

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 155 (2004)
Heft: 6

Artikel: Waldnutzung und Jahrringe
Autor: Bräker, Otto U. / Rigling, Andreas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098109>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Waldnutzung und Jahrringe

OTTO U. BRÄKER und ANDREAS RIGLING

Keywords: Tree rings; forest yield; silviculture; growth; stand history. FDK 181 : 22 : 551 : 561.24

1. Einführung

Im Aufsatz betrachten wir das Ökosystem Wald mit seinen vielfältigen natürlichen Ressourcen als ein Areal, welches durch den Menschen gestaltet, bewirtschaftet und genutzt wird.

Bis zum letzten Jahrhundert hatten die aus heutiger Sicht als Nebenprodukte bezeichneten Güter wie Viehfutter und Streu oder Rindenprodukte, Produkte aus Wurzeln, Blättern, Nadeln, Zapfen, Blüten und Früchten und verschiedene Säfte der Waldbäume und Waldsträucher sowie Heilkräuter, Pilze und anderes eine wichtige Bedeutung (STUBER & BÜRGI 2002). Das Holz an und für sich stellt seit jeher eines der zentralen Güter der Wälder dar, obwohl es im Verlaufe der Zeit unterschiedlich nachgefragt und vielfältigsten Verwendungszwecken zugeführt wurde. In den vergangenen Jahrzehnten haben nun weitere Waldfunktionen wie Schutz vor Naturgefahren, Raum für Erholung, Sport, der Naturschutz oder die Landschaftsästhetik zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Die Produktion von Gütern und Leistungen des Waldes benötigt lange Zeiträume. Langsam gewachsenes, engringiges aber sehr druckfestes, hochwertiges Bauholz, ein stabiler Lawinen-Schutzwald oder ein multifunktionaler Erholungswald seien als Beispiele angeführt. Nur ein flexibles Waldmanagement und eine entsprechend vielfältige Produktpalette ist in der Lage, mit dem heutzutage raschen Wandel der Verbrauchermärkte mitzuhalten (ZINGG 2001). Dem Bewirtschafter stehen, je nach geografischer und standörtlicher Situation, je nach geschichtlicher Entwicklung der Waldareale und je nach infrastruktureller Möglichkeiten der Forstbetriebe verschiedene Konzepte der Waldbehandlung, d.h. Betriebsarten zur Verfügung, um die Ansprüche an den Wald umzusetzen. Diese lassen sich normalerweise nur im Verlauf von mehreren Jahrzehnten auf neue Bedürfnisse umstellen, ohne auf Kahlschlag und Neubeginn zurückzugreifen. Gebräuchliche Betriebsarten sind:

- Niederwaldbetrieb (z.B. Stockausschlagswald für Brennholzbedarf und schwache Sortimente),
- Mittelwaldbetrieb (zweischichtiger Wald mit Oberholz aus Kernwüchsen für Bau- und Möbelholz und Hauschicht aus Stockausschlag für Brennholz),
- Hochwaldbetrieb als ein- bis zweischichtiger Altersklassenwald (mit Ausleseebäumen für Bau- und Möbelholz und Haupt- und Nebenbestand für schwache Sortimente) oder als Plenterwald (stufiger, mehrschichtiger Bestand, Produktion aller Sortimente permanent).

Da die lang- bis mittelfristigen Nutzungsziele und die Nutzungsplanung der Bewirtschafter durch plötzliche natürliche oder menschlich verursachte Störungen umgestossen werden können, ist ein vertieftes ökologisches Verständnis der zu bewirtschaftenden Wälder ein wichtiger Bestandteil eines nachhaltigen und erfolgreichen Waldmanagements und muss bei der Wahl und der flexiblen Durchführung der Betriebsart als auch bei Anpassungen der waldbaulichen Strategien mitberücksichtigt werden. Doch gerade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten ist die Gefahr gross, bei der Erarbeitung ökologischer Hintergrundinformationen, welche kurzfristig die Er-

folgsbilanz nicht verbessern können, zu sparen. Das Ziel des vorliegenden Aufsatzes ist, die Jahrringforschung als ein wichtiges, effizientes und kostengünstiges Hilfsmittel für ein modernes Waldmanagement vorzustellen. Der Einsatz dendroökologischer Methoden, z.B. zur Überprüfung waldbaulicher Eingriffe, zur Identifizierung und Quantifizierung abiotischer und biotischer Einflussfaktoren und als Datengrundlage für walddwachstumskundliche und ökologische Modellierungen, soll anhand von Beispielen diskutiert werden.

2. Methoden

Für die Jahrringforschung im Rahmen der Waldnutzung eignen sich Bohrkernbeprobungen und Scheibenentnahmen. Besonders bei engringigem Wachstum sind Scheiben vorteilhaft, weil auskeilende oder fehlende Jahrringe (z.B. CHERUBINI *et al.* 2002) nur an Scheiben aufzufinden sind. Für Analysen der Durchmesserentwicklung hat sich die Entnahme auf Brusthöhe (1,3 m Stammhöhe) analog zur Referenzhöhe von Waldinventuren und Betriebsmodellen bewährt. Für die Ableitung von Höhenentwicklungen sind mehrere Scheiben verteilt in der Stammhöhe nötig (Abbildung 1).

2.1 Wachstumsstudien

Zielt die Untersuchung auf die Entwicklung des Hauptbestandes ab, werden nur die herrschenden Bäume beprobt. Sollen Fragen zur Bestandesdynamik untersucht werden, kann der Miteinbezug aller sozialer Klassen oder Entwicklungsstufen notwendig sein (Abbildung 2). Nadelhölzer und ringporige bis halbringporige Laubhölzer, welche gut differenzierte Jahrringstrukturen aufweisen, sind relativ einfach bearbeitbar. Zerstreutporige Laubhölzer wie z.B. Birke oder Ahorn erfor-

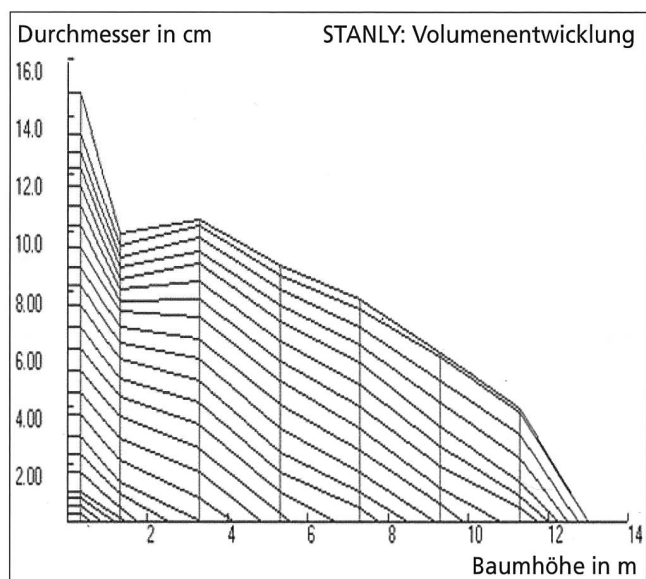


Abbildung 1: Stammanalyse mit Höhen-Durchmesserentwicklung einer bis 24-jährigen Fichte.

Programm Stanly © J. Nagel, NfV Göttingen, <http://www.nfv.gwdg.de>.

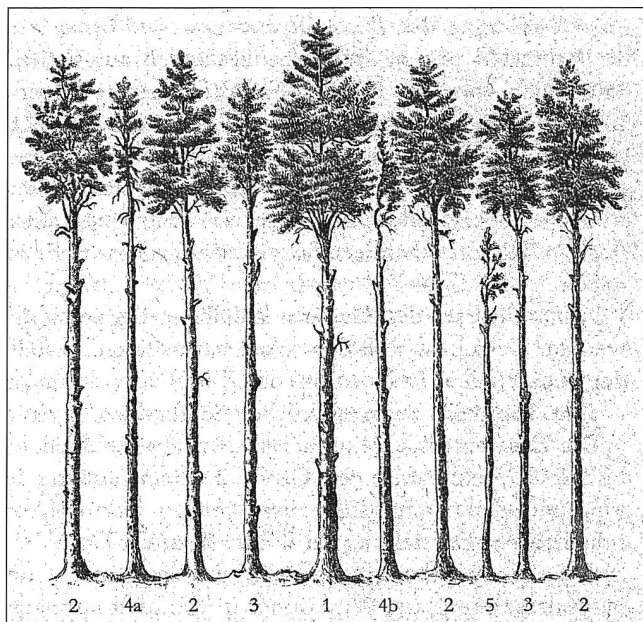


Abbildung 2: Baumklassen von KRAFT (1884), nach ASSMANN (1961, S. 83).

