

BERICHTE
FREIBURGER FORSTLICHE FORSCHUNG

HEFT 35

**Zur Wurzelausbildung von
Fichte (*Picea abies* L. [Karst]) und
Weißtanne (*Abies alba* Mill.)
in gleich- und ungleichaltrigen Beständen**

Bearbeitet von Dieter Bolkenius

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG

ABT. WALDWACHSTUM

2001

ISSN 1436-1566

Die Herausgeber:

Forstwissenschaftliche Fakultät
der Universität Freiburg,
Forstliche Versuchs- und
Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Umschlaggestaltung:

Bernhard Kunkler Design, Freiburg

Druck:

Eigenverlag der FVA, Freiburg

Bestellung an:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Wonnhaldestr. 4
79100 Freiburg i. Br.
Tel.: 07 61 – 40 18 - 0, Fax.: 07 61 – 40 18 – 3 33
e-Mail: poststelle@fva.bwl.de

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

Gedruckt auf 100 % chlorfrei
gebleichtem Papier.

1 EINLEITUNG

1.1 ZUSAMMENFASSUNG BISLANG VORLIEGENDER ERGEBNISSE

- 1.1.1 Funktion und Wachstum der Wurzel
- 1.1.2 Die Wurzelsysteme von Fichte (*Picea abies*) und Weißtanne (*Abies alba*)
 - 1.1.2.1 Das Wurzelsystem der Fichte
 - 1.1.2.2 Das Wurzelsystem der Weißtanne
- 1.1.3 Forschung zur Stabilität von Bäumen
- 1.1.4 Wurzel/Spross-Beziehungen
- 1.1.5 Soziale Stellung und Wurzelausprägung
- 1.1.6 Wurzeluntersuchungen im ungleichaltrigen Wald

1.2 FRAGESTELLUNGEN UND ZIELE DER ARBEIT

2 MATERIAL UND METHODE

2.1 MATERIAL

- 2.1.1 Ravensburg
 - 2.1.1.1 Bestände
 - 2.1.1.2 Standort
 - 2.1.1.3 Bäume
- 2.1.2 Schopfheim
 - 2.1.2.1 Bestand
 - 2.1.2.2 Standort
 - 2.1.2.3 Bäume

2.2 METHODE

- 2.2.1 Terminologie
- 2.2.2 Freilegen der Wurzelsysteme
 - 2.2.2.1 Druckluft
 - 2.2.2.2 Ausgraben
 - 2.2.2.3 Freispülen mit Wasser
 - 2.2.2.4 Seilzug
- 2.2.3 Messgrößen und Messmethode
 - 2.2.3.1 Oberirdische Baumparameter
 - 2.2.3.2 Messungen am Wurzelstock
 - 2.2.3.3 Abgeleitete Größen
 - 2.2.3.4 Verankerungsmessungen

3 ERGEBNISSE

3.1 VERGLEICHBARKEIT DER KOLLEKTIVE IN DEN GLEICHALTRIGEN BESTÄNDEN

3.2 DIE WURZELENTWICKLUNG VON FICHTEN DER SOZIALEN BAUMKLASSEN II UND III IM GLEICHALTRIGEN BESTAND

- 3.2.1 Das Wurzelrockengewicht
- 3.2.2 Horizontale und vertikale Wurzelenausdehnung sowie durchwurzeltes Bodenvolumen
- 3.2.3 Die Verzweigungsintensität
- 3.2.4 Die räumliche Verteilung der Wurzelbiomasse
 - 3.2.4.1 Horizontalwurzeln
 - 3.2.4.2 Vertikalwurzeln
- 3.2.5 Das Verhältnis von Horizontal- zu Vertikalwurzelmasse
- 3.2.6 Die Formigkeit der Wurzelsysteme
- 3.2.7 Die Symmetrie der Wurzelsysteme
- 3.2.8 Die Verankerungsmomente der Bäume und ihre Bezüge zu Kenngrößen von Baum und Wurzel
- 3.2.9 Wurzel/Spross-Verhältnisse
 - 3.2.9.1 Das Verhältnis von Wurzelfrischgewicht zu dem Gewicht der oberirdischen Biomasse
 - 3.2.9.2 Das Verhältnis von Wurzelquerschnittsareal (WQA_{100}) und Grundfläche ($g_{1,3}$) in Brusthöhe
 - 3.2.9.3 Das Verhältnis von Wurzelgröße (durchwurzeltes Bodenvolumen) und Standraum des Baumes (Kronenschirmfläche).
 - 3.2.9.4 Standraum und Wurzelzuwachs
 - 3.2.9.5 Jahrringanalysen an Wurzel und Stamm

