfolg von Bucheckersaaten, Unveröffentlichte Diplomarbeit, Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der TU München, 2000
- SCHÜTZ, J.-P.: Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen, Schweizer Zeitschrift für Forstwesen **140**, 1069–1083, 1989
- TER-MIKAELIAN, M., R. G. WAGNER, F. W. BELL und C. SHROPSHIRE: Comparison of photosynthetically active radiation and cover estimation for measuring the effect of interspecific competition on Jack pine seedlings, Canadian Journal of Forest Research **29**, 883–889, 1999
- UNG, C.-H., F. RAULIER, D. QUELLET und J.-F. DHOTE: L'indice de compétition interindividuelle de Schütz, Canadian Journal of Forest Research **27**, 521–526, 1997
- WAGNER, S. und B. RÖKER: Birkenanflug in Stieleichenkulturen – Untersuchungen zur Dynamik der Konkurrenz über 5 Vegetationsperioden, Forst und Holz **55**, 18–22, 2000
- WAGNER, R. G. und RADOSEVICH, S. R.: Neighborhood predictors of interspecific competition in young Douglas-fir plantations, Canadian Journal of Forest Research **21**, 821–828, 1991
- WANG, G. G., J. SU und J. R. WANG: Height growth of planted black spruce seedlings in response to interspecific vegetation competition: a comparison of four competition measures at two measuring positions, Canadian Journal of Forest Research **30**, 573–579, 2000

## Buchbesprechungen

**Niddahänge östlich Rudingshain.** Zoologische Untersuchungen 1990–1992. Naturwaldreservate in Hessen No. 5/2. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 32. Von G. FLECHTNER, W. H. O. DOROW und J.-P. KOPELKE. Mit Beiträgen von M. DEMUTH-BIRKERT, A. MALTEN, R. REMANE, J. RÖMBKE, S. SCHARTNER und P. ZUB. 2000. 550 Seiten.

Um diesen Teilband 5/2 beurteilen zu können, müssen vorweg der Untersuchungsrahmen erläutert und Details aus dem ersten Band bzw. aus Band 3 (Zoologische Untersuchungen, Konzept von FLECHTNER, G., DOROW, W. H. O. und KOPELKE, J.-P.) erwähnt werden.

Das Forschungsinstitut Senckenberg führt seit dem Jahr 1990 im Auftrag der Hessischen Landesforstverwaltung zoologische Untersuchungen in Naturwaldreservaten (NWR) durch. Mit reproduzierbaren Methoden soll eine möglichst umfassende Bestandsaufnahme der Tierwelt in der Kern- und in der Vergleichsfläche erreicht und durch Wiederholungsuntersuchungen der Verlauf der Sukzession langfristig dokumentiert werden. Es werden jeweils zwei Gebiete gleichzeitig untersucht. Zu Beginn erfolgt eine Kartierung zoologisch relevanter Habitate und Requisiten und darauf basierend die Festlegung der Fallenstandorte. Ein breites Fallenspektrum (aus Bodenfallen, Stammeklektoren an lebenden, toten stehenden und toten liegenden Bäumen, Stubben- sowie Totholzeklektoren, Fensterfallen und Farbschalen) wird pro Gebiet zwei Jahre lang eingesetzt und von März bis November monatlich geleert. Parallel werden gezielte Aufsammlungen, ornithologische Begehungen und lepidopterologische Licht- und Köderfänge durchgeführt. Folgende Tiergruppen werden standardmäßig in allen Reservaten untersucht: Regenwürmer (Lumbricidae), Spinnen (Araneae), Weberknechte (Opiliones), Wanzen (Heteroptera), Käfer (Coleoptera), Stechimmen (Hymenoptera: Aculeata), Großschmetterlinge (MacroLepidoptera), Vögel (Aves) und Säugetiere ohne Fledermäuse (Mammalia excl. Chiroptera). Die Auswahl der Tiergruppen steht voll und ganz im Einklang mit den von WINTER *et al.* 1999 (Programm zur Untersuchung der Fauna in Naturwäldern) vorgeschlagenen Gruppen. Hier offenbart sich die intensive Mitarbeit der Autoren in der bundesweiten „Arbeitsgruppe Fauna“. Zusätzlich wurden Auchenorrhyncha (Zikaden), Sternorrhyncha (Pflanzenläuse), Mecopteren (Steinfliegen) und Opiliones (Weberknechte) berücksichtigt, Amphibien dagegen wurden außer Acht gelassen.