Dieser unterscheidet:

1. Vorherrschende Bäume mit ausnahmsweise kräftig entwickelten Kronen.
2. Herrschende, in der Regel den Hauptbestand bildende Bäume mit verhältnismässig gut entwickelten Kronen.
3. Gering mitherrschende Bäume mit noch ziemlich normalen, aber verhältnismässig schwach entwickelten und eingeengten Kronen.
4. Beherrschte Bäume mit mehr oder weniger verkümmerten, einseitig (fahnenförmig) entwickelten oder zwei- und mehrseitig zusammengedrückten Kronen;
 - a) zwischenständige, im Wesentlichen schirmfreie, meist eingeklemmte Kronen,
 - b) teilweise unterständige Kronen.
5. Ganz unterständige Bäume;
 - a) mit lebensfähigen Kronen,
 - b) mit absterbenden oder abgestorbenen Kronen.

dern meist eine zusätzliche Einfärbung des Holzes um Jahrringgrenzen besser sichtbar zu machen.

Das Probematerial kann je nach Fragestellung im Umfang variieren. Um bei waldwachstumkundlichen und ökologischen Problemen die Zuwachsmittelwerte zu schätzen und die Wachstumsvariabilität einzugrenzen, genügt als Datenbasis oft ein gutes Dutzend Individuen gleicher Art und Behandlung an einheitlichem Standort.

Zur Interpretation von räumlichen Mustern sind entsprechend geeignete Beprobungskonzepte mit Stichprobennetzen und eventuell Straten aufgrund der Höhenlage, der Klimaregion, der Standortsgüte und der Bewirtschaftungsintensität zu bilden. Geostatistische Studien haben für die Schweiz aufgezeigt, dass die Ähnlichkeiten der Wachstumsvariationen (Radialzuwachs auf BHD) durch Umwelteinflüsse mit zunehmender Distanz innerhalb einer Geländekammer bis zu 30 km zwischen Probeorten stetig abnehmen (TERRACONSULT 1988).

2.2 Experimente

Wachstumsprozesse bei unterschiedlichen Nutzungsstrategien werden durch Feldexperimente mit ausreichenden Wiederholungen der Versuchsflächen und Kontrollflächen geprüft. Der Wahl dieser Kontrollflächen ist dabei grösste Beachtung zu schenken: die Bestände müssen nicht nur bezüglich der herrschenden Standortsfaktoren, sondern auch in Bezug auf Art, Alter, Struktur und Bestandesgeschichte möglichst vergleichbar sein.

2.3 Langfristige Wachstumsprozesse

Mittel- bis langfristige Prozesse verlangen nach speziellen Methoden der Datenbearbeitung. Viele Effekte wie Alterung, Bewirtschaftung und kurzfristige Umwelteinwirkungen fliessen in die Zuwachsmuster ein, beeinflussen und verwischen sich gegenseitig. Daher sollte im Untersuchungsmaterial entweder eine breite Alters- und Behandlungsspreitung vorliegen oder nur mit stratifiziertem Material, z.B. einer einzigen Altersklasse, gearbeitet werden. Dadurch lassen sich verschiedene Effekte trennen und die Variabilität des Untersuchungsmaterials reduzieren. Ein stratifizierender Ansatz bedingt allerdings einen grossen Probenumfang, welcher oft nur schwer zu realisieren ist.

3. Resultate

Im bewirtschafteten Wald werden waldbauliche Einheiten als Bestände ausgeschieden. Ein Waldbestand zeichnet sich dadurch aus, dass er einheitlich ist in der Baumartenzusammensetzung bzw. Artenmischung, eventuell dem Alter und der Struktur und Textur. Die Bäume eines Bestandes sind eine Lebensgemeinschaft, mit Schutz gegen verschiedene Einwirkungen wie Wind und Transpirationsstress (Mikroklima, Verjüngungsgunst). Sie stehen aber in Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe. In der Jahrringanalyse sind die Beurteilung und Interpretation von Konkurrenzverhältnissen und Konkurrenzänderungen eine wichtige Grundlage zum Verständnis der Walddynamik.

Die Eingriffe durch die Bewirtschaftung verändern die natürlichen Nachbarschaftsbeziehungen der Bäume. Sie steuern die individuellen Wachstumsvorgänge entsprechend den waldbaulichen Zielsetzungen so, dass mittel- bis langfristig jene Waldstrukturen erreicht werden, welche unter anderem für Naturschutz, Schutz vor Naturgefahren, Pflanzenvielfalt, Wohlfahrt und für die vom Betrieb und Markt nachgefragten Holzrohprodukte notwendig sind.

Die natürlichen Wachstumsprozesse werden durch Waldinventuren periodisch kontrolliert, damit für nächste Planungsperioden korrigierende Massnahmen getroffen werden können. Diese periodischen Kontrollen eignen sich – neben Nutzungseingriffen – gleichzeitig dafür, mit geringem Aufwand entsprechendes Proben- und Datenmaterial für die Jahrringforschung zu sammeln. Daraus lassen sich die vergangenen Entwicklungsprozesse am Einzelbaum und im Bestand interpretieren.

Parallel zur Bewirtschaftung lösen auch natürliche Störungen eine ähnliche Wachstumsdynamik aus, daher sind gut dokumentierte Fallstudien der Waldnutzung zur Abgrenzung der verantwortlichen Einflussfaktoren nötig. Diese Voraussetzungen bieten waldwachstumkundliche Versuchsflächen, wie sie an der WSL seit gut 120 Jahren etabliert sind. Damit verfügt die Jahrringforschung über einen geeigneten, reichhaltigen Fundus, die bisherigen Strategien der Bewirtschaftung zu dokumentieren und deren Konsequenzen zu interpretieren. Daraus lassen sich aber auch neue Strategien ableiten oder entwickeln.

Die Jahrringforschung kann dem Bewirtschafter wichtige Informationen zu Höhen-, Durchmesser- und Volumenentwicklung der Bäume, allfällige datierbare Störeinflüsse und Vitalitätseinbrüche im Wachstum und deren mögliche Ursachen liefern. Damit erhält er wichtige Hinweise zur Korrektur seiner Bewirtschaftungsziele und -massnahmen. Auch durch die Bewirtschaftung ausgelöste Folgeaktionen können untersucht werden, z.B.

- Auswirkungen von neuen Steilrändern: beim Strassenbau, bei Verjüngungsschlitzten;

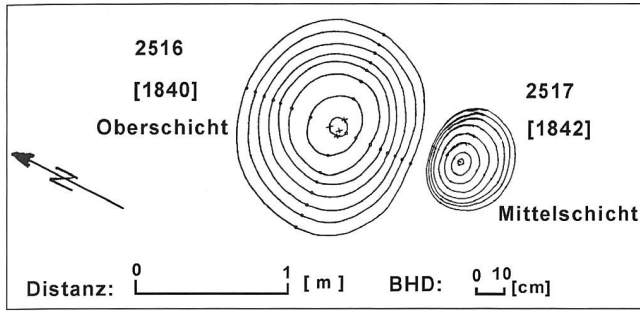


Abbildung 3: Entwicklung der Nachbarschaftsbeziehung von Fichten in Bödmeren SZ mit Radialzuwachsschichten von zehn Jahren.

Die zu Beginn noch konzentrisch angelegte Zuwachsschicht wird mit zunehmendem Konkurrenzdruck einseitiger ausgeformt.

- Qualitätsreaktion bei Aufastungen und Kronenschnitten;
- Auswirkungen von Düngereinsatz bei Nährstoffmangel;
- Auswirkungen von Klärschlamm und Holzasche-Recycling im Walde;
- Auswirkungen bei Änderungen des Grundwasserspiegels;
- Auswirkungen bei Bodenbelastungen durch Forstfahrzeuge;
- Förderung innerer Qualitätskriterien des Holzes für hochwertige Endprodukte: regelmässiger Jahrringbau, technische Holzigenschaften.

Weitere Interessen der Jahrringforschung

Das gleiche Datenmaterial eignet sich auch für klimatologische, ökologische und umweltrelevante Fragestellungen, zur Interpretation von kurzfristigen Störungen bis langfristigen Trends. In neuester Zeit waren insbesondere die Wachstumstrends im Hinblick auf die Waldschadensfrage, die Stoffeinträge (Nitrat, Säuren), die CO₂-Problematik und die Klimaerwärmung von Interesse. In einzelnen Regionen der Schweiz bilden Dürreperioden, Frost- und Kälteeinbrüche, Stürme, geomorphologische Prozesse, Schadinsekten und Phytopathogene, die Auswirkungen von Schadstoffen bei Inversionslagen und die Effekte durch nicht ionisierende Strahlung kurzfristige Störungen. Obwohl diese Effekte nicht durch die Waldnutzung verursacht sind, geben die Forschungsergebnisse für das Waldmanagement Hinweise zur Risikoabschätzung und Schadensminderung.

Aus Studien der letzten Jahrzehnte werden einige Beispiele herausgegriffen, um die Vielfalt der Forschungsansätze in Bezug zur Waldnutzung in der Schweiz aufzuzeigen.

