

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	142 (1991)
Heft:	8
Artikel:	Die Vitalitätseinschätzung von Fichten im Spannungsfeld zwischen Ernährung, Zuwachs und Nadelverlust
Autor:	Joos, Katrin / Stark, Martin
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-766500

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: 13.01.2026

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

Die Vitalitätseinschätzung von Fichten im Spannungsfeld zwischen Ernährung, Zuwachs und Nadelverlust

Ergebnisse aus dem NFP14+ «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz»

Von *Katrin Joos* und *Martin Stark*

FDK: 161:174.7 Picea: 48:56:(494)

1. Einführung

Die nachfolgend vorgestellten Untersuchungen sind Teil des Nationalen Forschungsprogrammes «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz», das zwischen 1983 und 1989 durchgeführt wurde. Die schweizerischen Forstregionen Mittelland, Voralpen und Alpen sind je durch eine Beobachtungsfläche an der Lägeren (AG), im Alptal (SZ) und in Davos (GR) vertreten. Durch diese Standortwahl werden nicht nur verschiedene Höhenstufen, sondern auch Orte mit unterschiedlich starken Immissionen durch Luftschaadstoffe berücksichtigt (*F. H. Schwarzenbach*, 1991). Im weiteren unterscheiden sich die Beobachtungsflächen im geologischen Untergrund und Bodentyp sowie in der Bestandesstruktur und -zusammensetzung (*Tabelle 1*).

An den untersuchten Standorten bildet die Fichte (*Picea abies* Karst.) zusammen mit ihrer abiotischen und biotischen Umgebung spezifische Ökosysteme, weshalb der Übertragbarkeit einzelner Untersuchungsergebnisse von einer Beobachtungsfläche auf andere enge Grenzen gesetzt sind. Eine Verallgemeinerung bestimmter Rückschlüsse erweist sich nicht zuletzt deshalb als äusserst schwierig. Angesichts dieser Problematik soll der Nadelverlust, der in der Waldschadenbeurteilung als häufigster und vielfach als einziger Zustandsparameter zur Anwendung gelangt, in Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung und dem Wachstumsverhalten der Bäume eingehend beleuchtet werden.

Den einzelnen Fachgruppen wird für den kooperativen Informationsaustausch gedankt. Detaillierte Ausführungen über das gesamte Forschungsprogramm finden sich in *M. Stark*, 1991, *E. Schüpbach*, 1991, und *W. Pankow*, 1991.

<u>Lägeren</u> (Mittelland)	<u>Alptal</u> (Voralpen)	<u>Davos</u> (Alpen)
<u>Bestand</u>		
Zusammensetzung: Fichten- Tannenwald vereinzelt Buche, Ahorn	Fichtenwald mit 10-15% Weisstanne	Fichte
Pflanzensoziologie: <i>Galio odoratio-Fagetum typicum</i> bis <i>Pulmonario-Fagetum typicum</i>	<i>Veronico urticifoliae-Piceetum</i> bis <i>Sphagno-Piceetum typicum</i>	<i>Larici-Piceetum</i>
Alter: Fichte: 100 - 150 Jahre Buche: rund 130 Jahre	Fichte: 120 - 250 Jahre	Fichte: 120 - 370 Jahre
<u>Örtlichkeit</u>		
Höhe: 685 m ü.M.	1185 m ü.M.	1660 m ü.M.
Exposition: Südabhang	Westabhang	NW-exponiertes Haupttal, variables Mikrorelief
<u>Meteorologie und Lufthygiene</u> (Jahresmittel 1987 / 1988 / 1989):		
Temperatur: 7.2°C / 8.3°C / 8.5°C	5.7°C / 6.7°C / 7.1°C	2.9°C / 3.8°C / 4.2°C
Niederschlag: 1084mm / 1017mm / 866mm	2600mm / 2300mm / 2150mm	986mm / 809mm / 671mm
Schadstoffe: (in µg/m³ umgerechnet mit den durchschnittlichen Stationsbedingungen)		
O ₃ : 52 / 58 / 61	69 / 72 / 76	64 / 65 / 63
NO ₂ : 24 / 22 / 22	6 / 7 / 6	5 / 5 / 4
NO: 3 / 2 / 2	1 / 1 / 1	4 / 3 / 3
SO ₂ : 14 / 7 / 6	4 / 3 / 2	<0.5 / <0.5 / <0.5
<u>Boden</u>		
Ausgangsgestein: Untere Süßwassermolasse	Wäggitaler Flysch (Mergel- und Tonschiefer)	Kristallin der Silvrettadecke
Humus: Braunerden/Parabraunerden Pararendzinen	Hanggley	Podsol
pH-Wert im Boden: 4.5 - 7.5	3.6 - 5.4	3.5 - 4.5

Tabelle 1. Vergleich der Beobachtungsflächen Lägeren, Alptal und Davos.

2. Ernährungssituation

2.1 Einleitung

Der Ernährungszustand eines Baumes kann mittels chemischer Analysen von Nadeln bzw. Blättern hinsichtlich einzelner Elemente (Makro-/Mikro-NährElemente, Schadelemente) differenziert erfasst werden (*Anonymous*, 1987; *H. J. Fiedler et al.*, 1973). Bei Koniferen werden mit Vorteil verschiedene Nadeljahrgänge berücksichtigt, da der Alterungsprozess der Nadeln eine Verringerung ihrer Stoffwechselaktivität und demzufolge auch gewisser Nährstoffbedürfnisse bewirkt. Herrscht eine knappe Versorgungssituation vor, kann bei Fichten eine verstärkte Umverlagerung der phloemgängigen NährElemente von älteren in die jüngsten Nadeln stattfinden. Dieser Prozess tritt vor allem bei den Makro-NährElementen Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium auf. Die beiden Elemente Calcium und Mangan hingegen werden bei ausreichendem Angebot in älteren Nadeln akkumuliert, während ein Ausbleiben dieser Anreicherung mit zunehmendem Alter knappe Versorgung signalisiert. Rückschlüsse über die Umlagerungsaktivität eröffnen sich aus dem Elementgradienten zwischen Nadeln unterschiedlichen Alters. Für halbjährige Fichtennadeln sind entsprechende Referenzwerte bekannt, weshalb die Einschätzung ihrer Ernährungssituation als gesichert betrachtet werden darf.

2.2 Material und Methode

Pro Standort wurden Anfang November 1988 10 bis 12 Altfichten der sozialen Stellung 1 beerntet. Jedem Baum wurden drei Äste aus dem obersten Kronendrittel entnommen und davon die halb- und dreieinhalbjährigen Nadeln separiert. Nach Trocknung der Nadeln bei 65 °C erfolgte die Bestimmung des N-Gehalts nach dem Kjeldahl-Verfahren. Die ICP-Analyse auf Makro- und Mikro-NährElemente wurde vom Zentrallabor der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL, Birmensdorf) durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Laborarbeit findet sich in *W. Landolt et al.* (1989). Von den insgesamt 22 bestimmten Elementen sollen in der Folge lediglich die Makro-NährElemente N, P, Mg, Ca und K näher besprochen werden. Die Messwerte sind in Milligramm Substanz pro Gramm Trockengewicht der Nadeln wiedergegeben.

2.3 Ernährungszustand der Fichten und das Angebot der Böden

Stickstoff (N): An der Lägeren sind die Fichten ausreichend mit N versorgt. Eher knapp ist die Versorgung im Alptal; als mangelhaft ist sie in Davos zu bezeichnen, wo die Grenzwerte von 13,5 mg/g (*W. Bergmann*, 1988) bzw. 13,0