3.3 DIE H/D-ENTWICKLUNG DER UNTERSUCHUNGSBÄUME IM UNGLEICHALTRIGEN BESTAND

3.4 DIE WURZELENTWICKLUNG VON FICHTE UND TANNE IM UNGLEICHALTRIGEN BESTAND

- 3.4.1 Das Wurzelrockengewicht
- 3.4.2 Horizontale und vertikale Wurzelenausdehnung, sowie durchwurzeltes Bodenvolumen
- 3.4.3 Die Verzweigungsintensität
- 3.4.4 Die räumliche Verteilung der Wurzelbiomasse
 - 3.4.4.1 Horizontalwurzeln
 - 3.4.4.2 Vertikalwurzeln
- 3.4.5 Das Verhältnis von Horizontal- zu Vertikalwurzelmasse
- 3.4.6 Die Formigkeit der Wurzelsysteme
- 3.4.7 Die Symmetrie der Wurzelsysteme

-
- 3.4.8 Wurzel/Spross-Verhältnisse
 - 3.4.8.1 Das Verhältnis von Wurzelfrischgewicht zu dem Gewicht der oberirdischen Biomasse
 - 3.4.8.2 Das Verhältnis von Wurzelquerschnittsareal und der Grundfläche ($g_{1,3}$) in Brusthöhe
 - 3.4.8.3 Das Verhältnis von Wurzelgröße (durchwurzeltes Bodenvolumen) und Standraum des Baumes (Kronenschirmfläche)
 - 3.4.8.4 Standraum und Wurzelzuwachs
 - 3.4.8.5 Jahrringanalysen an Wurzel und Stamm

4 DISKUSSION

4.1 EINFÜHRUNG

4.2 SOZIALE BAUMKLASSE UND WURZELAUSBILDUNG IM GLEICHALTRIGEN BESTAND

- 4.2.1 Ausdehnung der Wurzelsysteme
 - 4.2.1.1 Wurzelgewicht
 - 4.2.1.2 Horizontalausdehnung
 - 4.2.1.3 Vertikalausdehnung
 - 4.2.1.4 Durchwurzeltes Bodenvolumen
 - 4.2.1.5 Verzweigung
- 4.2.2 Räumliche Verteilung der Wurzelmasse
 - 4.2.2.1 Wurzelflächen
 - 4.2.2.2 Massenverhältnis Horizontal-/Vertikalwurzeln
 - 4.2.2.3 Formigkeit
 - 4.2.2.4 Symmetrie
- 4.2.3 Wurzel/Spross-Verhältnisse
 - 4.2.3.1 Allgemeines
 - 4.2.3.2 Wurzelfrischgewicht und oberirdische Biomasse
 - 4.2.3.3 WQA_{100} und die Grundfläche in Brusthöhe
 - 4.2.3.4 Wurzelgröße und Standraum
 - 4.2.3.5 Jahrringanalysen an Stamm und Wurzel
- 4.2.4 Standraum und Wurzelzuwachs
- 4.2.5 Einfluss der sozialen Klasse auf Kenngrößen des Wurzelsystems

4.3 SOZIALE BAUMKLASSE UND VERANKERUNG

- 4.3.1 Wesentliche Ergebnisse
- 4.3.2 Fragen zur Zugmethode
- 4.3.3 Maximales Verankerungsmoment und oberirdische Baumparameter
- 4.3.4 Maximales Verankerungsmoment und Wurzelkenngößen

4.4 WURZELAUSBILDUNG IM UNGLEICHALTRIGEN BESTAND

4.4.1 Ausdehnung der Wurzelsysteme

4.4.1.1 Wurzelgewicht

4.4.1.2 Horizontale Ausdehnung

4.4.1.3 Vertikale Ausdehnung

4.4.1.4 Durchwurzeltes Bodenvolumen

4.4.1.5 Verzweigung

4.4.2 Räumliche Verteilung der Wurzelmasse

4.4.2.1 Wurzelflächen

4.4.2.2 Massenverhältnis Horizontal/Vertikalwurzeln

4.4.2.3 Formigkeit

4.4.2.4 Symmetrie

4.4.3 Wurzel/Spross-Verhältnisse

4.4.4 Standraum und Wurzelzuwachs

4.5 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER FRAGESTELLUNG

4.5.1 Zusammengefasste Ergebnisse

4.5.2 Behandlungsgrundsätze

4.5.3 Reaktionsvermögen schwächerer Bäume

4.5.4 Vergleich der Wurzelbildung im gleichaltrigen und ungleichaltrigen Wald

5 ZUSAMMENFASSUNG

6 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

7 VERZEICHNIS DER TABELLEN

8 LITERATURVERZEICHNIS

9 ANHANG

Vorwort

Die Anregung zu der vorliegenden Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Waldwachstum der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg in Freiburg zwischen Juli 1995 und Februar 1998. Die materielle Grundlage bot das Umweltforschungsprojekt Nr. 55-95.3 des Ministeriums Ländlicher Raum Baden-Württemberg „Wurzeluntersuchungen in Baden-Württemberg: Wurzel Ausbildung in Abhängigkeit von Standort und Behandlung“.