3.1 Untersuchungen im gleichförmigen Hochwald

Konkurrenz im Reinbestand

Die vertikale Differenzierung der Individuen im Hochwald wird weitgehend gesteuert durch die Licht- und Platzverhältnisse im Kronen- und Wurzelraum. Durchforstungseingriffe schaffen für Ausleseebäume die Voraussetzungen für eine optimale Entwicklung. Undurchforstete Bestände zeigen mit zunehmendem Alter starken Konkurrenzdruck im Engstand, was bei einzelnen Bäumen zum Absterben führt (SCHÜTZ 1990; BIGLER & BUGMANN 2003).

Diesen Konkurrenzdruck belegen dendroökologische Studien von GABRIEL *et al.* (2001) im Naturwaldreservat Bödmeren im Kanton Schwyz (Abbildung 3). In jungen Jahren stehen die Jungbäume dicht, aber noch mit genügend Abstand zueinander. Sie entwickeln zuerst konzentrische Zuwachsschichten. Nach und nach mit zunehmendem Alter steigt der Konkurrenzdruck und es werden asymmetrische Zuwachszonen im Stammquerschnitt beim Engstand ausgebildet, die Exzentrizität der Markröhre steigt an.

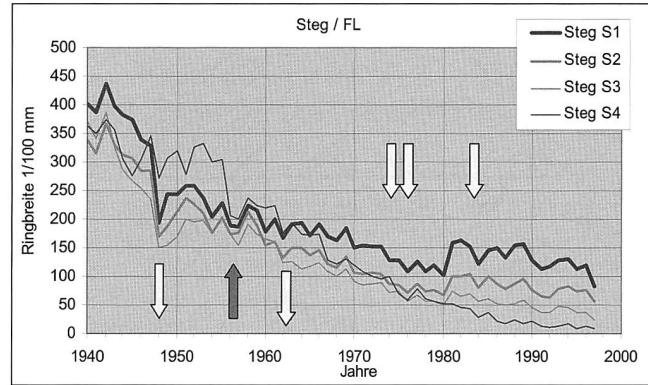


Abbildung 4: Radiale Zuwachsentwicklung auf Brusthöhe der vier sozialen Klassen.

S1 = dominant (n = 12), S2 = co-dominant (n = 13), S3 = mit-herrschend (n = 10) und S4 = unterdrückt (n = 3) im Fichtenbestand Steg FL. Pfeile markieren witterungsbedingte Wachstumseinbrüche: Pfeile nach unten = Sommertrockenheit, Pfeile nach oben = Spätfrost. Quelle: Bräker & Lässig, unpubliziert.

Auch eine WSL-Studie zur Gruppenplenterung in Steg im Fürstentum Liechtenstein (Abbildung 4) belegt die Differenzierungsvorgänge im Bestand durch Konkurrenz: Der Zuwachs variiert mit der sozialen Stellung der Individuen. Jahrringanalysen sind besonders geeignet, diese bestandesdynamischen Prozesse, ihre zeitliche Staffelung und mögliche Ursachen zu untersuchen (z.B. CHERUBINI *et al.* 1996).

Wachstumsprozesse und Witterung bei unterschiedlicher sozialer Stellung

Trotz sozialer Differenzierung und unterschiedlicher Vitalität der einzelnen Bäume können gemeinsam erlebte Witterungseinflüsse zu ähnlichen Wuchsreaktionen führen, was eine Studie von MEYER & BRÄKER (2001) sowohl im Mittelland als auch in den Alpen mit dominanten und unterdrückten Fichten belegt. Für diese Analyse wurden die Korrelationen zwischen einzelnen Monatswerten der Temperatur sowie des Niederschlags der Klimastation Bern-Liebefeld und den jährlichen Zuwachsdaten von Fichten bei Chanéaz im Kanton Waadt berechnet. Als Einflussgrößen wurden alle Monate zwischen November des Vorjahres und Oktober des laufenden Jahres berücksichtigt, als Zielgröße wurde das hochfrequente Muster der Jahrringbreite betrachtet. Zur Abschätzung von jahrübergreifenden Abhängigkeiten im Baumwachstum wurden bis fünf Jahre der Autokorrelation in den Berechnungen berücksichtigt. Die Korrelationsberechnungen erfolgten mit einem multiplen linearen Regressionsmodell mit «Bootstrap»-Möglichkeiten für die Zeitperiode 1910 bis 1989 (Programm Precon, Version 5.17, FRITTS 1999). Die mittleren Bootstrap-Regressionskoeffizienten sind in *Abbildung 5* dargestellt. Die Muster der signifikanten Einflussmonate für Temperatur- und Niederschlagskorrelationen sind trotz extrem unterschiedlicher sozialer Stellung sehr ähnlich: kühl-feuchte Bedingungen im Frühsommer, speziell Juni und auch kühler Spätsommer-Herbst fördern das Wachstum in Tieflagen.

Ebenfalls in der Studie Gruppenplenterung in *Abbildung 4* ist klar abzulesen: Bäume unterschiedlicher sozialer Position im Bestand reagieren unabhängig ihres Wuchsniveaus ähnlich auf gemeinsam erlebten Witterungsstress.

Wachstumsprozesse bei Freistellungen

Die plötzliche Freistellung von Einzelbäumen kann neben dem neuen Konkurrenzvorteil kurzfristige Anpassungsschwierigkeiten auslösen: neue Temperaturgradienten auf der besonnten Stammseite können zu Rindenschäden und eventuell Trockenstress führen. Sind Ast- und Kronenteile

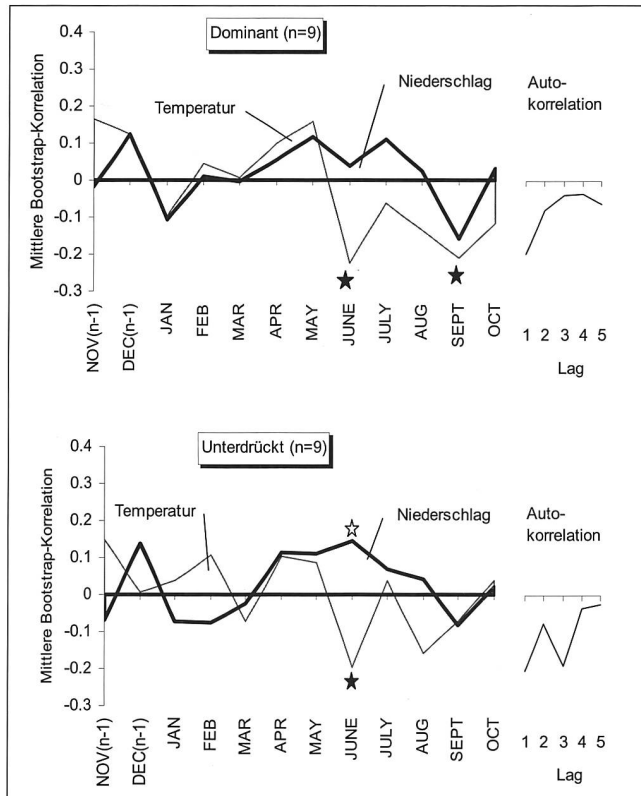


Abbildung 5: Modelle zur Klärung des Witterungseinflusses auf den Radialzuwachs von dominanten und unterdrückten Fichten bei Chanéaz VD.

Signifikante Bootstrap-Korrelationskoeffizienten im Juni und September während der Vegetationsperiode, markiert mit Sternen ($p < 0,05\%$), belegen bei beiden sozialen Gruppen ähnlich starke Effekte: kühl-feuchte Bedingungen im Frühsommer und kühler Herbst fördern das Wachstum. Das Modell «dominant» erklärt 34%, das Modell «unterdrückt» erklärt 21% der Zuwachsvarianz ($= r^2$).

neuen Windverhältnissen ausgesetzt, benötigen sie eine andere statische Absicherung im Wurzelraum. Der Ausbau der Krone aufgrund des Lichtgewinns benötigt eine entsprechende Wasser- und Nährstoffversorgung. Trotzdem sind Wuchsreaktionen auch auf wenig wüchsigen Standorten, z.B. im subalpinen Fichtenwald, durchaus noch in höherem Alter möglich, was die Baumholzstudie Lusiwald im Kanton Graubünden (Abbildung 6) von BRÄKER & BAUMANN (2002) belegt.