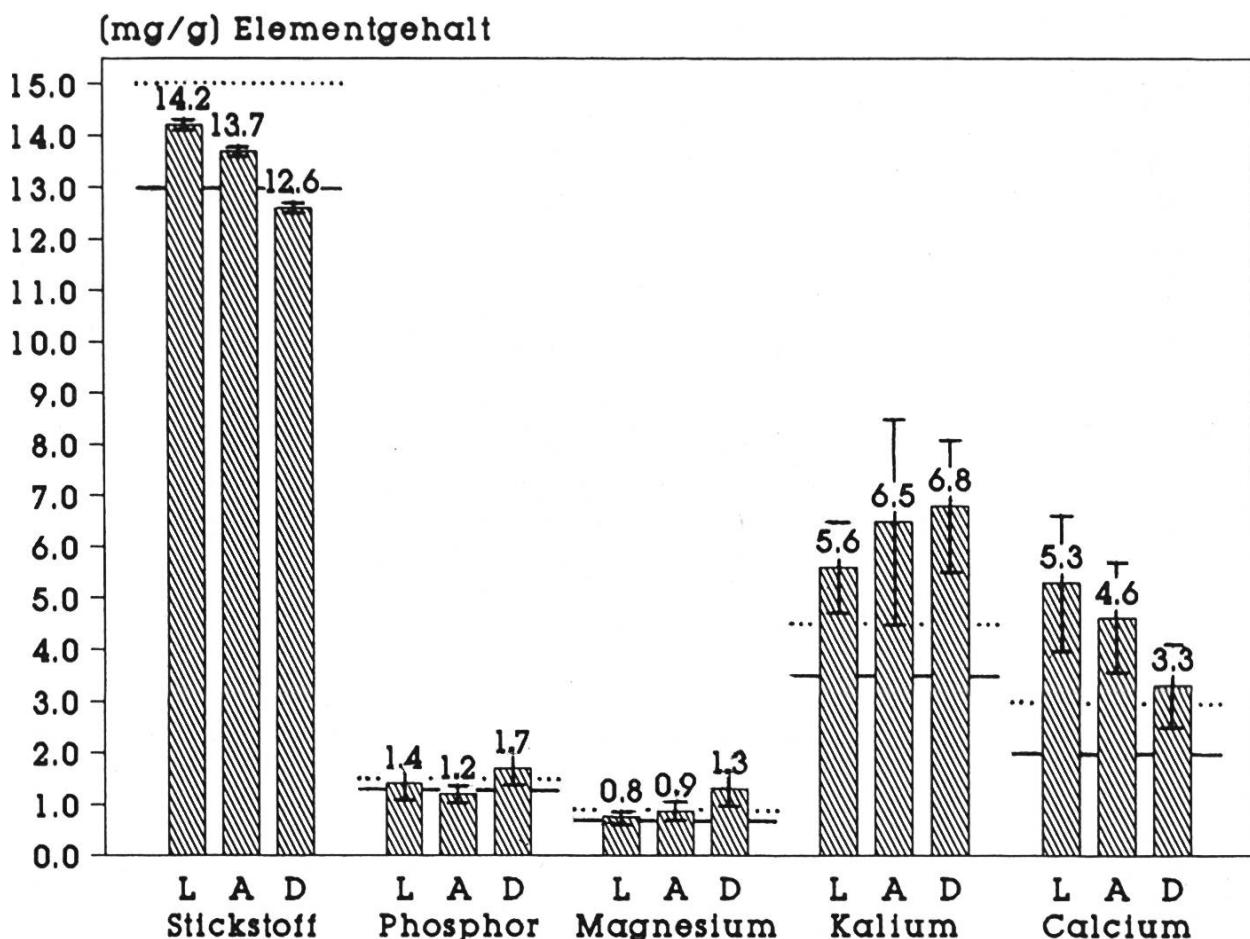


Abbildung 1. Elementgehalte der halbjährigen Nadeln an den Standorten Lageren, Alptal und Davos.

A = Alptal, D = Davos, L = Lageren

..... untere Grenze des Optimalbereiches

— obere Grenze des Mangelbereiches (Anonymus, 1987).

mg/g (Anonymus, 1987) unterschritten werden. Die Umlagerungsaktivität von N zwischen den dreieinhalb- und den halbjährigen Nadeln entspricht dem Versorgungsgrad am Standort. Bei den Fichten an der Lageren beträgt die Gehaltsabnahme 19%, jene im Alptal beläuft sich auf 20% und in Davos misst sie 22% (Abbildung 1).

Phosphor (P): Da sowohl N als auch P für das Wachstum wichtige Elemente darstellen, ist nicht nur ihr Gehalt im einzelnen, sondern auch ihr Verhältnis zueinander zu betrachten. Im Bestand an der Lageren liegt eine ausreichende P-Versorgung wie auch ein optimales Verhältnis zwischen N und P von rund 10 vor. Ebenfalls im Bereich guter Versorgung liegen die Davoser Fichten, deren hohe P-Spiegelwerte in den Nadeln und ein enges N/P-Verhältnis von rund 7 für solche Hochlagen-Standorte mit Böden aus kristallinem Gestein üblich sind. Die Alptaler Fichten sind knapp mit P versorgt, was sich zwischen den älteren und jüngeren Nadeljahrgängen auch in der hohen Gehaltsabnahme von 41% manifestiert. Trotz dieser hohen Umlagerungsrate wird kein optimales

Standort Humus	Tiefe/ Horizont	Al	Ca	Mg	K	P	pH CaCl ₂	%C
<u>Lägeren</u> Braunerden/ Parabraunerden	0-10 cm (L/Ah) 10-55 cm (B) Total	19 <u>114</u> 133	420 <u>1349</u> 1769	22 <u>82</u> 104	43 <u>102</u> 145	6.4 <u>6.3</u> 12.7	5.0 <u>4.4</u>	10 2
<u>Alptal</u> Anmoor	0- 5 cm (L/F) 5-35 cm (Aa/Gro) Total	3 <u>52</u> 55	93 <u>724</u> 817	5 <u>21</u> 26	35 <u>23</u> 58	2.2 <u>1.6</u> 3.8	4.5 <u>5.3</u>	18 4
<u>Alptal</u> Rohhumus	0- 5 cm (LF/H) 5-40 cm (A/Go) Total	12 <u>191</u> 203	50 <u>882</u> 932	3 <u>31</u> 34	15 <u>23</u> 38	2.7 <u>1.8</u> 4.5	3.6 <u>4.2</u>	15 6
<u>Davos</u> Podsol	0-10 cm (L/F/H) 10-25 cm (Ah) Total	37 <u>226</u> 263	86 <u>7</u> 93	8 <u>2</u> 10	26 <u>3</u> 29	6.9 <u>2.6</u> 9.5	3.5 <u>3.2</u>	32 8

Tabelle 2. Verfügbare Vorräte an einigen ausgewählten Elementen in den oberen Bodenhorizonten. Die Abschätzungen basieren auf den Elementgehalten in den Bodenprofilen (extrahiert nach Lakanen [E. Diserens, 1991]), die mit der Bodendichte gewichtet und für das entsprechende Bodenvolumen berechnet wurden (Angaben in g/m² · Horizont).

N/P-Verhältnis erreicht (N/P≈11). Die niedrigeren Spiegelwerte in den Nadeln entsprechen dem deutlich geringeren P-Angebot des Alptaler Bodentyps, dessen P-Knappheit sich auch in den Lakanenextrakten bzw. den daraus schätzbar Vorräten widerspiegelt (*Tabelle 2*). Hier befindet sich P hauptsächlich im obersten LF-Horizont in einer Tiefe von 0 bis 2 cm, während tiefere Horizonte ausgesprochen arm an verfügbarem P sind.

Magnesium (Mg): Auffällig ist bei den Fichten an der Lägeren der niedrige Mg-Gehalt in den Nadeln, der mit 0,75 mg/g gegenüber den Grenzwerten von 1,0 mg/g (W. Bergmann, 1988) bzw. 0,9 bis 2,5 mg/g (Anonymus, 1987) deutlich im suboptimalen Bereich liegt. Nur knapp wird die Mangelgrenze von 0,7 mg/g (Anonymus, 1987) überschritten. Die angespannte Versorgungslage wird ebenfalls durch eine starke Umlagerungsaktivität von 54% aus den dreieinhalf- in die halbjährigen Nadeln bestätigt. Die schwache Mg-Versorgung ist um so bemerkenswerter, als sie nicht durch ein unzureichendes Bodenangebot bedingt sein kann. Im Vergleich zur Beobachtungsfläche an der Lägeren verfügen die Böden an den Standorten Davos und Alptal über geringere Mg-Vorräte, die aber für eine genügende bis gute Ernährung ausreichen. So liegt der Mg-Gehalt der Davoser Fichtennadeln mit 1,3 mg/g im optimalen Bereich, obwohl der Bestand auf einem Boden wurzelt, dessen Gehalt nur $1/_{10}$ jenes an der Lägeren beträgt. Mit 13% ist hier die Umlagerungsaktivität zwischen den Nadeljährgängen entsprechend gering (*Abbildung 2*).

Calcium (Ca): Die Ca-Spiegelwerte der Bestände Lägeren und Alptal liegen im Vergleich zu den bereits erwähnten Referenzen im optimalen Bereich. Nur am Standort Davos ist die Situation angespannt, was angesichts der Höhenlage