Dessen Umsetzung wäre ohne das Engagement einer Vielzahl von Mitarbeitern der Landesforstverwaltung nicht möglich gewesen. Im forstlichen Stützpunkt „Seehaus“ im Forstamt Pforzheim wurde im Herbst 1995 unter tätiger Mithilfe von Herrn FAR Bulander und seiner Mitarbeiter die Grabungstechnik entwickelt. Das Forstamt Ravensburg stellte 1996 das Personal sowie die Probeflächen für die aufwendigen Wurzeluntersuchungen bereit. Mein Dank gilt hier insbesondere den Herren FD Dr. Bosch, FAR Schlude, FWM Grießer und den Mitarbeitern des Maschinenbetriebes Rasthalde. In Schopfheim konnten 1997 die umfangreichen Arbeiten dank der Unterstützung des Forstamtes in kurzer Zeit bewältigt werden. Für ihren Einsatz sei u. a. Herren FD Dr. Rieger und Herrn FOI Gempp gedankt. Herrn OGeolR Wiebel von der Abt. Botanik und Standortkunde der FVA danke ich für die bodenkundlichen Erhebungen und Hinweise zur Flächenauswahl, sowie dem Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik in Freiburg für die Messungen zum Verankerungsmoment.

Dem Leiter der Abt. Waldwachstum der FVA, Herrn LFD Prof. Dr. Kenk, verdanke ich die Möglichkeit, wissenschaftlich zu arbeiten und die wohlwollende fachliche Begleitung, insbesondere auch nach meinem Weggang aus Freiburg. Herr Prof. Dr. Huss hat sich freundlicherweise bereit erklärt, das Korreferat zu übernehmen. Stellvertretend für die Mitarbeiter der Abteilung Waldwachstum möchte ich Herrn OFR Dr. Klädtke für die intensiven Diskussionen und methodischen Hinweise danken, sowie Herrn Thomas Weidner für die Anregungen zur grafischen Darstellung der Ergebnisse. Herr Jürgen Dumbach hat als mein Mitarbeiter über mehr als zwei Jahre hinweg die Außenaufnahmen und Auswertungen mit großem Engagement unterstützt.

In der Schlussphase der Dissertation war Herr Ass. d. F. Stephan Angermayer ein gewissenhafter Lektor. Eine Fülle kritischer Anregungen erfuhr ich durch die freundschaftliche Unterstützung von Herrn FR Dr. Kühn, Donaueschingen.

Schließlich möchte ich Herrn LMR Dr. Holzmann, Mitglied des Hessischen Rechnungshofs, für die wohlwollende Hilfestellung und Rücksichtnahme danken, die mir während der Anfertigung der Arbeit seitens des Hessischen Rechnungshofs in Darmstadt entgegengebracht wurde.

Ich widme die Dissertation meinen Eltern Gisela und Josef Bolkenius, die mir das Studium der Forstwissenschaften ermöglichten und somit die Grundlage für diese Arbeit geschaffen haben.

Freiburg im Breisgau, im März 2001

Dieter Bolkenius

ZUSAMMENFASSUNG

Morphologie und Struktur von Wurzelsystemen entscheiden mit über die Stabilität und das Wachstum von Waldbäumen. Frühere und stärkere Eingriffe in Fichtenbeständen fördern erwiesenermaßen ihre Wurzelbildung und Stabilität. Umstritten ist die Reaktionsfähigkeit älterer Wurzelsysteme. Ihr kommt aber entscheidende Bedeutung zu, wenn die Auswirkungen veränderter waldbaulicher Strategien zu beurteilen sind z. B. Überführung in ungleichaltrige Bestandesaufbauformen, stärkere Strukturierung und langfristige Naturverjüngung. Hier stehen die Ausprägung und die Reaktionsfähigkeit der Wurzeln von Bäumen verschiedener sozialer Klassen, insbesondere der Baumklassen II und III, im Vordergrund.

Kleinflächig bis einzelbaumweise ungleichaltrige Waldaufbauformen gelten als besonders stabil. Dennoch existieren bislang nur wenige Arbeiten zur Wurzelprägung in solchen Wäldern. Zumeist handelt es sich um Einzelbeobachtungen oder um die Untersuchung von Jungwüchsen.