Aus den Daten wurde eine Gebietsmonographie erstellt, die für das NWR „Niddahänge östlich Rudingshain“ aus zwei umfangreichen Bänden besteht. Der hier zu besprechende Teilband 5/2 enthält Details zu den Ergebnissen der Käfer (346 S.), Vögel (80 S.) und Säugetiere (22 S.). Ferner liefert er eine Übersicht über die Tiergruppen (Biodiversität) und ihre Bedeutung für den Naturschutz.

Das Kapitel „Käfer“ von G. FLECHTNER bietet mit seiner Fülle von 107 Abbildungen und 48 Tabellen eine Vielfalt an Detailinformationen. Die Datenfülle von 125000 Käferindividuen einer zweijährigen Fangperiode wurde umfassend aufbereitet und nach vielfältigen Gesichtspunkten analysiert. Allerdings ist die Art der Darstellung nicht immer angemessen: Graphiken im modernen „Computerbarock“ (dreidimensional, bunt und schön wie Abb. 41, 42, 59, 60) stehen im Gegensatz zu grauen Tabellen mit „Trauerkopf“ oder dunkler Schattierung (Tab. 12). Etliche Tabellen sind schwer lesbar, das gilt z.B. für die Tabellen 16, 39, 40 und besonders Tabelle 21, die sich auf über 13 Seiten erstreckt. Der geneigte (zoologisch versierte) Leser sollte immer eine Lupe zur Hand haben. Das Diagramm 57 (vgl. auch Abb. 58) aus 22 einzelnen, bunten Kurven zur „monatlichen Entwicklung der Käferartenzahl“ ist schlichtweg überfrachtet.

Die Gliederung des Käfer-Kapitels in bis zu sieben Unterpunkte stiftet eher Verwirrung und hilft nicht dabei, den umfangreichen Text zu gliedern. Die Ergebnisse der beiden Untersuchungsjahre werden miteinander verglichen, ein umfangreiches Kapitel widmet sich der Phänologie, zeitliche und räumliche Strukturmustern häu-

figer Käferarten (Stetigkeit) und Standortfrequenzen werden ausführlich geschildert. Ein Kapitel zur Nischentrennung (mit Berechnung der Überlappungsfrequenz) vervollständigt die Auswertung. Sehr schöne Makroaufnahmen lockern den Fließtext auf.

Aufgrund von Vergleichen mit anderen Untersuchungen, in denen jeweils nur Teilaspekte der Käferfauna erfasst worden sind, ist FLECHTNER überzeugt, dass der Artenbestand der Käfer recht vollständig erfasst worden ist. Immerhin liefert der Autor einen Vergleich mit KÖHLER (1990; 1996), der mit seinen Untersuchungen in Naturwaldreservaten (NWR) Nordrhein-Westfalens ähnlich hohe Artenzahlen erreicht hat (allerdings fehlen die aktuellen Publikationen von KÖHLER). Bedauerlich in diesem Zusammenhang ist, dass Untersuchungen über xylobionte Käfer bzw. Laufkäfer in Naturwaldreservaten Bayerns und Baden-Württembergs nicht erwähnt werden. Stattdessen werden unangemessene Vergleiche mit Arbeiten aus dem Solling bzw. dem Nordschwarzwald gezogen.