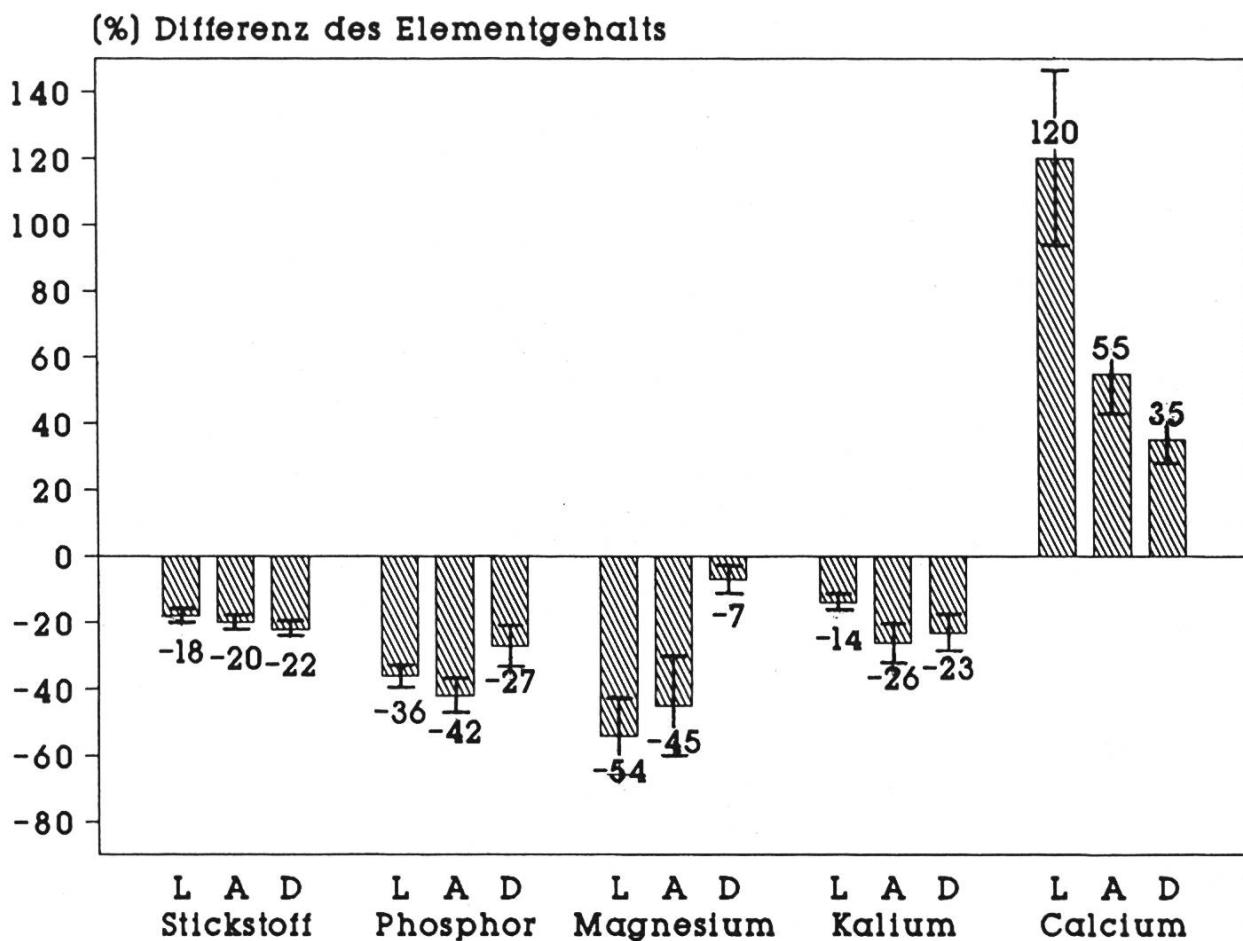


Abbildung 2. Umlagerungsaktivität zwischen den dreieinhalb- und den halbjährigen Nadeln.
A = Alptal, D = Davos, L = Lägeren

und der fortgeschrittenen Podsolierung des Bodens wenig erstaunt (H. J. Fiedler *et al.*, 1973). Deutlich spiegelt sich das grosse Ca-Angebot an der Lägeren in den dreieinhalbjährigen Fichtennadeln wider, die gegenüber dem jüngsten Nadeljahrgang eine Gehaltszunahme von 119% aufweisen. Damit beträgt hier die Akkumulation mehr als das Dreifache des Davoser Wertes.

Kalium (K): Die K-Versorgung ist an allen drei Standorten optimal. Die Umlagerung in die jüngsten Nadeln fällt dem Versorgungsgrad entsprechend gering aus. Diese Ergebnisse sind gegensätzlich zu jenen des Zürcher Waldprogrammes (*M. R. Huber et al.*, 1989), worin an verschiedenen Standorten ein K-Mangel nachgewiesen wurde.

2.4 Folgerungen

Eine unverhältnismässige Stimulation des Wachstums durch hohen N-Eintrag, die zu Ungleichgewichten in der Elementversorgung führt (*E. D. Schulze*, 1989), kann für alle drei Bestände ausgeschlossen werden.

Verschiedene Arbeiten (*E. D. Schulze et al.*, 1987; *J. C. Liu et al.*, 1989) belegen eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen der Mg-

Konzentration der Bodenlösung und dem Nadelgehalt. Diese Regel bestätigt sich bei den Fichten an der Lägeren nicht. Eine selektive Ionenaufnahme ist den Pflanzen nur bedingt möglich, weshalb die Aufnahme von Mg eng mit jener der gleichwertigen Ca-Ionen gekoppelt ist. Ein grosses Ca-Angebot im Boden, wie es an der Lägeren gegeben ist, könnte sich demzufolge hemmend auf die Mg-Aufnahme auswirken. Eine entsprechend antagonistische Wirkung hat *R. N. Robertson* (1958) für krautige Pflanzen beschrieben, doch steht offen, inwiefern sich dieser Umstand auf die Fichte übertragen lässt. Bislang wurden an der Lägeren keine für Mg-Mangel typische Vergilbungssymptome an den Nadeln beobachtet, wie sie für höhere Lagen der deutschen Mittelgebirge als «montane Vergilbung» beschrieben sind (*C. Bosch et al.*, 1983; *W. Zech et al.*, 1983; *H. W. Zöttl et al.*, 1983). Die Situation ist jedoch nicht direkt vergleichbar, da ein hierfür charakteristisch grosses N-Angebot und eine schwache Versorgung mit Ca und Zn (Zink) für die Bodenverhältnisse an der Lägeren bekanntlich nicht zutreffen. Angesichts der Mg-Situation in der Beobachtungsfläche Davos drängt sich die Vermutung auf, dass die Fichten an der Lägeren den vorhandenen Mg-Gehalt im Boden nicht vollumfänglich zu erschliessen vermögen und deshalb bauminterne Vorräte verstärkt mobilisieren.

Wohl liegt an der Lägeren der Nadelgehalt an B (Bor), das als Mikro-Nähr-element wesentlich am Assimilattransport aus dem Laub beteiligt ist, mit $13,6 \cdot 10^{-3}$ mg/g gegenüber dem Grenzwert von $15 \cdot 10^{-3}$ mg/g (*W. Bergmann*, 1988) im Mangelbereich, jedoch überschreitet dieser Messwert den gesamtschweizerischen Median von $10,15 \cdot 10^{-3}$ mg/g noch deutlich (*M. Knecht*, 1991).

Aufgrund wiederholter Beobachtungen (Mg Lägeren, N und P Alptal) darf generell geschlossen werden, dass sich bei ungünstiger Nährstoffversorgung die Umlagerungsaktivität phloemgängiger Elemente zwischen den Nadeljahr-gängen vergrössert.

3. Kronenbild

Die Bonität der Fichten entspricht an der Lägeren und im Alptal den standörtlichen Erwartungen, etwas geringer ist sie in Davos. Die durchschnittliche Verlichtung der Fichten-Kollektive steigt in der Rangfolge Lägeren, Davos, Alptal. Die jährlichen Schwankungen im Nadelverlust der Fichten sind von 1986 bis 1988 gering und zeigen keine einheitliche Tendenz unter den drei Standorten. Eine signifikante Verbesserung erfahren hingegen die ohnehin nur schwach verlichteten Buchen an der Lägeren. Gegenüber dem Gesamtbestand an vor- und mitherrschenden Bäumen sind die jahrringanalytisch bearbeiteten Kollektive etwas stärker verlichtet, was durch den offeneren Standraum der ausgewählten Bäume bzw. die grössere Exposition ihrer Kronen bedingt sein dürfte (*M. Neumann*, 1988) (Abbildung 3).