Davon ausgehend wurden für das Forschungsprojekt folgende Fragestellungen abgeleitet:

- Lässt sich der Einfluss der sozialen Stellung eines Baumes auf die Wurzelprägung am Beispiel der Baumart Fichte quantifizieren?
- Werden Kenngrößen des Wurzelsystems durch die soziale Baumklasse unterschiedlich stark beeinflusst?
- Wie wirken sich die soziale Klasse und einzelne Kenngrößen von Baum und Wurzel auf die Verankerung aus?
- Wie stellt sich die Wurzelprägung der Baumarten Fichte und Tanne im Nichtaltersklassenwald dar und lassen sich Unterschiede zum gleichaltrigen Wald aufzeigen?
- Welche waldbaulichen Schlussfolgerungen sind daraus für die Bestandesbehandlung abzuleiten?

Zur Untersuchung dieser Fragen wurden drei Teilprojekte durchgeführt:

- (1) Zur Analyse der Wurzelsysteme wurden im Forstbezirk Ravensburg 18 Fichten der sozialen Baumklassen II und III aus drei gleichaltrig aufgebauten Beständen mit Wasser freigespült und anschließend vermessen.
- (2) Bei Zugversuchen an 17 Bäumen in denselben Beständen wurde über die Messung des Verankerungsmoments ihre mechanische Stabilität bewertet.
- (3) Schließlich wurden in einem ungleichaltrigen Bestand im Forstbezirk Schopfheim die Wurzelsysteme von 15 Fichten und Tannen des Mittel- und Starkholzes durch Freispülen und Umziehen freigelegt, um somit zu quantitativen Informationen zur Wurzelbildung im ungleichaltrigen Wald zu gelangen.

Wesentliche Ergebnisse der Arbeit sind:

- Zwischen Fichten der Kraft'schen Klassen II und III im gleichaltrigen Wald bestanden bedeutende Unterschiede in ihrer Wurzel Ausbildung. Bäume der Klasse II besitzen eine höhere Wurzelmasse sowie eine bessere Tiefenerschließung des Bodens, ferner reagieren sie mit ihrem Wurzelwachstum in höherem Maße auf Freistellungen.
- Als besonders stark von der sozialen Klasse beeinflusste Kenngrößen erwiesen sich das Wurzeltrockengewicht sowie das Verankerungsmoment der Untersuchungsbäume. Die Verzweigungsintensität und die Verteilung der Wurzelmasse auf Horizontal- und Vertikalwurzeln hingegen wurde weniger stark durch die soziale Stellung eines Baumes geprägt.
- Bäume der Kraft'schen Klasse II besaßen bis zu 100 % höhere Verankerungsmomente als Exemplare der Klasse III. Die Verankerungsstärke ist eng korreliert mit dem Gewicht des Wurzelsystems, dem WQA innerhalb der Zone der raschen Wurzelverjüngung sowie der oberirdischen Biomasse des Baumes.
- Im ungleichaltrigen Wald zeigt die Fichtenwurzel ein beachtliches Entwicklungspotenzial im Vergleich mit der Tanne, z. B. hinsichtlich des Wurzelgewichts als Baum des Starkholzes, in der Vertikalerschließung des Standortes und im Verhältnis der Wurzelmasse zur oberirdischen Biomasse des Baumes. Ferner reagiert sie mit ihrer Wurzel stärker auf Freistellungen als die Tanne.

Daraus lassen sich für die waldbauliche Praxis folgende Schlüsse ziehen:

Um zu einer dem Ziel der individuellen Stabilität des Einzelbaumes entsprechenden Wurzel Ausbildung zu gelangen, ist es notwendig, den verfügbaren Standraum zu optimieren. Dies bedeutet: geringe Baumzahlen in der Jugend, frühe Stammzahlabsenkungen und kontinuierlich fortgesetzte weitständige Erziehung der Z-Bäume.

Die Behandlung von Fichten des gleichaltrigen Waldes, die sich an kontinuierlicher individueller Standraumoptimierung orientiert, führt zu einer Wurzel Ausbildung, die auch im ungleichaltrigen Wald anzutreffen ist. In Fällen, in denen eine Überführung vom Waldbesitzer nicht angestrebt wird, stellen moderne Behandlungskonzepte des gleichaltrigen Waldes aus der Sicht der Wurzel Ausbildung des Einzelbaumes eine Alternative dar.

Sozial schwächere Bäume benötigen längere Zeiträume zur Anpassung an neue Standraumsituationen als sozial höhere Bäume. Inwieweit sozial niedriger stehende Bäume auch nach Anpassungen die Stabilität entnommener Exemplare der Kraft'schen Klassen I und II erreichen, sollte Gegenstand weiterer Forschung sein.