Die zusammenfassende Bewertung der Tiergruppe kommt zu folgenden Resultaten: 1/7 aller heimischen Käferarten wurden in dem untersuchten Gebiet registriert. Die Artenvielfalt scheint wesentlich höher, als bislang vermutet. Das hohe Naturschutzpotential des Gebietes (immerhin fast 33% der Käferarten zählen als faunistisch bemerkenswert) kann sehr wirkungsvoll bestätigt werden. Der forstliche Einfluss auf die Artensammensetzung ist relativ gering, denn nur etwa 10% der Waldbewohner sind an standortfremde Nadelhölzer gebunden. Immerhin werden 301 xylobionte Käferarten gefunden, das sind fast 23% aller deutschen Arten dieses Typs. Zwischen Kern- und Vergleichsfläche bestehen nur geringe Unterschiede. In der Bodenstreu waren bis zu 100 Käferarten in den Wintermonaten aktiv, an den Buchendürrständern bis zu 57 Arten. Diese Resultate belegen eindeutig den Nutzen von Winterfängen. Die Übereinstimmung des Arteninventars zwischen den unterschiedlichen Fallentypen ist recht gering, d. h., sie fangen sehr eigenständige Käfergemeinschaften.

SABINE SCHARTNER verfolgt mit ihrer ornithologischen Untersuchung zwei Ziele. Der methodische Ansatz der Untersuchung setzt sich mit verschiedenen Kartierungsmethoden auseinander und vergleicht deren Effektivität bzw. deren ableitbare Informationsinhalte. Darüber hinaus werden ornithologische Ausgangsdaten für künftige Untersuchungen in den Reservatsflächen gesammelt. Es wird festgestellt, ob Kern- und Vergleichsfläche im Ausgangszustand einen direkt vergleichbaren, d. h. homogenen Vogelbestand aufweisen. Die Autorin liefert eine kompakte, sehr gut gegliederte und gestraffte Darstellung der Ergebnisse. Die Gesamtabundanz ist mit etwa 60 Revieren pro 10 Hektar etwas höher als der von ZENKER (1980) berechnete durchschnittliche Wert für Buchenwälder. 68% der Gesamtrevierzahl nehmen baumgebundene Vogelarten ein, von 32% wird die Strukturkomponente „Strauch“ bevorzugt. Kern- und Vergleichsfläche haben ein fast identisches Artenpotential. Die Auswertung von Rastereinheiten liefert ähnliche Häufigkeitsabschätzungen wie die Revierkartierungsmethode.

156 Kleinsäuger-Individuen (Mammalia, Rodentia, Insectivora) wurden als Beifänge in verschiedenen Fallentypen von MARIANNE DEMUTH-BIRKERT ausgewertet. Von den insgesamt 11 Arten sind die Nagetiere (Langschwanzmäuse, Wühlmäuse, Schläfer) zahlenmäßig bedeutend stärker vertreten als die Insektenfresser. Die Arteninventare von Kern- und Vergleichsfläche sind nahezu identisch.

Das Kapitel „Übersicht über die Tiergruppen und ihre Bedeutung für den Naturschutz“ berücksichtigt auch die Ergebnisse aus dem ersten Teilband. Exakt 855075 Individuen wurden gefangen, sie verteilen sich auf 43 Ordnungen bzw. Gruppen. Davon sind 19 Taxa auf Artniveau vollständig bearbeitet, 9 sind nicht bearbeitet, für 4 sind Teilgruppen bearbeitet und für 11 wurden lediglich Stichproben ausgewertet. Bislang wurden 2328 Arten (1998 in der Kernfläche, 1777 in der Vergleichsfläche) ermittelt, dabei gibt es eine hohe Übereinstimmung im Artenbestand zwischen den

Flächen. Nach den Fangsummen ergibt sich folgende Reihung: Dipteren, Collembolen, Coleoptera, Milben, Hymenoptera, Araneae, Pflanzenläuse, Dermaptera, nach den Artenzahlen: Käfer, Hymenoptera, Lepidoptera (beide nur unvollständig bearbeitet), Spinnen, Wanzen, Schnecken, Thysanopteren. Aufgrund der ermittelten Ergebnisse werden für das NWR „Schotten“ 4500 Tierarten geschätzt, das wären – im Vergleich mit den ca. 45000 in Deutschland lebenden Tierarten (BLAB et al., 1984) – bereits 10% der heimischen Arten auf kleiner Fläche. Die bisherigen Arbeiten lieferten eher bescheidenere Artenzahlen. Es scheint so, dass die kleinräumig vorhandene Biodiversität in unseren Wäldern bislang stark unterschätzt wurde.