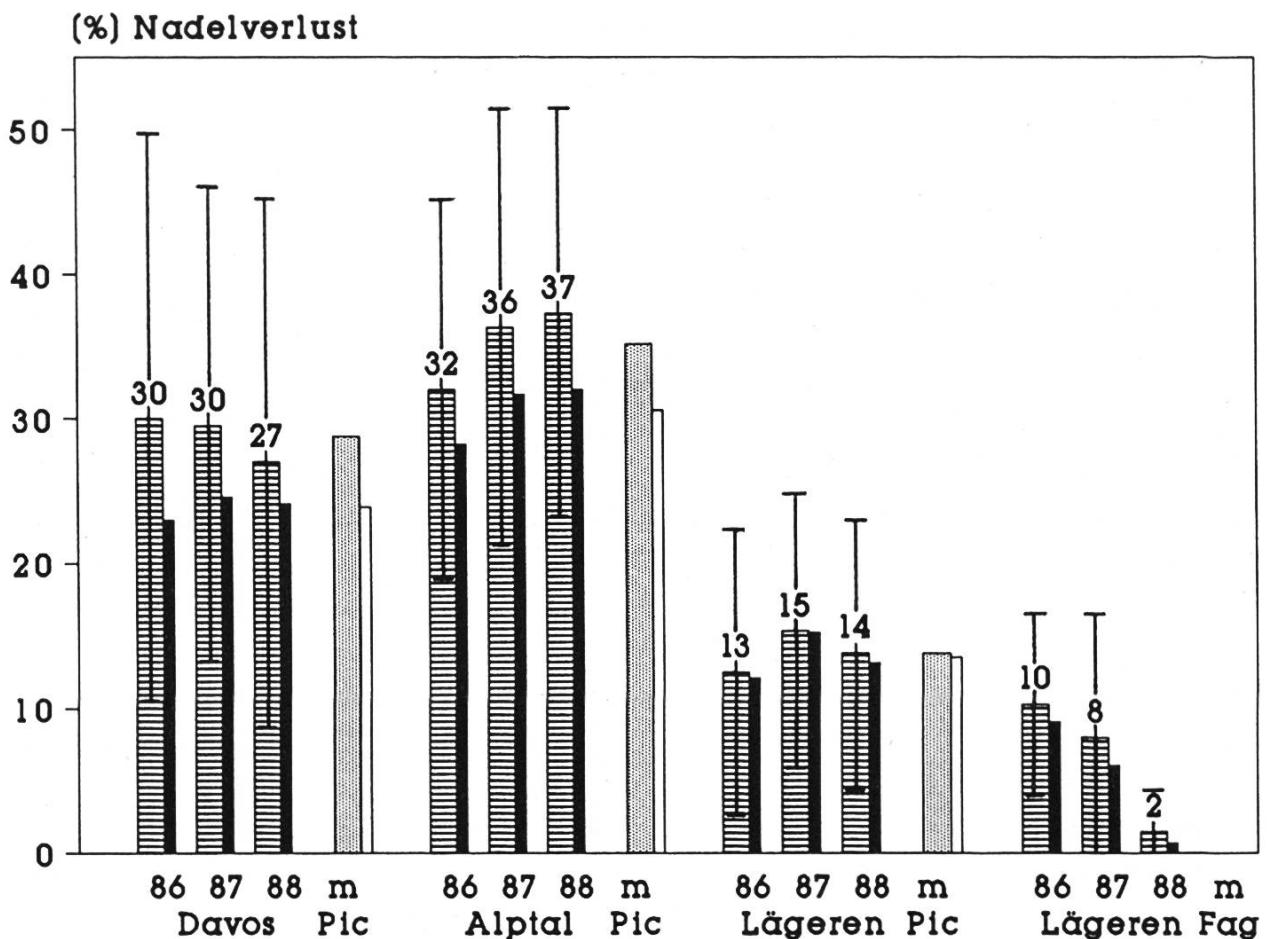


Abbildung 3. Nadel-/Blattverlust (terrestrische Bonitierung).

Abszisse: Jahrgang und Kollektive
 Ordinate: Verlichtung (in Prozent)
 jahrringanalytisch bearbeitete Kollektive (N = 20)
 Gesamtbestand an dominanten und kodominanten Bäumen
 N = 262, Davos *Picea* N = 117, Alptal *Picea*
 N = 26, Lägeren *Picea* N = 22, Lägeren *Fagus*

Dargestellt sind die jährlichen und dreijährigen Mittelwerte der Verlichtung und ihre Standardabweichung. Die Häufigkeitsverteilung der Schadstufen nach Sanasilva wird an dieser Stelle nicht wiedergegeben, da in der Folge ausschliesslich auf die prozentualen Nadelverlustraten Bezug genommen wird.

4. Jahrringanalysen

4.1 Zielsetzung

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprogramms bietet die dendroökologische Teilstudie methodisch bedingt die einzige Möglichkeit, den Untersuchungszeitraum retrospektiv zu erweitern (*F. H. Schweingruber*, 1988). Innerhalb dieser generellen Zielsetzung richten sich die Schwerpunkte des Interesses einerseits auf grundsätzliche Zusammenhänge zwischen Zuwachsleistung und

Kronenzustand, anderseits auch auf mögliche Symptome von neuartigen Waldschäden wie Veränderungen im langfristigen Zuwachsverhalten.

4.2 Material und Methode

Die jahrringanalytische Arbeit basiert auf gesamthaft 80 vor- oder mitherrschenden Bäumen und umfasst unter anderem sämtliche Probanden der eingangs erläuterten Nadelgehalt-Studien. An den drei Standorten Davos, Alptal und Lägeren wurden je 20 Fichten (*Picea abies*) und in der letztgenannten Beobachtungsfläche zusätzlich 20 Buchen (*Fagus sylvatica L.*) untersucht. Das Ausgangsmaterial stellten zwei Bohrproben jedes Baumes dar, die im Frühjahr 1989 mit Hilfe eines Zuwachsbohrers in 1,3 m Stammhöhe gewonnen wurden.

Die Beurteilung des Frischholzes umfasste die Schätzung der Splint-/Kernholz-Raten und die visuelle Erhebung pathologischer Holzmerkmale. Die dendrochronologische Auswertung der Einzelproben bezog sich auf die zeitliche Datierung, Breitenmessung und Synchronisation der Jahrringabfolgen, die Ermittlung von Ereignisjahren und abrupten Zuwachsänderungen von mehrjähriger Dauer sowie die Altersbestimmung der Bäume in Probenhöhe. Die baumweise gemittelten Zuwachs-Messreihen bildeten die Datenbasis für die Bestimmung der standörtlichen Weiserjahre, die Berechnung der Kurvengleichläufigkeiten und die Erstellung der Kollektiv-Mittelkurven inklusive einer Hoch- bzw. Tiefpass-Filterung. Ferner wurden die jahrringanalytischen Daten auf Unterschiede gemäss der Kronentaxation (terrestrische Bonitierung, Infrarot-Luftbild-Interpretation) geprüft; Regressions- und Korrelationsanalysen erfolgten zwischen Splintanteil, Baumalter, Radialzuwachs und Nadelverlust der Fichten.

4.3 Jahrringanalyse

In allen Kollektiven beträgt das Mindestalter der Bäume rund 120 Jahre. Die Altersstreuung steigt in der Rangfolge Lägeren (bis 190 Jahre), Alptal (bis 250 Jahre), Davos (bis 370 Jahre). Einzig die Buchen an der Lägeren bilden einen gleichaltrigen Bestand mit einem Durchschnittsalter von rund 130 Jahren.

Die Kollektivkurven weisen sich alle über eine mittlere Gleichläufigkeit der Einzelkurven von 66% aus; in oben erwähnter Standort-Reihenfolge nehmen Sensitivität und Zuwachsniveau ab. Zwischen den Davoser und Alptaler Fichten besteht eine grosse Übereinstimmung im Wachstumsverlauf (*Abbildungen 4a* und *4b*): Ihre Zuwachsentwicklung ist mehrfach von längeren Depressionsphasen geprägt; gesamthaft verändern sich aber Kurvencharakter und Zuwachsleistung nur geringfügig. Einer andern Wachstumsdynamik ist hingegen die

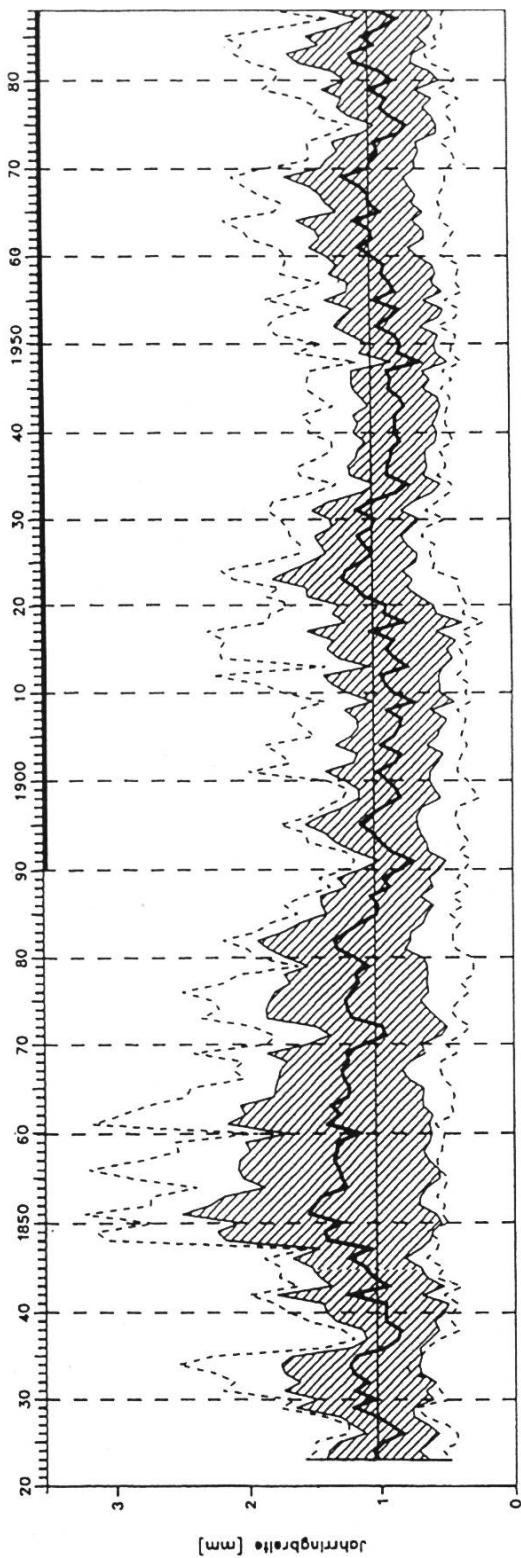


Abbildung 4a.