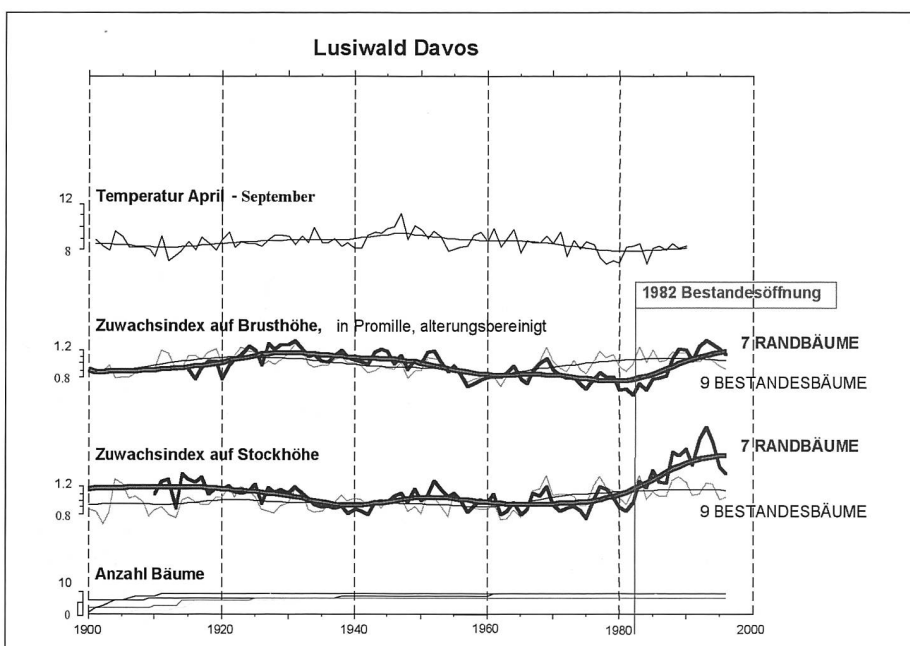


Abbildung 6: Wuchsreaktion in 1,30 m Höhe und am Stammfuss von Fichten am Bestandesrand und im Bestandesinnern (Kontrolle) im Lusiwald GR.

Die Kontrollbäume zeigen einen ausgeglicheneren Verlauf seit 1950 bis heute; die Randbäume weisen nach der Öffnung 1982 eine deutliche Zuwachssteigerung auf: auf Stockhöhe stärker als auf Brusthöhe, da offenbar in Wurzelhöhe grössere Anpassungen nötig waren. Der Verlauf der mittleren Temperaturen der Klimastation Davos in der Vegetationsperiode kann Ursache für die erhöhten Zuwachsleistungen vor 1950 sein.

Baumwachstum und Düngung

Der Einfluss der Nährstoffverfügbarkeit auf das Baumwachstum wurde wiederholt mittels Düngungsexperimenten untersucht. Sowohl die Studie von Joos (1997) in einem subalpinen Fichtenwald bei Alvaneu im Kanton Graubünden (Abbildung 7) als auch die Harwa-Studie der WSL (HALLENBARTER 2002), welche die Effekte von Holzasche-Recycling auf einen Buchen-Fichten-Mischbestand im Mittelland untersuchte, weisen auf wachstumsfördernde Effekte hin. Die Wuchsreaktionen variieren aber je nach Düngerform und Standortseigenschaften beträchtlich.

Langfristige Wachstumsprozesse

Kronenzustand und Kronenentwicklung beurteilt anhand von Nadel- und Blattmasse sind ein wichtiger Faktor für das Wachstumspotenzial. Mit den Jahringstudien aus dem Projekt Sanasilva (BRÄKER 1989) im Entnahmejahr 1984 (Abbildung 8) und der Nachfolgeuntersuchung 1992 (BRÄKER 1992) (Abbildung 9) konnte ein Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Zuwachsleistungen belegt werden: stärker verlichtete Kronen leisten weniger Zuwachs. Allerdings konnte trotz angestiegenen Verlichtungsgraden in den 80-Jahren kein genereller grossräumiger Zuwachsrückgang beobachtet werden, sondern eher bis 1991 eine langfristig leichte Zuwachszunahme bei Fichte und Tanne und auch bei Buche; offenbar wird die Vitalitätsabnahme bei geschwächten Bäumen durch umstehende Konkurrenten genutzt und im Mittel voll kompensiert.

3.2 Untersuchungen im Plenterwald oder bei plenterähnlichen Waldstrukturen

Kleinkollektive

Wie wichtig bei stufigen, dichten Beständen die gegenseitigen Abhängigkeiten im Kleinkollektiv für das Überleben und Absterben der Individuen sind, zeigt eine Studie im Naturwaldreservat Bödmeren, Kanton Schwyz (Abbildung 10). Der Sturm Vivian hatte 1990 ganze Baumgruppen, bestehend aus dominanten und unterdrückten Bäumen, geworfen. Im künstlich begründeten Gebirgswald ist daher die frühzeitige Ausformung einer guten Baumstabilität der bestandesbildenden Bäume vordringliche Aufgabe: zu dicht aufgewachsene Kollektive sollten zeitgerecht mit Durchforstungen und der Gruppenplenterung behandelt werden.

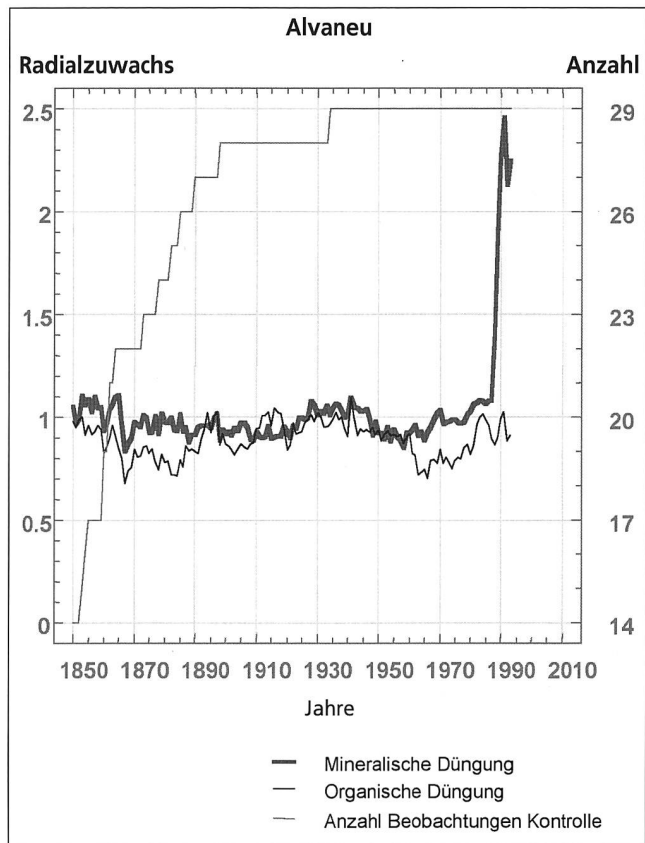


Abbildung 7: Relative Zuwachsreaktionen auf Brusthöhe von Fichten in Alvaneu GR nach Düngung im Vergleich zur Kontrolle (mit Indexwert 1).

Die mineralische Düngung 1986 bis 1988 wird unmittelbar von den Wurzeln umgesetzt und führt zu steilem Anstieg des Radialzuwachses, während der organische Dünger zuerst erschlossen werden muss und die Wirkung in der Studie bis 1993 noch nicht sichtbar wurde. Quelle: Joos 1997.

Waldflächen mit plenterähnlichen Strukturen eignen sich auch für den Vergleich und die Überprüfung von Leitkurven und Modellen der Waldwachstumskunde. Jahrringuntersuchungen und Stammanalysen liefern retrospektiv Werte für die Alters-, Höhen- und Durchmesserentwicklung. Mit Höhen- und Durchmessermessungen aus dem Naturwaldreservat Böd-

meren wurde eine angepasste Bestandeshöhenkurve berechnet und mit Literaturangaben nach INDERMÜHLE (1978) verglichen (Tabelle 1). Die Höhenkurve der Fichten im Bödmerenwald verläuft ähnlich wie in naturnah bewirtschafteten Gebirgsplenterwäldern (Abbildung 11). Obwohl die Anzahl Bäume klein ist, zeigt die erklärte Varianz von 95%, dass die Modell-Anpassung gut gelungen ist. Die mittlere Höhenstreuung der erfassten Bäume beträgt 1,8 m des Erwartungswertes im Modell, somit ist die tatsächliche Höhenentwicklung der Fichten im Bödmerenwald gut modelliert.

Urwaldforschung

Dendroökologische Analysen stellen oft die einzige Möglichkeit dar, retrospektiv die Wachstumsdynamik von Wäldern zu erforschen. Die Frage nach der Natürlichkeit oder den menschlichen Beeinflussungen von Beständen oder ganzer Waldgebiete kann unter Miteinbezug der Jahrringanalyse entscheidend präzisiert werden. Im Hinblick auf Renaturierungen und der Ausscheidung von Waldreservaten können somit die zu erwartenden Prozesse und notwendige Massnahmen präzisiert werden.

Bewirtschaftungswechsel

Am Beispiel eines ungleichaltrigen Mischwaldes in Basadingen im Kanton Thurgau wird der Effekt eines Bewirtschaftungswechsels von Niederwald- zu Hochwaldbetrieb auf das Baumwachstum demonstriert. Die Oberschicht setzt sich gegenwärtig aufgrund von Stärkeklassen und Grundflächenanteilen aus Fichte und Buche zusammen, Esche, Lärche, Bergahorn, Linde, Kirsche und Hagebuche sind beige mischt (BHD > 50 cm). In der Mittelschicht finden sich Buche, Fichte, Ahorn, Esche, Linde und Hagebuche (20 cm < BHD < 50 cm), während in der Unterschicht hauptsächlich Buche, mit wenig Fichte, Ahorn und Hagenbuche vorhanden sind (8 cm < DBH < 20 cm).