Auch die Bedeutung für den Naturschutz kann eindrucksvoll belegt werden. 548 faunistisch bemerkenswerte Arten aus 20 Ordnungen wurden ermittelt. Unter den insgesamt im NWR „Niddahänge“ vorkommenden 2328 Tierarten konnte eine Art neu für Deutschland, 40 Arten neu für Hessen und weitere 137 Arten neu für den Vogelsberg ermittelt werden. 171 Spezies gelten nach den Roten Listen gefährdeter Tiere Deutschlands als bedroht.

Die hessischen Kollegen legen mit ihrem zweibändigen Werk einerseits eine mustergültige faunistische Dokumentation vor, die sich hinsichtlich der geforderten Methoden, Quantifizierbarkeit, Reproduzierbarkeit und der ausgewählten Indikatorgruppen in idealer Weise an dem bundeseinheitlichen Standard der Arbeitsgruppe Fauna orientiert. Die Ergebnisse sind sauber dokumentiert und bleiben nachvollziehbar, sprechen allerdings nur einen kleinen Leserkreis an. Ihr eigentlicher Wert wird sich zusätzlich in vielen Jahren offenbaren, wenn nämlich Folgeaufnahmen kommender Zoologengenerationen das Sukzessionsgeschehen der Fauna erhellen. Andererseits stehen die bislang getätigten Rückschlüsse in keinem Verhältnis zum geleisteten Aufwand. Und es stellt sich die Frage, ob eine derartige reine Dokumentation noch zeitgemäß ist. Die entsprechenden Förderer erkennen mehr und mehr, dass das intensive Sammeln – ohne Konzentration auf heute aktuelle Fragestellungen – einer Wissenschaftspraxis des 19. Jahrhunderts entspricht, die heute keiner mehr bezahlen kann. Die hier sorgfältig an einem NWR praktizierte Aufnahme kann nicht zum Standard für alle NWR Hessens oder gar aller Bundesländer werden. Sie ermöglicht aber die kritische Diskussion über die Beschränkung auf Indikatorgruppen/-arten und setzt damit Maßstäbe für Folgeuntersuchungen.

R. LOCH

**A Retrospective and Perspective of Managing Forest of Pedunculate Oak in Croatia.** Herausgegeben von D. KLEPAC, D. TADIJANOVIĆ und K. ČORKALO JEMRIĆ. 2003. Croatian Academy of Sciences and Arts, Vinkovci. 435 Seiten mit zahlreichen zum großen Teil farbigen Abbildungen und Tabellen. ISBN 953-154-604-5.

Ende 2002 führte die Kroatische Akademie für Wissenschaft und Kunst in Vinkovci in Zusammenarbeit mit der Akademie für Forstwissenschaften in Zagreb, der Forstlichen Fakultät in Zagreb und anderen forstlichen Institutionen einen großen Kongress über die berühmte Slavonische Eiche durch. Die zahlreichen Beiträge dieser Veranstaltung wurden von der Akademie für Wissenschaft und Kunst unter der Schriftleitung des international bekannten Eichenforschers, Akademiemitglied Prof. Dr. DUSAN KLEPAC sowie dem Akademiemitglied DRAGUTIN TADIJANOVIĆ und Dr. sc. KATICA ČORKALO JEMRIĆ in einem vorzüglich ausgestatteten Werk in kroatischer und englischer Sprache veröffentlicht.

Nach einer ausführlichen Einführung durch Professor KLEPAC werden in 19 Abhandlungen die verschiedenen Aspekte der Eichenwirtschaft dargestellt. Hierbei wird zunächst ein historischer Überblick über deren Entwicklung und deren Bedeutung für die

kroatische Wirtschaft während der letzten drei Jahrzehnte gegeben. Eingehend wird der Zustand der kroatischen Forstwirtschaft und Forstwissenschaft im Hinblick auf den europäischen Integrationsprozess erörtert. Ein Kapitel weist auf die vielfältige Verwendung des Eichenholzes bei der traditionellen Architektur Slavoniens hin.