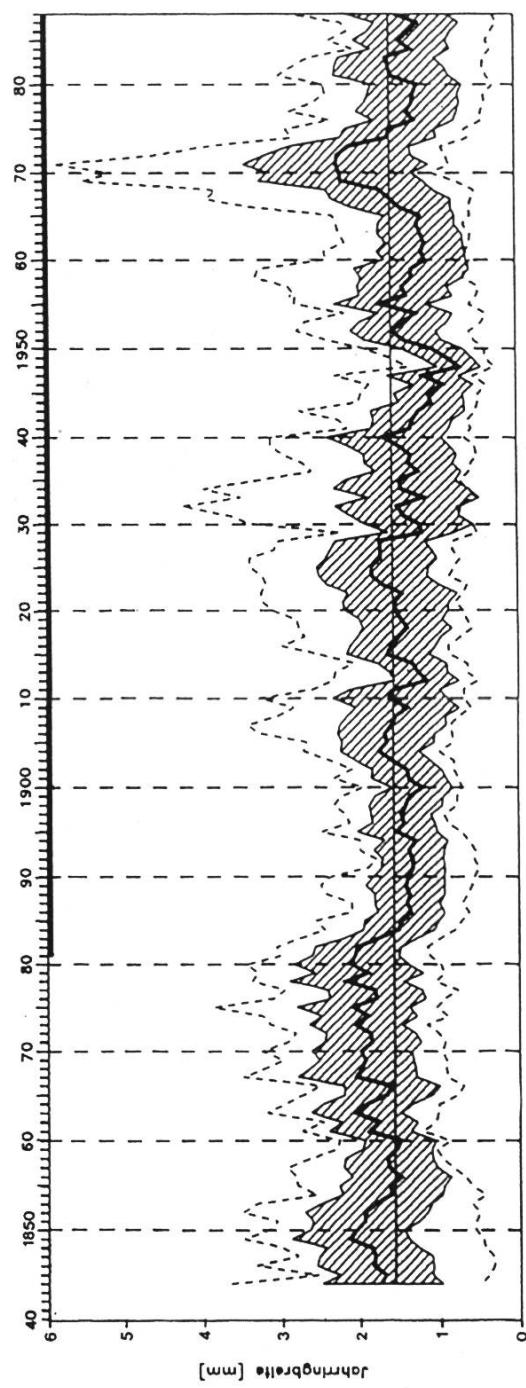


Abbildung 4b.

Abbildung 4. Kollektiv-Mittelkurven.

Abszisse: Zeitachse (in Kalenderjahren)

— Belegungsdichte von 100%

Ordinate: Jahrringbreite (in Millimeter)

— langjähriger Zuwachsmittelwert über den Zeitraum einer Belegungsdichte von mindestens 50%

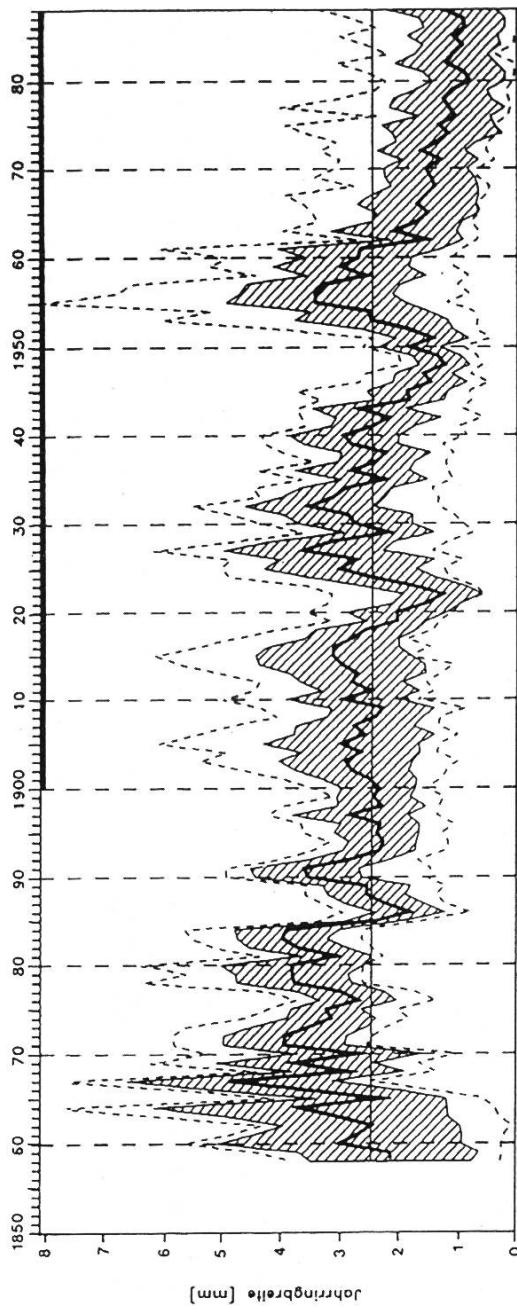


Abbildung 4c.

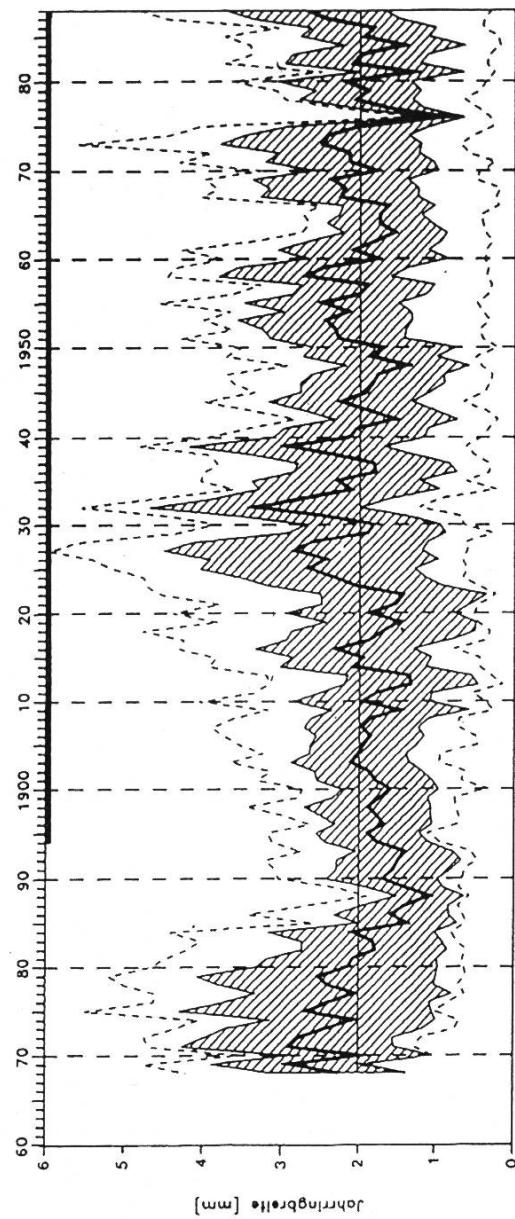


Abbildung 4d.

- Kurve der jährlichen Zuwachsmitittelwerte
- ▨ Bereich der jährlichen Standardabweichungen
- - - Kurve der jährlichen Maximal- und Minimalzuwachswerte

Die Integration in die Kollektiv-Mittelkurve setzt eine durchschnittliche Gleichläufigkeitsrate der Einzelkurven von mindestens 60% voraus, weshalb die effektive Probenmenge nicht zwingend mit der ursprünglichen übereinstimmt. Die Kurvenwiedergabe erfolgt ohne Ausfilterung des Alters-trends.

- Abbildung a: Davos *Picea*: N = 17
 Abbildung b: Alptal *Picea*: N = 20
 Abbildung c: Lägeren *Picea*: N = 16
 Abbildung d: Lägeren *Fagus*: N = 18

Fichte an der Lägeren unterworfen (Abbildung 4c): Während sich frühere Zuwachsreduktionen auf die Dauer weniger Jahre beschränken, hält seit drei Jahrzehnten ein deutlicher Wachstumsrückgang an, der von einer Sensitivitätseinbusse begleitet ist. Diese Entwicklung steht in krassem Gegensatz zu jener der Buchen am gleichen Standort (Abbildung 4d).

Deutlicher noch als in den Zuwachskurven manifestieren sich diese divergenten Tendenzen im durchschnittlichen Radialwachstum zweier Messintervalle von 1900 bis 1988 und 1985 bis 1988 (Abbildung 5): In den Fichten-Kollektiven Davos und Alptal verringert sich das aktuelle, vierjährige Zuwachsmittel gegenüber dem durchschnittlichen Wachstum über das gesamte Jahrhundert kaum. Im analogen Vergleich tritt bei den Buchen an der Lägeren eine deutliche Steigerung auf. Statistisch signifikant ist aber der Zuwachsverlust bei den Fichten dieses Standorts; dies betrifft sowohl die eingangs erwähnten