Der Einfluss des bestandesweiten Managements und der Wechsel vom Niederwaldbetrieb mit Überführung in einen stufigen Hochwald ist im Jahrringwachstum gut nachzuvollziehen (Abbildung 12, Pfeile nach unten). Gut sichtbar ist der Nutzungseingriff von 1899, welcher über einen gesteigerten Zuwachs zur Etablierung der Buche führte. Die Fichte konnte sich nur mit Mühe im Schatten des vorhergehenden Altbestandes entwickeln. Laut Managementunterlagen fand 1939

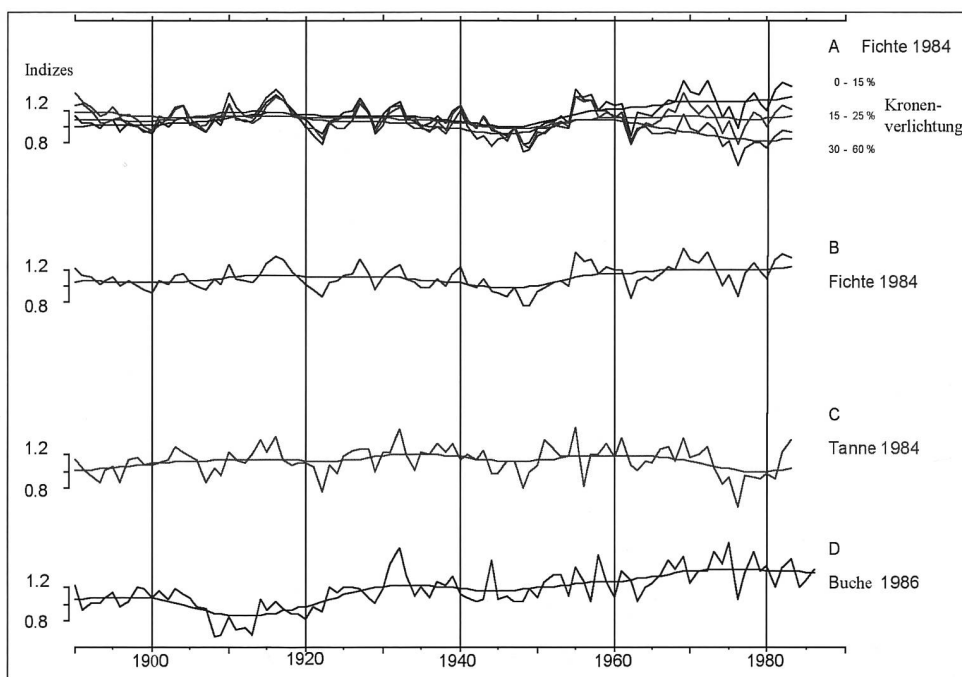


Abbildung 8: Relativer, altersbereinigter Radialzuwachs auf Brusthöhe von Fichten, Tannen im erschlossenen, öffentlichen Wald der Schweiz und von Buchen im Sihlwald ZH.

In der obersten Kurvenschar ist der Zusammenhang Kronenverlichtungsklasse und Zuwachseinbuße klar ersichtlich, die unteren drei Kurven zeigen relative, jährliche Zuwachsschwankungen und mittel- bis langfristige Trends (Glättungen) für Fichte und Tanne bis 1983, für Buche bis 1986. Für Buche und Fichte zeigt sich eine langfristige, allmähliche Steigerung des Zuwachses seit etwa 1950; die Tanne hat sich nach dem Zuwachseinbruch durch Trockenstress in den 70-er Jahren ab den Jahren 1982 wieder voll erholt, die Zuwachswerte liegen auf dem früherem Niveau in den 60-er Jahren. Quelle: BRÄKER 1992 und KONTIC *et al.* 1990.

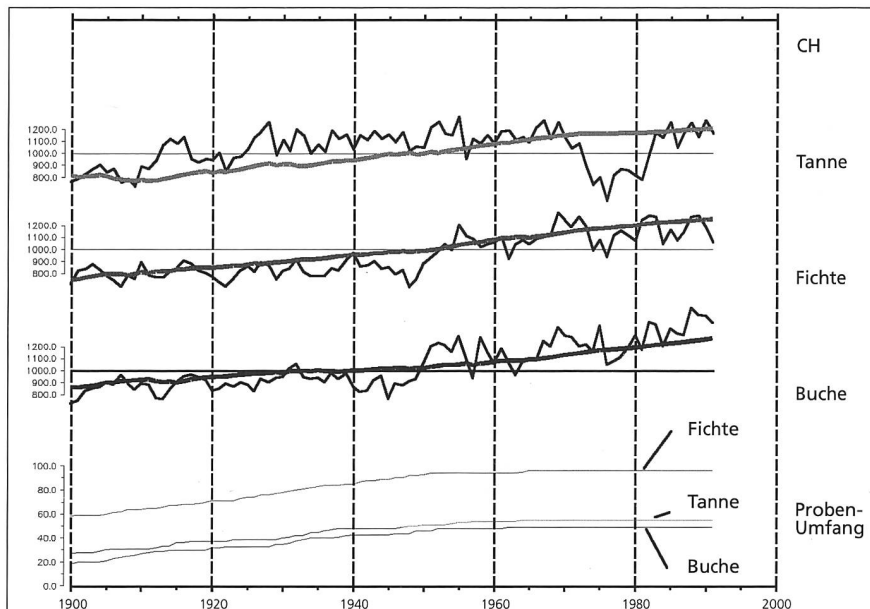


Abbildung 9: Relativer, altersbereinigter Radialzuwachs auf Brusthöhe von Fichten, Tannen und Buchen in einem 50 km breiten Transekt des Schweizer Waldes aus BRÄKER 1992.

In den oberen Kurvenscharen sind die Radialzuwachs- (dünne Linie) und Durchmesser-Abweichung (dicke Linie) vom Erwartungswert 100% (horizontale Linie) für die drei Arten dargestellt, die darunter liegenden Einzelkurven geben den Probenumfang wieder. Durch die Nachmessungen 1992 können die Entwicklungsprognosen zum Waldwachstum der früheren Studie von 1984 bestätigt und im Hinblick auf die parallele Entwicklung der Kronenverlichtungen besser beurteilt werden.

Tabelle 1: Baumhöhen-Modell mit nicht linearem Ansatz.

$$\text{Baumhöhe } h = d_{1,3}^2 / (a + b d_{1,3} + c d_{1,3}^2) + 1,3 \text{ m}$$

Bestimmtheitsmass bzw. erklärte Varianz = 95,93%

	Schätzer	Stand. Fehler
Koeffizient a	13,396	11,020
Koeffizient b	0,294	0,596
Koeffizient c	0,075	0,169
Anzahl Residuen	=	14
Residuales Mittel	=	-0,042
Varianz Stichprobe	=	3,474

eine starke Durchforstung statt, welche das Ende der Niederwaldbewirtschaftung bedeutete. Dieser Eingriff ist in den Wachstumsreaktionen der dominanten Fichten klar ersichtlich. Weitere, weniger starke Durchforstungen folgten später nach, was anhand der Wachstumsentwicklung der Fichten dokumentiert werden kann.

Die beiden Hauptbaumarten Fichte und Buche zeigen für diesen Bestand ein charakteristisches Bild: während die Schatten ertragende Buche auch unter geschlossenem Kronendach gedieh, benötigte die Fichte zum Überleben wesentlich mehr Licht.

Die Jahrringforschung ergänzt an diesem Beispiel den Kenntnisstand aus Aufzeichnungen in Wirtschaftsplänen und Informationen aus Waldinventuren. Wesentliche Aspekte der Bestandesgeschichte und artspezifische Entwicklungen und Interaktionen können rekonstruiert werden wie z.B. die genaue Datierung, Wirkungsdauer und Intensität waldbaulicher Eingriffe sowie der Einfluss biotischer (wie Insekten, Pathogene) und abiotischer Faktoren (wie Witterung, Brände) auf das Bestandeswachstum. Diese Informationen geben dem Bewirtschafteter zusätzliche, differenzierte Entscheidungsgrundlagen für die künftige Waldbehandlung, welche Inventuren, falls vorhanden, nicht in dieser Form liefern können. Die Jahrringforschung wird auch in Zukunft im Plenterwald-Dauerwaldprogramm der Waldwachstumsforschung der WSL wesentliche Dienste leisten.