Der überwiegende Teil der Referate befasst sich mit dem größten zusammenhängenden Eichenwald Kroatiens, dem Revier Spačva im Osten Slavoniens. Mit einer Fläche von 40.000 ha umfasst dieses südlich der Stadt Vinkovci liegende autochthone Eichengebiet 1/5 der gesamten Eichenfläche Kroatiens. Die Eiche steht als dominierende Baumart in Mischung mit anderen Laubböhlern: 69 % Stieleiche (*Quercus robur*), 14% schmalblättrige Esche (*Fraxinus angustifolia*), 12 % Hainbuche (*Carpinus betulus*) und 5% übrige Laubbaumarten. Vorrat und Zuwachs des Waldes ist nach neueren Messungen sehr hoch. So beträgt der durchschnittliche Bestandesvorrat je ha 352 m<sup>3</sup>/ha und der jährliche Zuwachs 8,27 m<sup>3</sup> je ha. Das Zentrum der Verwaltung und Forschung liegt in Vinkovci. Von hier aus wird der Wald seit 150 Jahren nachhaltig bewirtschaftet. Seit über 120 Jahren kann die Forstpraxis auf wissenschaftliche Untersuchungen dieser Eichenwälder aufbauen.

Die Autoren beschreiben ausführlich die Klima- und Standortverhältnisse – hierbei u.a. den Einfluss des Wasserhaushaltes auf das Wachstum der Eiche – sowie die Flora und Fauna des Gebietes. Ferner werden Praxis und Forschungsergebnisse der Bestandesbehandlung und Verjüngung (einschließlich der Pflanzenanzucht) und Forstschutzprobleme behandelt. Ausführlich werden Fragen der Holzqualität und des Holzabsatzes diskutiert.

Neben der einheimischen Literatur ist ein besonderes Kapitel den in einer Fremdsprache (vor allem englisch, deutsch und französisch) verfassten Facharbeiten gewidmet. Das 59 Druckseiten umfassende Literaturverzeichnis enthält eine erstaunlich große Anzahl deutschsprachiger Veröffentlichungen, so allein 38 Publikationen von KRAHL-URBAN.

Dieses wichtige, durch zahlreiche meist farbige Abbildungen und sehr informative Tabellen bereicherte Werk hat zweifellos weit über die Grenzen Kroatiens hinaus eine große Bedeutung für die Eichenwirtschaft Europas.

H. KRAMER

**Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Strategiepapier des Umweltbundesamtes.** Hrsg. Bundesumweltamt 2004, 148 S., kartoniert, 24,80 €, Erich Schmidt Verlag, ISBN 350 30 78525.

Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr, so genannter Landschaftsverbrauch, gehört zu den wichtigsten Handlungsfeldern der Umweltpolitik in Deutschland. Nachhaltigkeit im Umgang mit der Fläche, also Grund und Boden, ist nur zu erreichen, wenn der Flächenverbrauch im Durchschnitt der letzten 10 Jahre von 120 ha/Tag drastisch reduziert wird. Die Zielgröße lautet: 30 ha/Tag in 2020. Die direkten und indirekten Umweltfolgen – Bodenversiegelung, Verlärmung der Landschaft, wachsende Gasemissionen und steigender CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch erhöhten Energieverbrauch – um nur einige wenige zu nennen – sind seit langem gegenwärtig. Der Landschaftsverbrauch hat aber auch ökonomische und soziale Folgen, die im Rahmen einer umfassenden Nachhaltigkeitsstrategie zu bedenken sind.

Der vorliegende Bericht analysiert im ersten Teil die Ausgangssituation. Im 2. Teil werden Handlungsziele und Indikatoren angesprochen. Die Handlungsziele werden mit Instrumenten und Maßnahmen verknüpft und zu einem konsistenten Gesamtkonzept verknüpft.

H. ESSMANN

Neuerscheinung:

# Perspektiven forstökonomischer Forschung

Schriften zur Forstökonomie, Band 25

VOLKER BERGEN gewidmet zum 65. Geburtstag

Herausgegeben von W. LÖWENSTEIN, R. OLSCHESKI, H. D. BRABÄNDER und B. MÖHRING

ISBN 3-7939-7025-6, Kartoniert € 17,50

200 Seiten mit 85 Abbildungen und mehreren Tabellen

Der Band enthält elf Beiträge aus dem gesamten Bereich der Forstökonomie, die VOLKER BERGEN zu seinem 65. Geburtstag gewidmet sind. Im Vorwort zu dieser Schrift betont HORST DIETER BRABÄNDER die Einheit der Forstökonomie, die sich mit derselben ökonomischen Methodik den betrieblichen, marktlichen und gesamtwirtschaftlichen Problemen zuwendet.