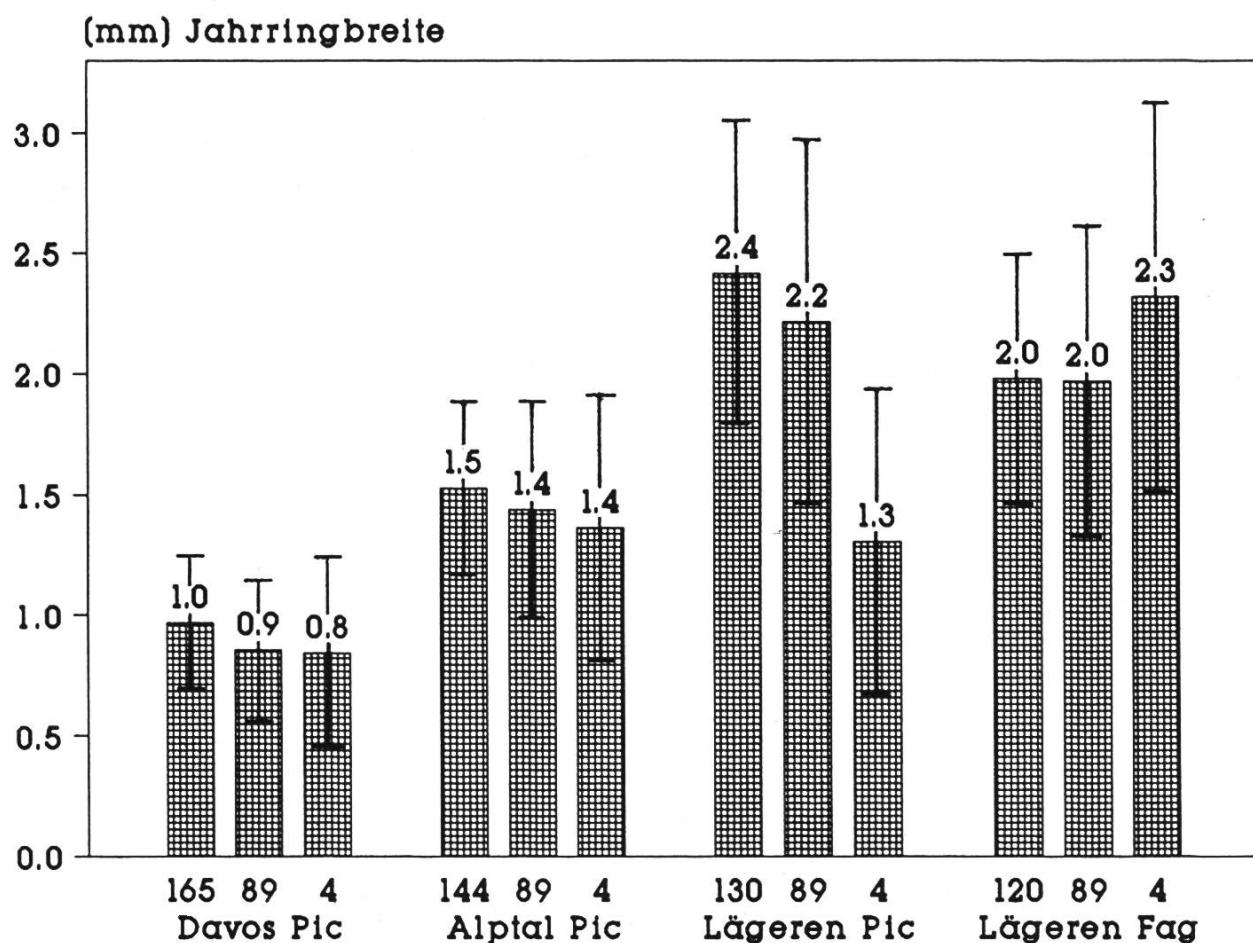


Abbildung 5. Metrische Lagermasse des Zuwachses.

Abszisse: Kollektive

Ordinate: Jahrringbreite (in Millimeter)

Dargestellt sind die Zuwachsmittelwerte und ihre Standardabweichung von verschiedenen Zeitintervallen:

langjähriges Intervall: gesamter Zeitraum der Kurvenwiedergabe

89jähriges Intervall: 1900 bis 1988

4jähriges Intervall: 1985 bis 1988

Vergleichsperioden als auch die 27jährigen Intervalle von 1936 bis 1962 und 1963 bis 1988 vor und nach dem Initialjahr des Zuwachsrückgangs.

Bemerkenswert erscheint, dass sich bei den Davoser und Alptaler Fichten sowie den Buchen an der Lägeren der kambiale Alterungsprozess kaum negativ auf die Zuwachsleistung auswirkt. Die Ursache der langfristigen Zuwachsdépressionsen gegen Ende des letzten und vor Mitte dieses Jahrhunderts ist vorwiegend in den klimatischen Gegebenheiten jener Epochen zu suchen (C. Pfister, 1984; C. Pfister *et al.*, 1988). Als aussergewöhnlich ist hingegen das Wachstumsverhalten der Fichten an der Lägeren im Zeitraum nach 1962 zu bezeichnen, da sich hierfür keine hinreichende Erklärung finden lässt. Rotfäule, Alterstrend oder Bestandesbehandlung fallen als Hauptgründe weitgehend

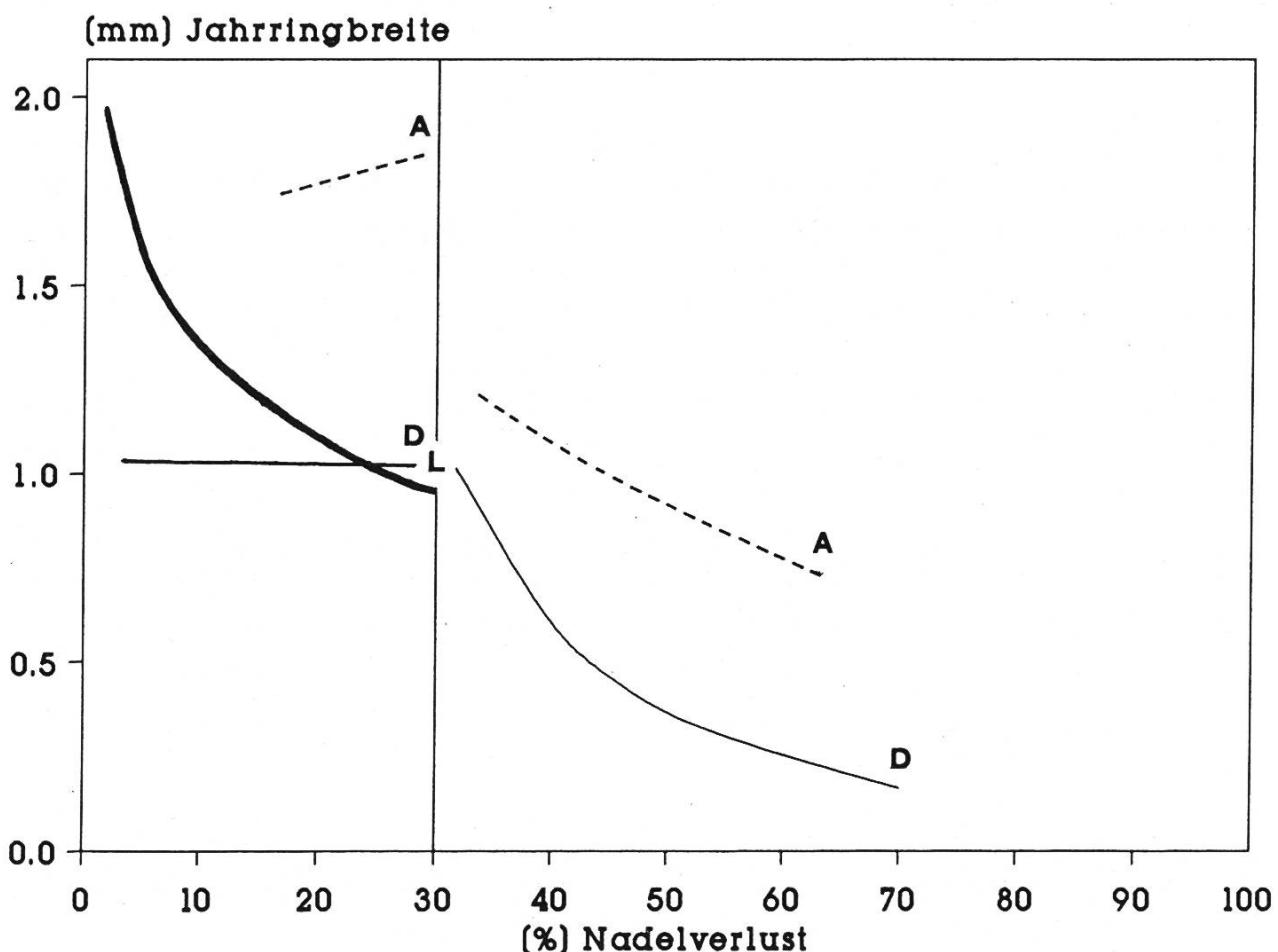


Abbildung 6. Regression zwischen Zuwachsleistung und Verlichtung.

- Abszisse: Nadelverlust von 1986 bis 1988 (in Prozent)
 Ordinate: Zuwachsleistung von 1985 bis 1988 (in Millimeter)
- Davos *Picea*
 - - - - Alptal *Picea*
 - Lägeren *Picea*

Die beiden Nadelverlust-Bereiche sind optisch durch einen vertikalen Balken unterteilt. Die berücksichtigten Probenmengen sind aus *Tabelle 3* ersichtlich.

ausser Betracht; Ergebnisse weiterer Arbeiten attestieren eine normale Entwicklung der Mykorrhiza, der Bonität und des Trieblängenwachstums.

Ungünstige Witterungsexreme können ohne vertiefte dendroklimatologische Studien nicht als Primärursache angeführt werden, da andere dendroökologische Untersuchungen an Fichten im aargauischen Mittelland keine vergleichbar negative Zuwachsentwicklung aufzeigen (K. Joos, 1988). Mangels detaillierter Informationen ist ein allfälliger Einfluss durch Forstschädlinge und/oder Samenjahre nicht konkret prüfbar. Diesbezügliche Recherchen für den Davoser Raum veranlassen jedoch nicht zur Annahme, dass davon lang anhaltende Auswirkungen auf das Radialwachstum ausgehen (R. Volz, 1988).