3.3 Untersuchungen von Trends

Veränderungen von Nutzungsszenarien

Die Wirkungen von lokalen bis regionalen Änderungen der Landschafts- und Waldnutzung wurden bereits am Beispiel

Basadungen in *Abbildung 12* dokumentiert. Mit der Extensivierung forstlicher Aktivitäten und der Holzabsatzproblematik geht die Überalterung von Beständen einher. Studien wie jene von HEIRI (2002, *Abbildung 13*) belegen eindrücklich die Wachstumsunterschiede von verschiedenen alten Baumgenerationen in subalpinen Fichten-Lärchen-Mischbeständen im Raum Davos:

Nach Aufwuchs in ehemaligen Alpweiden oder nach Kahl-schlag etablierten sich ab 1870 wüchsige Kollektive. Spätere Waldweide und das wenig nachhaltige, unkoordinierte Nutzen in den dichter werdenden Beständen boten für die nächsten Generationen weniger günstige Verjüngungs- und Entwicklungsbedingungen (Lichtmangel, starke Konkurrenz) und somit vergleichsweise sich stetig verschlechternde Wachstumsbedingungen nach 1900 bzw. 1950.

Veränderungen von Holzeigenschaften

Im Zusammenhang mit Wechseln der Betriebsart, der Nutzungsintensität und den veränderten Umweltbedingungen stellt sich neuerdings auch die Frage nach den Auswirkungen auf die Holzeigenschaften, insbesondere nachdem SPIECKER *et al.* (1996) für Mitteleuropa weiträumig gesteigertes Wachstum dokumentiert haben. Eine Abklärung mit frühen Holz-dichtemessungen aus dem nordhemisphärischen Proben-netz von SCHWEINGRUBER (1991) zeigt hingegen für die altersbereinigten Schätzer der mittleren Holzdicke im Jahrring keine

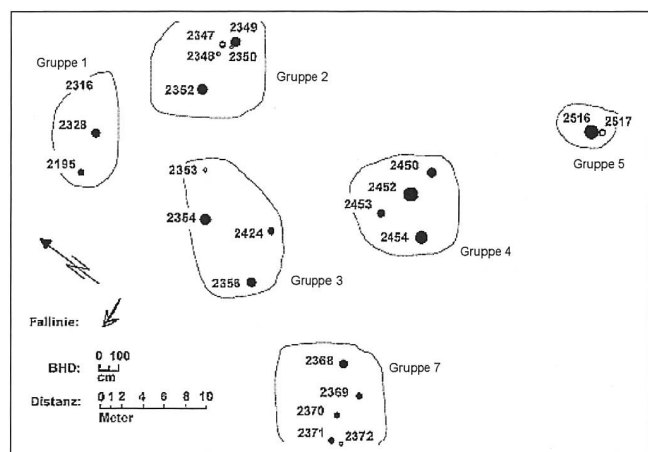


Abbildung 10: Räumliche Nachbarschaftsbeziehungen von Baumgruppen im Naturwaldreservat Böldmeren SZ.

Baumnummer, Durchmesserklassen und Distanzverhältnisse. Quelle: GABRIEL *et al.* 2001.

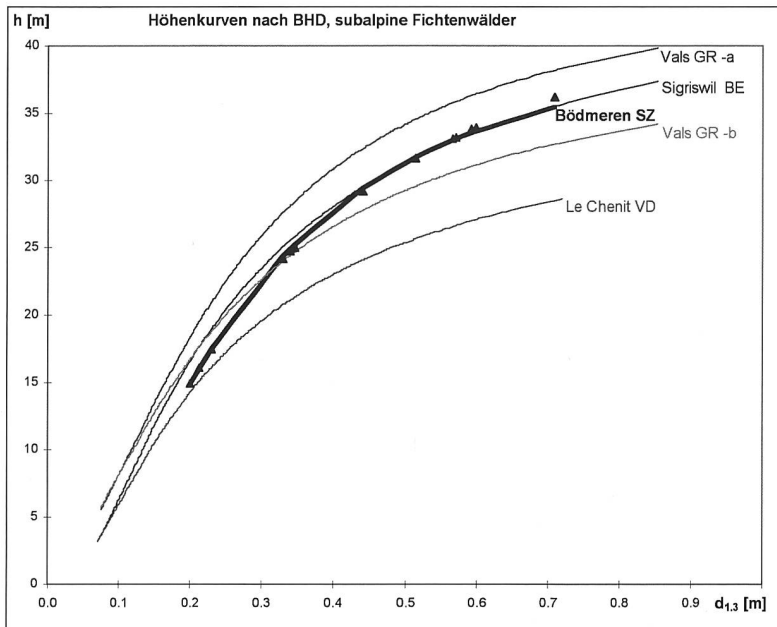


Abbildung 11: Beziehungen zwischen Baumhöhen h und Brusthöhendurchmesser $d_{1,3}$ von Fichten im Naturwaldreservat Bödmeren SZ.

Baumhöhen (Dreieckssymbole) und mit angepasstem, nicht linearem Modell berechnete Höhenkurve nach Funktionen von PRODAN 1965 (in schwarz). Zum Vergleich wurden die Standorte Sigriswil BE und Le Chenit VD der Waldwachstumskunde WSL sowie die Flächen von Vals GR aus der Arbeit von INDERMÜHLE 1978 beigezogen. Kurve Vals-a stammt von Beständen mit höherem Starkholzanteil und Vorrat als Kurve Vals-b. Quelle: GABRIEL *et al.* 2001.

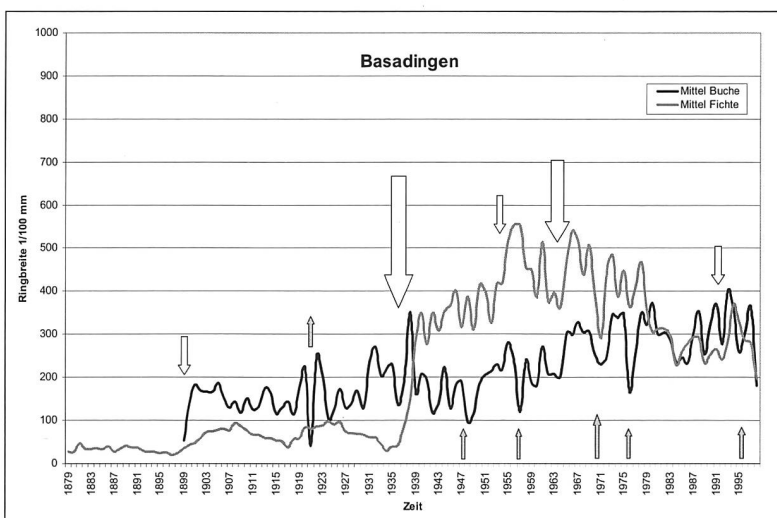


Abbildung 12: Zuwachsleistungen anhand von Stammscheiben in Basadingen TG.

Baumarten sind Buche (schwarz), Fichte (grau). Pfeile nach oben markieren Wachstumseinbrüche durch Witterungsungunst, d.h. in der Vegetationszeit Trockenheit 1921/23, (1934), 1947/49, (1952, 1959, 1964, 1967/69, 1971/73), 1974/76, (1983, 1989, 1992 and 1996ff.) oder Kälteperioden (1912 bis 1916, 1939, 1956/57, 1972, (1978ff., 1984), 1996 (Jahre in Klammern sind nicht markiert). Pfeile nach unten markieren bestandeseitige Managementeinflüsse. Quelle: FONTI *et al.* 2002, unpubliziert.

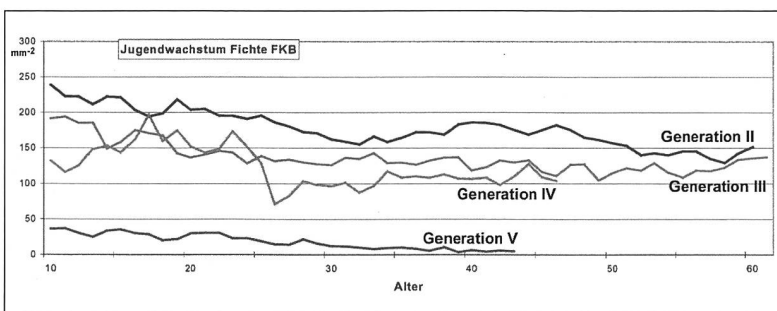


Abbildung 13: Mittlere Jahringbreiten im Jugendwachstum von Fichte verschiedener Generationen in der Fläche B, Frauenkirch bei Davos GR.

Generation II mit Keimung 1870 bis 1900, Generation III mit Keimung 1900 bis 1950, Generation IV und V mit Keimung nach 1950, wobei Generation IV Subset mit Baumhöhen über 1,3 m. Jüngere Generationen wachsen infolge weniger günstiger Verjüngungsbedingungen und dichter Bestände weniger gut als frühere Generationen.

wesentlichen Veränderungen seit 1900. Die relative jährliche radiale Holzproduktion fluktuierte allerdings im betrachteten Zeitraum stark (Abbildung 14). Für Skandinavien zeigt sich eine eventuell temperaturbedingte Steigerung in den 1920er und 40er Jahren. Für das Schweizer Mittelland ist eine Zunahme nach 1950 zu beobachten. Wird der Zeitraum für die Interpretation allerdings bereits ab 1700 betrachtet, ergeben sich etwas andere Schwerpunkte. Die mittleren Dichten haben seit 1700 bis Mitte des 18. Jahrhunderts bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts abgenommen, während die radiale Holzproduktion gegenüber dem 17. Jahrhundert stark zugelegt hat (Abbildung 15). Diese Steigerung des Holzzuwachses könnte mit einer Erholung des Nährstoffspeichers der Waldböden als Folge veränderter Landnutzungen (Rückgang Kahlschlagwirtschaft, Waldweide, Laubnutzung) und vermehrten Belassens des organischen Materials im Wald (nur noch Stammnutzung, redu-

zierte Kronen-, Ast- und Streunutzung) zusammenhängen. Auch die Temperaturerhöhung, der CO_2 -Anstieg oder die Stickstoffdüngung durch die Luft können als Hypothesen dafür beigezogen werden (KÖHL 1996; ZINGG 1996; BRÄKER 1996). Das Erforschen dieser Einflüsse durch langfristige Umweltveränderungen ist gegenwärtig ein wichtiges Arbeitsgebiet des WSL-Dendronetzwerkes (ESPER *et al.* 2002).

4. Fazit

Im Hinblick auf die Jahringforschung werden jene Forschungsaspekte behandelt, welche die Beziehungen und Verknüpfungen zwischen menschlichen Aktivitäten und dem Wald untersuchen. Im Vordergrund stehen damit vor allem die direkten Einwirkungen des Bewirtschafters auf das Baum- und Bestandeswachstum. Die Jahringforschung untersucht

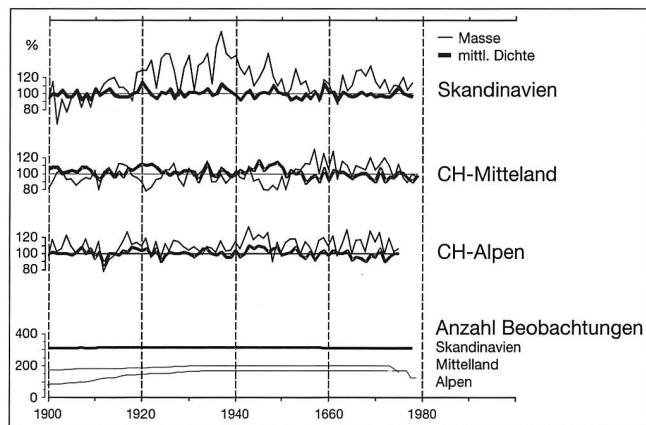


Abbildung 14: Entwicklung des relativen radialen Holzmassezuwachses (feine Linie) und der relativen mittleren Holzdichte (fett) seit 1900 anhand von Dichteprofilen aus Skandinavien, dem Schweizer Mittelland und den Alpen für Fichten (jeweils mehrere Standorte gemittelt). Quelle: BRÄKER 2001.

mit diesem Ansatz einerseits die Wachstumsprozesse rückblickend über die ganze bisherige Lebensdauer der Bäume. Sie gelangt zu Aussagen zum Zeitpunkt, zur Dauer und zur Stärke der Bewirtschaftungseinwirkungen und bewertet deren Folgen und Konsequenzen. Andererseits interpretiert die Jahrringforschung die vorgefundenen Wachstumsmuster im Hinblick auf anthropogene Ursachen und leitet künftige Waldentwicklungen und mögliche alternative Szenarien ab. Somit trägt sie dazu bei, Bewirtschaftungs- und Nutzungskonzepte zu optimieren oder neu zu entwickeln.

Wachstumskundliche Untersuchungen konzentrierten sich lange auf einfache Betriebssysteme mit Reinbeständen. Gegenwärtig sind naturnah gestaltete Mischbestände das Ziel vieler Waldbaustrategien. Zwar sind einige Simulationsmodelle dank rasch gesteigerten EDV-Möglichkeiten bereits für solche Bestände implementiert, oft fehlt aber noch die genügende, wissenschaftliche Datenbasis zu Wachstums- und Entwicklungsprozessen. Hier bietet die Jahrringforschung die geeignete Lösung, ohne langwierige, neue Experimente Modelle zu verbessern. Moderne Waldbehandlungen, wie Extensivierung der Pflegemassnahmen, Minimalpflegekonzepte, Verjüngungsstrategien nach Sturmschäden können so auf ihre Wirkungen untersucht werden. Künftige Waldbaukonzepte verlangen jedoch neue Experimente und eine stetige Kontrolle der tatsächlich ablaufenden Wachstumsprozesse.

Da diese Prozesse vor allem in höheren Lagen und bei schlechter Standortgüte sehr langsam ablaufen, ist ein langer Atem in der Forschung und bei Experimenten gefragt, was den aktuellen Absichten des Forschungsmanagements und den raschen Wechseln der Themen und Führungspersonen zuwiderläuft. Schon Burger monierte im Jahr 1928 einen ähnlichen Zwiespalt (BURGER 1928): «Die Forstwissenschaft ist gerade aus dem Grunde anderen Wissenschaften gegenüber so stark zurückgeblieben, weil man immer nach praktischen Versuchen ruft und infolgedessen rein wissenschaftliche Forschungen oft duldet, oft direkt unterdrückt, selten aber unterstützt und fördert. (...) [So genannte praktische Versuche sind aber nie in der Lage, für die Wissenschaft exakte Grundlagen zu liefern, während jede tüchtige rein wissenschaftliche Arbeit über kurz oder lang wertvolle Ausblicke für die Praxis schafft.] (...) Wenn man sich in der forstlichen Literatur umsieht, so findet man fast immer, dass meist nur jene Werke dauernden Wert besitzen, die von den Zeitgenossen als graue Theorie bezeichnet worden sind».

Will die forstliche Praxis ihre Strategien jedoch auf fundiertes Wissen abstellen, führt wohl kein anderer Weg zum Ziel, als die permanente Überprüfung natürlicher und anthro-

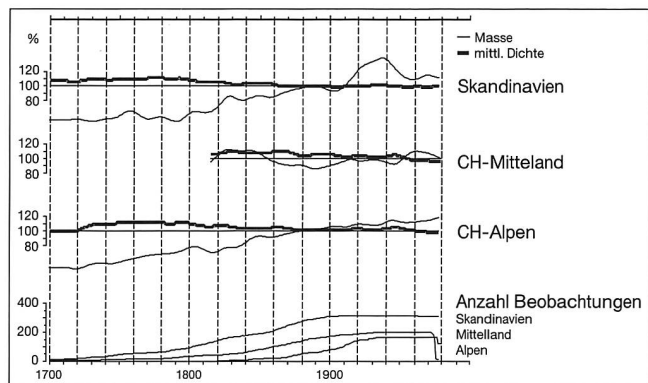


Abbildung 15: Entwicklung des relativen radialen Holzmassezuwachses (feine Linie) und der relativen mittleren Holzdichte (fett) 1700 bis 1979 anhand von Dichteprofilen aus Skandinavien, dem Schweizer Mittelland und den Alpen für Fichten (jeweils mehrere Standorte gemittelt). Quelle: BRÄKER 2001.

pogener Prozesse im Wald, die Interpretation vergangener Geschichte zur gesicherten Voraussage künftiger Entwicklungen. Die Jahrringforschung will dazu neben Landschafts- und Waldinventuren einen wichtigen Beitrag leisten.

Zusammenfassung

Die Arbeiten der Jahrringforschung an der WSL werden in Bezug zur Waldnutzung in Theorie und Praxis dargestellt. Insbesondere werden die Wirkungen durch die Bewirtschaftung und andere durch den Menschen indirekt verursachte Effekte auf das Baum- und Bestandeswachstum mit Beispielen aus einer Vielfalt von Untersuchungen und Experimenten aufgezeigt. Bedeutungsvolle Bewirtschaftungseffekte sind die gezielte Beeinflussung der Baumkonkurrenz, der Bestandesstruktur und der Bestandesdynamik. Konkurrenzdruck im dichten Schluss des gleichförmigen Hochwaldes sowie kurzfristige Wuchsreaktionen nach Durchforstungen und Freistellungen werden neben Witterungseinflüssen und pathogenen Schädigungen an Jahrringen klar erkannt. Mittel- bis langfristige Änderungen im Wachstum der Bäume und Bestände belegen Anpassungen der Nutzungskonzepte, Veränderungen im Wasser- und Nährstoffkreislauf oder die Dynamik von anthropogenen Umwelteinflüssen wie Immissionen und Deposition. Sie geben damit dem Bewirtschafteter Hinweise auf den aktuellen Entwicklungszustand der Bestände und die Planung künftig notwendiger Massnahmen. Die Resultate belegen die Bedeutung der Jahrringforschung unter anderem als Kontrollinstrument walddynamischer Prozesse und als Werkzeug zur detaillierten Wirkungsanalyse für den Bewirtschafteter.