A. W. BITTER, TU Dresden untersucht die *Strategische Planung als Instrument der forstlichen Betriebsgestaltung*. Sein Anliegen besteht darin aufzuzeigen, dass es möglich ist, die operativen und taktischen forstbetrieblichen Maßnahmen aus einer strategischen Planung abzuleiten, die aus einem Vergleich alternativer Entwicklungsstrategien unter Berücksichtigung der Eigentümer-Zielsetzungen resultiert. Dabei wird die Bedeutung der strategischen Planung dargestellt und an zwei forstbetrieblichen Strategien beispielhaft belegt.

P. DEEGEN, TU Dresden sucht nach *Ansätzen einer ökonomischen Theorie der forstlichen Nachhaltigkeit*. Er plädiert für die Anwendung der dynamischen Analyse, wenn man die Ökonomie der Nachhaltigkeit erforschen will und macht auch auf den Unterschied zwischen der nachhaltigen Nutzung einer natürlichen Ressource, wie dem Wald, und einer nachhaltigen Entwicklung einer Gesellschaft aufmerksam.

M. DIETER, P. ELSASSER und C. THOROE, BFH Hamburg prüfen die *Forstökonomische Forschung als Grundlage für Politikberatung*. Sie sehen in der Politikberatung eine wichtige Aufgabe einer wissenschaftlichen Forstwirtschaftspolitik, die ihrerseits auf den Erkenntnissen forstökonomischer Forschung aufbaut. Die Autoren demonstrieren dies an den neueren Erkenntnissen über die wirtschaftlichen Strukturen der Forstwirtschaft und der Holzmärkte sowie der ökonomischen Bewertung von Schutz- und Erholungsleistungen des Waldes.

H. A. JÖBSTL, BOKU Wien sucht durch *Innovationen des forstbetrieblichen Rechnungswesens*: Die Integration des Waldvermögens voranzutreiben. Er konstatiert gravierende Defizite des betrieblichen Rechnungswesens durch die Vernachlässigung der Waldvermögenswertänderungen und der Sozial- und Umweltleistungen der Wälder. Der Verfasser sieht Fortschritte durch den Einsatz von permanenten Stichprobeninventuren und Inventurfortschreibungen sowie die Verwendung von Kalkulationssoftware. Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz dieser Instrumente und für eine erfolgreiche Bewirtschaftung der Wälder ist ein verstärktes Bewusstsein bezüglich der betrieblichen und gesellschaftlichen Bedeutung des Waldvermögens und seiner Veränderungen.

W. LÖWENSTEIN, U Bochum untersucht die *Opportunitätskosten des Waldschutzes in den Tropen*. Mit Hilfe der neoklassischen Wachstumstheorie zeigt der Verfasser, dass der Waldschutz vornehmlich die heimische Ersparnis aber auch die Holzexporterlöse der Tropenländer reduziert. Damit verbunden ist ein erheblicher Verzicht auf Bruttoinlandsprodukt und Pro-Kopf-Einkommen, für den diese Länder nicht kompensiert werden. Der Beitrag bietet einen empirischen Beleg für die ökonomische Erkenntnis, dass eine gute Absicht noch nicht ausreicht, um etwas Gutes zu schaffen.

B. MÖHRING, U Göttingen nimmt den Opportunitätskostengedanken von Wilhelm Löwenstein auf und überträgt ihn auf die betriebliche Ebene als *Ein vereinfachender Ansatz zur Ermittlung von Ertragsverlusten bei Einschränkung der Waldbewirtschaftung*. Dabei folgen die Einschränkungen beispielsweise aus Naturschutzzielen und werden durch waldbauliche Maß-

nahmen realisiert. Das betriebswirtschaftliche Grenzpreiskonzept will dann die minimale marginale Entschädigungsforderung für diese Änderung der Waldbewirtschaftung ermitteln. Aus Praktikabilitäts- und Akzeptanzgründen schlägt Möhring vor, jährliche, auf den ha bezogene Beträge zu berechnen und demonstriert Anwendungsmöglichkeiten an verschiedenen Beispielen.

M. MOOG und J. SCHMID, TU München untersuchen *Bestimmungsgründe für Besucherzahlen und Eintrittspreise von Wildparks: eine ökonometrische Analyse*. Diese Fragestellung zielt auf die Erschließung neuer Geschäftsfelder für Forstbetriebe und will die Frage beantworten, mit welchem Umsatz ein neuer Wildparkbetreiber rechnen kann, der dann die Basis für eine Pachtforderung des Waldbesitzers liefert. Der Beitrag widmet sich damit einem Thema, das vor dem Hintergrund defizitärer Forstbetriebe immer größere Bedeutung erlangt.

G. OESTEN, U Freiburg diskutiert *War da was? Über die Auswirkungen der „Waldsterbens“-Debatte auf die Forstwissenschaften im Allgemeinen und die Forstökonomie im Besonderen*. Er sieht die Wissenschaften und so auch die Forstwissenschaften einschließlich der Forstökonomie in einem verstärkten Legitimationsdruck gegenüber der Gesellschaft. Am Beispiel des Waldsterbens zeigt er Dilemmata auf, denen sich die Wissenschaft selbst gegenüber sieht, aber auch bezüglich der Politik und der Gesellschaft.

R. OLSCHESKI, U Göttingen und P. C. BENITEZ, U Wageningen präsentieren eine *Monetäre Bewertung der Klimaschutzfunktion von Wäldern in verschiedenen Klimazonen Süd-Amerikas*. Die Verfasser sehen in den Opportunitätskosten einer geänderten Landnutzung einen geeigneten Bewertungsansatz für die Klimaschutzfunktion von Wäldern. Die Praktikabilität dieses Ansatzes wird für Projektregionen in Argentinien und Ecuador gezeigt. Der Bewertungsansatz zeigt sich als theoriekonform und praktikabel und stellt einen gelungenen Beitrag zu einem effizienten Klimaschutz dar.

A. ROEDER und M. BÜCKING, U Freiburg untersuchen *Forstbetriebliches Management unter Ungewissheit und Unwissenheit*. Die biologische Produktion der europäischen Forstwirtschaft ist durch Langfristigkeit gekennzeichnet, bei der Entscheidungen unter Unsicherheit eine wichtige Rolle spielen. Die Verfasser kommen zu dem Ergebnis, dass die Erhaltung der betrieblichen Flexibilität als Freiheit von Bindungen und Verfügbarkeit von Optionen die beste Strategie ist.

W. SEKOT, BOKU Wien stellt *Die Forstwirtschaftliche Gesamtrechnung für Österreich* vor. Die Forstwirtschaft ist ein Produktionsbereich der Volkswirtschaft, dessen Transaktionen in einer Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung zu erfassen sind. Neben dem Europäischen System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen von 1995 existiert eine forstwirtschaftliche Gesamtrechnung, für die seit 1997 ein eigenes Regelwerk gilt. Die Ergebnisse weisen die Forstwirtschaft in Österreich ebenso wie in Deutschland als eher unbedeutenden Wirtschaftssektor aus. Der Verfasser problematisiert die Gültigkeit und Zuverlässigkeit der Daten.

Die hier vorgelegten elf Beiträge zeigen, dass die Forstökonomie Forschungsperspektiven besitzt, die sich aus aktuellen und drängenden Problemen im Zusammenspiel von Wald und Gesellschaft ergeben. Die Schrift sei jedem zur Lektüre empfohlen, der an einer Lösung dieser Probleme interessiert ist.

J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG · FRANKFURT AM MAIN

*Neuerscheinung:*

# Douglasie versus Fichte

**Schriften zur Forstökonomie, Band 26**

Von A. HEIDINGSFELDER und TH. KNOKE

ISBN 3-7939-7026-4, Kartoniert € 15,20

116 Seiten mit 27 Abbildungen und 37 Tabellen

Nach einer gewissen Euphorie zu Beginn des letzten Jahrhunderts hat der Anbau fremdländischer Baumarten in Deutschland stark nachgelassen. Belangvolle Flächenanteile erreichte von der Vielzahl der ursprünglich in Erwägung gezogenen Arten lediglich die Douglasie. Daneben spielen allenfalls Roteiche und Japanlärche noch eine gewisse Rolle. Die bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts in Deutschland eingeführte Douglasie vermag dafür aber ganz besonders hinsichtlich der Wachstumsleistung und in Bezug auf die Holzqualität zu überzeugen, wenn auf geeignete Provenienzen geachtet wird. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass sich schon viele Autoren mit der Douglasie befasst haben. Insbesondere betriebswirtschaftliche Arbeiten existieren bereits in großer Zahl.

Der vorliegende Band deckt anhand einer umfangreichen Literaturstudie durchaus noch Forschungsbedarf in Bezug auf den betriebswirtschaftlichen Leistungsvergleich zwischen Douglasie und Fichte auf. Zum einen zeigt sich eine enorme Schwankungsbreite der existierenden Bewertungsergebnisse, die in Waldreinerträge von 300 bis 1200 Euro/ha/J münden. Zum anderen wird belegt, dass entscheidungsorientierte Bewertungsansätze, die auch die Knappheit der eingesetzten Finanzmittel berücksichtigen, bislang weitgehend fehlen. Basierend auf ertragskundlichen Daten des seit mehr als 90 Jahren beobachteten Provenienzversuches in Kaiserslautern wird ein Spektrum von Bewertungsansätzen zum Vergleich von Douglasie und Fichte verwendet, welches von der Kapitalwertmethode über die Bestimmung des internen Zinssatzes bis zur Berechnung von Annuität und Bodenertragswert reicht. Die Möglichkeit, die Fichte natürlich begründen zu können, während die Douglasie gepflanzt werden muss sowie die subjektive Einstellung des Entscheidungsträgers zum Risiko werden in die

Bewertung integriert. Durch einen statisch-komparativen Ansatz wird abschließend die optimale Anzahl an zu ästenden Bäumen bestimmt. Im Kontext mit bereits existierenden Studien überrascht der Befund, dass die zinsfrei aufsummierten Einzahlungsüberschüsse des Douglasienbestandes mehr als doppelt so hoch wie die des Fichtenbestandes sind, nicht besonders. Neue Erkenntnisse werden aber mit Hilfe der entscheidungsorientierten Bewertungsansätze erzielt: Ab einem Kalkulationszinsfuß in Höhe von 2% übertreffen die von der Variante „Fichten-Naturverjüngung“ erzielten Kapitalwerte die der Douglasienoption. Hiermit liefern die Autoren einen eindrucksvollen Beleg dafür, wie wichtig die Reduktion bzw. möglicherweise die völlige Vermeidung von Kulturausgaben ist. Auch die interne Verzinsung der Variante „Fichten-Naturverjüngung“ liegt um einen ganzen Prozentpunkt höher als die der Douglasie. Umfangreiche Sensitivitätsstudien, z.B. hinsichtlich einer Verkürzung der Produktionszeit, führen tendenziell zu einer Verbesserung der Position der „Fichten-Naturverjüngung“. Diese Variante zeichnet sich über alle Kalkulationszinssätze hinweg auch durch eine erheblich geringere Streuung der Kapitalwerte aus. Aufgrund der nur geringen Preisunterschiede, die derzeit für geästetes Douglasienholz im Vergleich zu ungeästetem erzielt werden, erweist sich die Ästung als wenig rentabel. Anhand des Ansatzes zur Bestimmung der optimalen Anzahl an Ästungsbäumen werden aber Möglichkeiten zur Verbesserung der Rentabilität der Ästung abgeleitet. So ergeben sich für die Ästung von lediglich 50 Stämmen (unter bestimmten Voraussetzungen) durchaus interessante Rentabilitäten. Der vorliegende Band bietet dem Leser nicht nur konkrete Entscheidungshilfen, sondern gibt auch einen umfangreichen Überblick über relevante forstökonomische Bewertungsansätze.