4.4 Zusammenhang zwischen Zuwachsleistung und Verlichtung

In den folgenden Regressions- und Korrelationsanalysen wird das Verlichtungsspektrum in zwei verschiedene Bereiche (\leq bzw. $> 30\%$ Nadelverlust) unterteilt. Die Festlegung der Bereichsgrenzen zwischen «schwacher» und «starker» Verlichtung richtet sich nach dem höchsten Verlichtungswert des Kollektivs an der Lägeren, der sich auf einen Nadelverlust von 30% beläuft. Dieser Ansatz erleichtert den direkten Vergleich zwischen den drei Fichten-Probengruppen.

In den Wechselwirkungen zwischen der Zuwachsleistung und dem Nadelverlust offenbaren sich sowohl bei den Davoser als auch den Alptaler Fichten deutliche Unterschiede zwischen den beiden Verlichtungsgruppen: Während im Bereich «schwacher» Nadelverluste ($\leq 30\%$) keine Interaktion mit der Zuwachsleistung nachweisbar ist, manifestiert sich bei «starker» Verlichtung ($> 30\%$) ein negativer Zusammenhang (Abbildung 6, Tabelle 3). Im Fichten-Kollektiv Lägeren erfolgt eine vergleichbare Reaktion bereits bei den «schwachen» Verlichtungsraten ($\leq 30\%$). Zur Beurteilung der aktuellen Entwicklung

Bereich	Davos Picea	Alptal Picea	Lägeren Picea
Nadelverlust $\leq 30\%$	N = 11	N = 7	N = 17
Regressionstyp Korrelationskoeff. Bestimmtheitsmass [%]	- linear - 0.01 0.0	+ linear + 0.09 0.8	- logarithm. - <u>0.43</u> 18.5
Nadelverlust $> 30\%$	N = 9	N = 13	N = 0
Regressionstyp Korrelationskoeff. Bestimmtheitsmass [%]	- polynomial - <u>0.73</u> 53.4	- exponentiell - 0.40 15.9	

Tabelle 3. Korrelation zwischen Zuwachsleistung und Verlichtung. Die faktoriellen Zusammenhänge, deren Wahrscheinlichkeit bei $P = 95\%$ statistisch gesichert auftritt, sind unterstrichen dargestellt.

im Radialwachstum wird das Verhältnis des 4jährigen zum 89jährigen Zuwachsmittel (1985 bis 1988 bzw. 1900 bis 1988) herangezogen (Abbildung 7): Das derzeitige Radialwachstum jener Davoser und Alptaler Fichten, die dem Bereich «schwacher» Nadelverluste ($\leq 30\%$) angehören, übertrifft das langfristige Mittel; gegenteilig verhält sich der Zuwachsindex bei Bäumen «starker» Verlichtung ($> 30\%$). Signifikant unterscheidet sich hiervon die Zuwachssituation im Kollektiv Lägeren. Diese Befunde entsprechen jenen aus den Regressions- und Korrelationsanalysen.

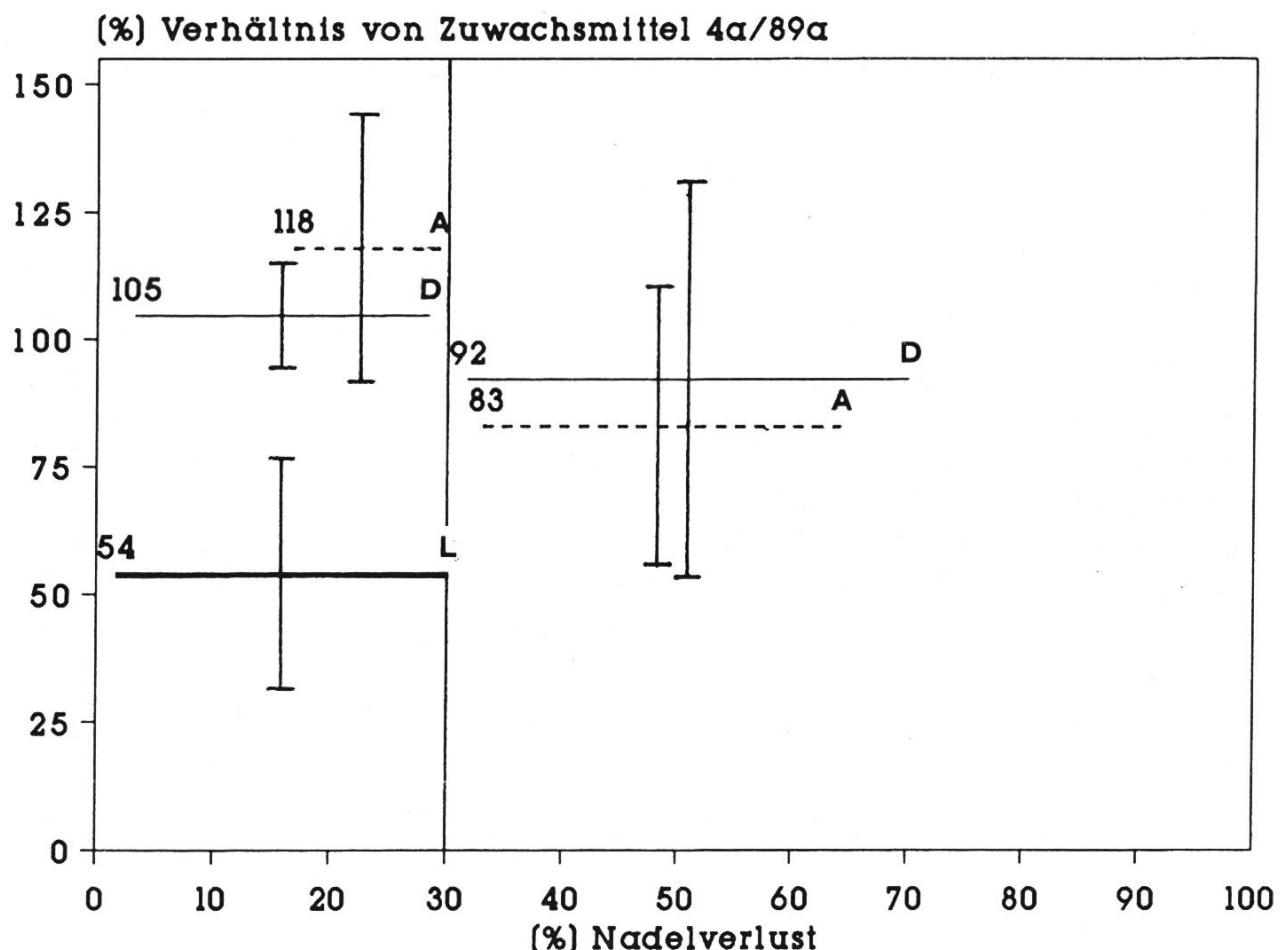


Abbildung 7. Verhältnis zwischen indexierter Zuwachsleistung und Verlichtung.

Abszisse: Nadelverlust von 1986 bis 1988 (in Prozent)

Ordinate: Quotient des 4- und 89jährigen Zuwachsmittels von 1985 bis 1988 bzw. 1900 bis 1988 (in Prozent)

Davos *Picea*

Alptal *Picea*

Lägeren *Picea*

Die Veränderung der aktuellen gegenüber der langfristigen Zuwachsleistung wird als Quotient beider Messintervalle indexiert und als Mittelwerte für die einzelnen Nadelverlust-Bereiche wiedergegeben. Diese erstrecken sich als horizontale Balken von der minimalen bis zur maximalen Verlichtungsrate der berücksichtigten Einzeldaten. Die vertikalen Balken geben die Standardabweichung der Quotientenmittel wieder. Die berücksichtigten Probenmengen sind aus Tabelle 3 ersichtlich.

Die Interpretation dieser Befunde gestaltet sich äusserst schwierig, zumal sich die Untersuchung auf Probenmengen geringen Umfangs beschränken musste und keine entsprechenden Studien zum Vergleich herangezogen werden können. Aufgrund der weiteren Korrelationsanalysen darf zumindest ein dominanter Einfluss des Baumalters auf die dargestellten Zusammenhänge ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend gilt festzuhalten, dass beim Fichten-Bestand an der Lägeren negative Wechselwirkungen zwischen Verlichtung und Radialwachstum bereits bei geringen Nadelverlusten zu erkennen sind.

5. Diskussion

In bezug auf alle angesprochenen Parameter ist der Zustand der Fichtenbestände in den Beobachtungsflächen Davos und Alptal als normal zu bezeichnen. Zu grundsätzlichen Fragen veranlassen aber die kontroversen Befunde bei den Fichten an der Lägeren, wo unter anderem die Kronenbeurteilung durch terrestrische Bonitierung und Infrarot-Luftbild-Interpretation günstig ausfällt, die Jahrringanalysen hingegen starke Zuwachsrückgänge zeigen. Nochmals festzuhalten ist, dass sich diese durch klimatische, bestandesdynamische und phytopathologische Aspekte nicht hinlänglich erklären lassen. Aus den Nadelanalysen geht ferner hervor, dass in bezug auf die beiden wachstumsbestimmenden Makro-Nährelemente Stickstoff und Phosphor an der Lägeren keine Mängelsituation besteht. Trotz reichlichem Bodenangebot tritt aber eine knappe Versorgung an Magnesium auf, das im Rahmen der Photosynthese wesentlich an der Kohlehydratproduktion beteiligt ist.