Summary

Forest use and tree-rings

The present work describes tree-ring research related to the theory and practice of forest use carried out at the Swiss Federal Research Institute WSL. The effects of silvicultural practices and other, more indirect, human influence on tree and stand growth are demonstrated using a variety of examples from experiments and studies. Major timber harvestings significantly influence tree competition, stand structure and stand dynamics. Competition pressure in dense closed forests of uniform heights, short-term growth reactions from thinning and release, as well as weather and disease are easily recognizable. Medium to long-term changes in tree and stand growth reflect shifts in forest use, changes in water and nutrient cycles, or dynamics from anthropogenic emissions and depositions. These exam-

ples are chosen to illustrate the effects of cultivation on current forest development and to assist the planning of future management practices. The results demonstrate the importance of tree-ring research to understand forest-dynamic processes and as a tool to develop forest management strategies.

Translation: DAVID FRANK

Résumé

Exploitation de la forêt et cernes annuels

Cet article présente les travaux de dendrochronologie réalisés au WSL et leur utilité théorique et pratique dans l'exploitation des forêts. Il montre notamment les conséquences de la gestion et les effets indirects des activités humaines sur l'accroissement de l'arbre et du peuplement à l'aide d'exemples de diverses études et expérimentations. L'une des grandes tâches de la gestion des forêts consiste à influencer judicieusement la concurrence végétale ainsi que la structure et le dynamisme du peuplement. Les cernes annuels mettent en lumière l'impact exercé par la concurrence des houppiers serrés dans la futaie régulière. Ils expriment aussi les réactions à court terme des arbres dans leur croissance après des éclaircies et des coupes de dégagement. Les cernes reflètent également les influences climatiques et les dommages consécutifs à l'action des pathogènes. Les changements à moyen et à long termes de l'accroissement des arbres et des peuplements expriment les adaptations apportées aux modes d'exploitation, les modifications des flux biogéochimiques ou la dynamique des influences environnementales anthropogènes, comme les dépôts atmosphériques. Ils fournissent aussi au gestionnaire des indications sur le développement présent des peuplements et l'éclaircissent sur la planification future des mesures nécessaires. Les résultats montrent toute l'importance de la dendrochronologie, notamment dans son rôle d'instrument de contrôle de la dynamique des forêts et d'outil de suivi à l'intention du gestionnaire.

Traduction: MONIQUE DOUSSE

Literatur

- ASSMANN, E. 1961: Waldertragskunde. BLV, München, Bonn, Wien, 490 S.
- BIGLER, C.; BUGMANN, H. 2003: Growth-dependent tree mortality models based on tree rings. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 210–221.
- BRÄKER, O.U. 2001: Wood mass and density – a still unused dendroresource for the carbon cycle discussion. In: Kaennel Dobbertin M., Bräker O.U. (eds.): International Conference Tree Rings and People. Davos, 22–26 September 2001, Abstracts. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL.
- BRÄKER, O.U. 1996: Growth trends of Swiss forests: Tree-ring data. Case study Toppwald. In: Spiecker *et al.* 1996: 199–217.
- BRÄKER, O.U. 1992: Erkenntnisse aus Zuwachsuntersuchungen. Forum für Wissen 1992, Waldschadenforschung in der Schweiz: Stand der Kenntnisse, WSL, Birmensdorf: 55–58.
- BRÄKER, O.U. 1989: Ergebnisse zum Baumwachstum aufgrund von Jahrringanalysen an Bohrkernen aus der Sanasilva-Waldschadeninventur 1984. In: Waldwachstum und Waldschäden, Sanasilva-Tagungsbericht, Birmensdorf: 32–40.
- BRÄKER, O.U.; BAUMANN, E. 2002: Gebirgsfichten. Zuwachsreaktionen nach einseitiger Freistellung. *Wald und Holz* 83, 8: 24.
- BURGER, H. 1928: Reine und gemischte Bestände. *Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen* 60: 100–108.
- CHERUBINI, P.; FONTANA, G.; RIGLING, D.; DOBBERTIN, M.; BRANG, P.; INNES, J.L. 2002: Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. *Journal of Ecology* 90: 839–850.
- CHERUBINI, P.; PIUSSI, P.; SCHWEINGRUBER, F.H. 1996: Spatiotemporal growth dynamics and disturbances in a sub-alpine spruce forest in the Alps: a dendroecological reconstruction. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 991–1001.
- ESPER, J.; COOK, E.R.; SCHWEINGRUBER, F.H. 2002: Low-Frequency Signals in Long Tree-Ring Chronologies for Reconstructing Past Temperature Variability. *Science* 295: 2250–2253.
- FONTI, P.; BRAEKER, O.U.; ZINGG, A. 2002: Dynamic reconstruction of an uneven-aged beech-spruce stand using dendrochronological and inventory data. Poster at the 6th International Conference on Dendrochronology, Dendrochronology, Environmental Change and Human History, Québec City, August 22nd–27th 2002.
- GABRIEL, J.; BRÄKER, O.U.; MATTER, J.-F. 2001: Altersstruktur und Wachstum anhand geworfener Bäume auf einer Windwurffläche im Waldreservat Bödmeren. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 152, 2: 61–70.
- HALLENBARTER, D. 2002: Optimale Ernährung und Holzasche-Recycling im Wald: Untersuchungen und Wirkungszusammenhänge in Bezug auf die Ausbringung von Nährstoffen im Wald. Diss. Nr. 14502, ETH Zürich, Zürich, 92 S.
- HEIRI, C. 2002: Dynamik und Wachstum von Lärchen-Fichtenbeständen entlang eines Höhengradienten in Davos. Diplomarbeit, Fachbereich Gebirgswaldökologie, ETH Zürich, 75 S.
- JOOS, K.A. 1997: Ionengehalt und elektrische Leitfähigkeit im Splintholz, Zuwachsleistung und Nadelverlust bei Fichte unter Berücksichtigung ihrer Nährstoffversorgung. *Wissenschaftliche Berichte der Professur Holzwissenschaften ETHZ Nr. 1*, 217 S.
- INDERMÜHLE, M.P. 1978: Struktur, Alters- und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichte-Plenterwald der subalpinen Stufe. Dissertation, ETH Zürich, Bühler Druck AG, Zürich, 98 S.
- KRAFT, G. 1884: Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben, Hannover.
- KÖHL, M. 1996: Growth Patterns in Forests of the Canton of Berne, Switzerland, Based on Inventory Data. In: Spiecker *et al.* 1996: 219–237.
- KONTIC, R.; BRÄKER, O.U.; NIZON, V.; MÜLLER, R. 1990: Jahrringanalytische Untersuchungen im Sihlwald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 141, 1: 55–76.
- MEYER, F.D.; BRÄKER, O.U. 2001: Climate response in dominant and suppressed spruce trees, *Picea abies* (L.) Karst., on a subalpine and lower montane site in Switzerland. *Ecoscience* 8, 1: 105–114.
- PRODAN, M. 1965: Holzmesslehre. Sauerländer, Frankfurt a. M.
- SCHWEINGRUBER, F.H.; BRIFFA, K.R.; JONES, P.D. 1991: Yearly Maps of Summer Temperatures in Western Europe from A.D. 1750 to 1975 and Western North America from 1600 to 1982. Results of a Radiodensitometrical Study on Tree Rings. *Vegetatio* 92, 1: 5–71.
- SCHÜTZ, J.-P. 1990: Sylviculture 1. Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne, 254 S.
- SPIECKER, H.; MIELIKÄINEN, K.; KÖHL, M.; SKOVSGAARD, J.P. (eds.) 1996: Growth trends in European forests. *European Forest Institute Research Report No. 5.*, Springer, Berlin u.a., 372 pp.
- STUBER, M.; BÜRGI, M. 2002: Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800–1950. Nadel- und Laubstreue. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 153, 10: 397–410.
- TERRACONSULT [Vinzenz, M., Wurzer, F.] 1988: Sanasilva Bohrkerndaten, Endbericht. Interner Bericht WSL, Birmensdorf.
- ZINGG, A. 2001: Waldbewirtschaftung: Umgang mit der Vergangenheit – für die Zukunft. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 152, 5: 177–182.
- ZINGG, A. 1996: Diameter and Basal Area Increment in Permanent Growth and Yield Plots in Switzerland. In: Spiecker *et al.* 1996: 239–265.

Dank

Der Aufsatz konnte nur dank vielfältigen Beiträgen von Fachpersonen der Jahrringforschung zusammengestellt werden. Für Beiträge zu den Forschungsergebnissen danke ich Ernst Baumann, Josef Gabriel, Holger Gärtner, Caroline Heiri, Katrin Joos, Fabian Meyer, Patrick Fonti, Andreas Zingg. Die Arbeit gewann dank den kollegialen Reviews von Peter Brang, Paolo Cherubini und Andreas Zingg.

Autoren

Dr. OTTO ULRICH BRÄKER (Geografie), dipl. Forsting. ETHZ,
Dr. ANDREAS RIGLING (Botanik), dipl. Forsting. ETHZ, Eidg.
Forschungsanstalt WSL, Birmensdorferstrasse 111, CH-8903
Birmensdorf, E-Mail: braeker@wsl.ch, andreas.rigling@wsl.ch.