In der Komplexität dieser Sachverhalte wird der Schwerpunkt des Interesses darauf gelenkt, ob und gegebenenfalls weshalb sich bei diesen Fichten der Energieaufwand auf Kosten der statischen Masse (Holzkörper) zugunsten der dynamischen Masse (Laub, Feinast- und Feinwurzelwerk) verschiebt. So beobachteten *R. D. Spence et al.* (1990) bei ozonbegasten Jungpflanzen von *Pinus taeda* L. eine verminderte Photosyntheseaktivität und vor allem einen gesamthaft stark reduzierten Stofftransport in Richtung der Wurzeln, während die Primärzweige übermäßig an Gewicht zunahmen. Angesichts der Photosynthese-Messungen an ein- bis eineinhalbjährigen Nadeln einer Fichte an der Lägeren (*R. Häsler et al.*, 1991) können Störungen in der Photosynthese für diese Nadeljahrgänge ausgeschlossen werden. Ob dies auch für die metabolischen Folgeprozesse wie Assimilatsynthese und -transport usw. zutrifft, bleibt offen.

Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen, dass sich die Beziehungen zwischen Radialwachstum, Kronenverlichtung und Nährstoffsituation nicht konstant halten. Der Bereich stärkster Interaktionen ist variabel, was die Notwendigkeit bekräftigt, den Nadelverlust nicht als einzigen Parameter nach fixer

Skalierung zu interpretieren. Vielmehr ist er in seinen Wechselwirkungen mit andern Parametern unter Berücksichtigung der Standortgegebenheiten zu untersuchen. Durch diesen Ansatz gewinnt die vermeintliche Widersprüchlichkeit zwischen einem guten Kronen- und einem ungünstigen Jahrringbild — wie sie beispielsweise bei den Fichten an der Lägeren auftritt — eine neue Bedeutung. Sie könnte Ausdruck einer erhöhten Labilität des Gesundheitszustandes sein.

Résumé

Evaluation de la vitalité des épicéas en considération de la nutrition, de l'accroissement et de la perte en aiguilles

Dans le cadre du Programme national de recherches 14+, on a examiné les cernes annuels de plusieurs douzaines d'épicéas croissant dans les trois sites d'observation du Plateau suisse, des Préalpes septentrionales et des Alpes et l'on a déterminé la teneur en éléments nutritifs d'aiguilles d'âge divers. Cette étude interdisciplinaire avait, entre autres, pour objectif de mettre en relation les résultats obtenus par ces deux méthodes de recherche et la perte estimée en aiguilles, ceci dans l'optique d'un approfondissement plus poussé du potentiel d'information livré par le phénomène de l'éclaircissement des couronnes en tant que paramètre le plus usuel de l'estimation de l'état des arbres.

Dans les deux sites alpins, les divers résultats obtenus confirment la thèse selon laquelle, dans le cas d'un éclaircissement léger, il n'existe pas de relation négative entre la perte en aiguilles et l'activité d'accroissement. Dans le troisième site, en revanche, on tire toutefois des conclusions contraires: il se produit des diminutions d'accroissement marquées et durables pour des éclaircissements faibles de la couronne. Les corrélations relevées pour des arbres particuliers démontrent des interactions négatives qui ne se manifestent dans les deux autres groupes d'observation que dans le cas de pertes en aiguilles très marquées. Bien que les réserves du sol en magnésium soient élevées, les aiguilles des épicéas ne présentent par ailleurs qu'une faible teneur de cet élément.

Il résulte des observations effectuées que l'on ne saurait utiliser l'éclaircissement des couronnes comme unique critère d'appréciation pour l'estimation de l'état d'une forêt; par ailleurs, on ne peut également utiliser cette méthode en se fondant sur une échelle d'interprétation rigide.

Traduction: *E. Bovay*

Literatur

- Anonymous* (1987): Grundsätze für die Düngung im Wald. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Bergmann, W.* (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Auflage 2. Fischer, Stuttgart.
- Bosch, C., Pfannkuch, E., Baum, U., Rehfuss, K. E.* (1983): Über die Erkrankung der Fichte (*Picea abies* Karst.) in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. Forstw. Cbl. 102, 167–181.
- Diserens, E.* (1991): Teneurs du sol en éléments nutritifs pour les trois sites d'observation. In: Belastung von Waldböden. (Hrsg. *Pankow, W.*) Verlag der Fachvereine, ETH Zürich.

- Fiedler, H. J., Nebe, W., Hoffmann, F. (1973): Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Fischer, Stuttgart.
- Häsler, R., Savi, C., Herzog, K. (1991): Photosynthese und stomatäre Leitfähigkeit der Fichte unter dem Einfluss von Witterung und Luftsadstoffen. In: Luftsadstoffe und Wald. (Hrsg. Stark, M.). Verlag der Fachvereine, ETH Zürich.
- Huber, R., Knecht, M., Busin, U. (1989): Untersuchungen zum Gesundheitszustand von Fichten. Schweiz. Z. Forstw. 140 (6), 522–535.
- Joos, K. (1988): Einfluss des Autobahnverkehrs auf den Zustand umliegender Waldgebiete. Eidg. Verkehrs- u. Energiewirtsch. dep./Bundesamt f. Strassenbau 144, Bern.
- Knecht, M. (1991): Die Nährlementversorgung der Fichten auf den NFP14-Beobachtungsflächen im Vergleich zu Ergebnissen aus andern Untersuchungen in der Schweiz. In: Luftsadstoffe und Wald. (Hrsg. Stark, M.). Verlag der Fachvereine, ETH Zürich.
- Landolt, W., Guecheva, M., Bucher, J. B. (1989): The spatial distribution of different elements in and on the foliage of Norway spruce growing in Switzerland. Environ. Poll. 56, 155–167.
- Liu, J.-C., Trüby, P. (1989): Bodenanalytische Diagnose von K- und Mg-Mangel in Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.). Z. PflErnähr. Bodenk. 152, 307–311.
- Neumann, M. (1988): Einfluss von Standortsfaktoren auf den Kronenzustand. Air Pollution and Forest Decline, Proc. 14th Int. Meeting IUFRO P2.05, Interlaken.
- Pankow, W. (Hrsg.) (1991): Belastung von Waldböden. Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm 14 «Lufthaushalt, Luftverschmutzung und Waldschäden in der Schweiz». Verlag der Fachvereine, ETH Zürich.
- Pfister, C. (1984): Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Academica Helvetica, Haupt, Bern.
- Pfister, C., et al. (1988): Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Bundesamt Forstw. u. Landsch.schutz, Bern (Publikation und Datenbank).
- Robertson, R. N. (1958): The uptake of minerals. In: Handbuch der Pflanzenphysiologie (Hrsg. Ruhland, W.). Springer, Berlin, 243–279.
- Schulze, E.-D. (1989): Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. Science 244 (May), 776–783.
- Schulze, E.-D., Oren, R., Zimmermann, R. (1987): Die Wirkung von Immissionen auf 30jährige Fichten in mittlerer Höhenlage des Fichtelgebirges auf Phyllit. Allg. Forstz. 27/28/29, 725–730.
- Schüpbach, E. (Hrsg.) (1991): Meteorologie und Luftchemie in Waldbeständen. Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm 14 «Lufthaushalt, Luftverschmutzung und Waldschäden in der Schweiz». Verlag der Fachvereine, ETH Zürich.
- Schwarzenbach, F. H. (1991): Vorgeschichte und Planung des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 14+: «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz». In: Luftsadstoffe und Wald. (Hrsg. Stark, M.). Verlag der Fachvereine, ETH Zürich.
- Schweingruber, F. H. (1988): Tree rings. Basics and applications of dendrochronology. Reidel, Dordrecht, Boston.
- Spence, R. D., Rykiel, J., Sharpe, J. H. (1990): Ozone alters carbon allocation in Loblolly pine: Assessment with carbon-11 labeling. Environ. Poll., Elsevier Science Publishers Ltd., England.
- Stark, M. (Hrsg.) (1991): Luftsadstoffe und Wald. Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm 14 «Lufthaushalt, Luftverschmutzung und Waldschäden in der Schweiz». Verlag der Fachvereine, ETH Zürich.
- Volz, R. (1988): Die Waldentwicklung des 20. Jh. unter dem Einfluss natürlicher und anthropogener Belastungen. Konsequenzen für die forstliche Tätigkeit, erarbeitet am Beispiel Davos. Meteo-test, Bern.
- Zech, W., Popp, E. (1983): Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO-Bayern. Forstw. Cbl. 102, 50–55.
- Zöttl, H. W., Mies, E. (1983): Die Fichtenerkrankung in den Hochlagen des Südschwarzwaldes. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 154, 110–114.

Verfasser: Katrin Joos, Diplom-Biologin, Holz-Labor, Grenzacherstrasse 215, CH-4058 Basel.
 Martin Stark, Programmleitung NFP14, Geographisches Institut, Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern.