

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	140 (1989)
Heft:	6
Artikel:	Untersuchungen zum Gesundheitszustand von Fichten
Autor:	Huber, Regula / Knecht, Marianne / Busin, Ueli
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-764242

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: 14.01.2026

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

Untersuchungen zum Gesundheitszustand von Fichten

Von *Regula Huber, Marianne Knecht* und *Ueli Busin* Oxf.: 48:174.7 *Picea*: (494.34)
(Ambio, Beratungsgemeinschaft in angewandten Umweltwissenschaften, CH-8008 Zürich)

1. Einleitung

Seit 1984 werden auf 13 Beobachtungsflächen im Kanton Zürich der Gesundheitszustand und die Schadenentwicklung von Fichten untersucht. Um ein möglichst umfassendes Bild vom Gesundheitszustand der Bäume zu erhalten, wurden verschiedene Probleme angegangen:

- Phänologische Untersuchungen der Krone und einzelner Gipfeltriebe
- Zuwachsmessungen an Gipfeltrieben
- Untersuchung des Ernährungszustandes
- Untersuchungen an Feinwurzeln
- Standortbeurteilung

Das Ziel dieser Untersuchungen liegt vor allem darin, einen allfälligen Einfluss von Immissionen, Witterungsverhältnissen und Standortsfaktoren auf das Schadenausmass und die Schadensentwicklung zu prüfen.

Die systematische Standortswahl bedingt, dass viele Standortsfaktoren nur in eingeschränktem Ausmass variieren (zum Beispiel Bestandesdichte, Neigung, Laubholzanteil) und ihr Einfluss entsprechend reduziert ist.

2. Material und Methoden

2.1 Schadenerhebung

In den 13 Beobachtungsflächen wurden 60 bis 80 Fichten mit gut sichtbaren Kronen ausgewählt und nummeriert. Dabei wurden nur herrschende und mit-herrschende Bäume im Alter von 80 bis 100 Jahren berücksichtigt und auf folgende Merkmale hin bonitiert: Verlichtung (Nadelverlust), Nadelverfärbung, Fruchtbehang, Ersatztriebe, Gipfeldürre, abiotische und biotische Stamm- und

Rindenschäden, Fichtentyp, soziale Stellung, Stammdurchmesser, Gesamthöhe, Kronenlänge, Kronenform, Kronenentwicklung.

Als Basis für das Beobachtungsprogramm wurde die heute international anerkannte Ansprachemethode der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg FVA (Schröter, 1981) verwendet. Die Ansprache der Verlichtung erfolgte in Anlehnung an die Methode der Sanasilva-Waldschadeninventur. Der relative Nadelverlust wird in 5%-Stufen eingeschätzt. Dabei werden Nadelverluste bekannter Ursachen (zum Beispiel Peitschen, Insektenfrass usw.), soweit erkennbar, nicht dem krankheitsbedingten Nadelverlust angerechnet. Um den subjektiven Fehler bei der Einschätzung der Benadelung möglichst gering zu halten, erfolgt die Ansprache immer durch zwei Personen.

Die einzelnen Flächen wurden jedes Jahr vom gleichen Aufnahmeteam bonitiert. Die Schadenbeurteilung erfolgte im Frühjahr vor dem Austrieb.

2.2 *Gipfeltriebuntersuchungen*

In den Jahren 1984 und 1987 wurden jeweils Ende Juni auf allen Flächen mit Hilfe eines Helikopters von je 8 Bäumen je ein Gipfeltrieb geerntet und dessen jährlicher Längenzuwachs gemessen. Außerdem wurden die Triebe auf verschiedene Merkmale hin bonitiert: Nadelverlust, Nadelverfärbungen und Parasitenbefall. Die ausgewählten Bäume wurden mit verschiedenfarbigen Bändern markiert.

2.3 *Nähr- und Schadstoffanalysen von Nadeln*

Von den geernteten Gipfeltrieben wurden ungewaschene Nadeln des zweiten Nadeljahrganges (etwa einjährig) geerntet und dann folgende Nähr- und Schadstoffe analysiert: 1984: Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Mangan, Eisen, Bor, Kupfer, Zink, Schwefel, Chlor, Fluor, Aluminium, Blei, Cadmium.

1987: Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Mangan. Die Nadelanalysen wurden im Institut für angewandte Pflanzenbiologie, Schönenbuch, ausgeführt (Flückiger *et al.*, 1986).

Auf die Untersuchungen an Feinwurzeln und auf die Standortbeurteilung wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.

2.4 *Statistische Auswertungen*

Alle statistischen Auswertungen zu den folgenden Untersuchungen wurden von L. Förderer (ökoscience) durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Schadenausmass und Schadenentwicklung

Insgesamt konnte auf den 13 Beobachtungsflächen bei den Fichten eine signifikante Zunahme der Verlichtung von 1985 bis 1987 beobachtet werden. Waren 1985 7% der bonitierenden Bäume als gesund (0–10% Nadelverlust) und 9% als stärker geschädigt (> 25% Nadelverlust) eingestuft worden, so wurden 1987 nur noch 3% als gesund und bereits 18% als stärker geschädigt klassiert. Die Zunahme der Schäden von 1985 auf 1986 war stärker als diejenige von 1986 auf 1987.

An allen Untersuchungsflächen ist in bezug auf die Schadenentwicklung ein mehr oder weniger eindeutiger Trend in gleicher Richtung erkennbar (*Abbildung 1*): Von 1985 bis 1987 erfolgte an allen Standorten eine Zunahme des Nadelverlustes. Besonders stark hat die Verlichtung an den Standorten Stammheim, Rafz, Winterthur, Zürichberg, Albis, Hinwil und Männedorf zugenommen (Vorzeichentest, $P < 0,001$), die Beobachtungsflächen Wallisellen, Gubrist und Bachtel-West zeigen nur geringe, aber keine signifikanten Schadenzunahmen ($P > 0,05$). Im allgemeinen ist die Schadenzunahme der Einzelbäume eher gering, aber weit verbreitet. Von 1985 auf 1987 ist nur bei 10% der Bäume eine Zunahme des Nadelverlustes um mehr als 5% zu beobachten. Insgesamt haben sich in diesem Zeitraum 44% der Bäume verschlechtert.

Im Jahr 1988 haben die Schäden auf fast allen Untersuchungsflächen leicht abgenommen oder zumindest nicht mehr zugenommen. Einzig auf den Standorten Wallisellen und Bachtel-West wurde von 1987 bis 1988 eine signifikante Zunahme der Verlichtung beobachtet.

Zwischen den einzelnen Standorten bestehen in allen vier Bonitierungsjahren signifikante Unterschiede im Ausmass der Schäden (Kruskal-Wallis-Test); sie müssen aber als eher gering eingestuft werden. Die mittlere Verlichtung der Bestände liegt für 1988 zwischen 19% und 26% (*Tabelle 1*). Am stärksten geschädigt sind Zürichberg und Albis, während Gubrist, Bachtel-Ost und Männedorf im Vergleich zu den übrigen Standorten als eher schwächer geschädigt eingestuft werden.

Vergleicht man das Schadenausmass mit demjenigen der Fichtenbeobachtungsflächen der FVA-Baden-Württemberg (*Mettendorf, Lange, Perpeet, 1988*), so ergibt sich folgendes Bild: In Baden-Württemberg lag 1987 der durchschnittliche Nadelverlust der Fichten bei 28% (38% schwach geschädigt und 62% mittelstark geschädigt); der durchschnittliche Nadelverlust im Kanton Zürich betrug 1987 22% (3% gesund, 79% schwach geschädigt und 18% mittelstark geschädigt).

Standortsunterschiede in der Entwicklungstendenz sind auf den Flächen im Kanton Zürich nicht oder nur schwach signifikant. Die Schadenentwicklung verläuft demnach an allen Standorten in etwa parallel. Dies lässt vermuten, dass

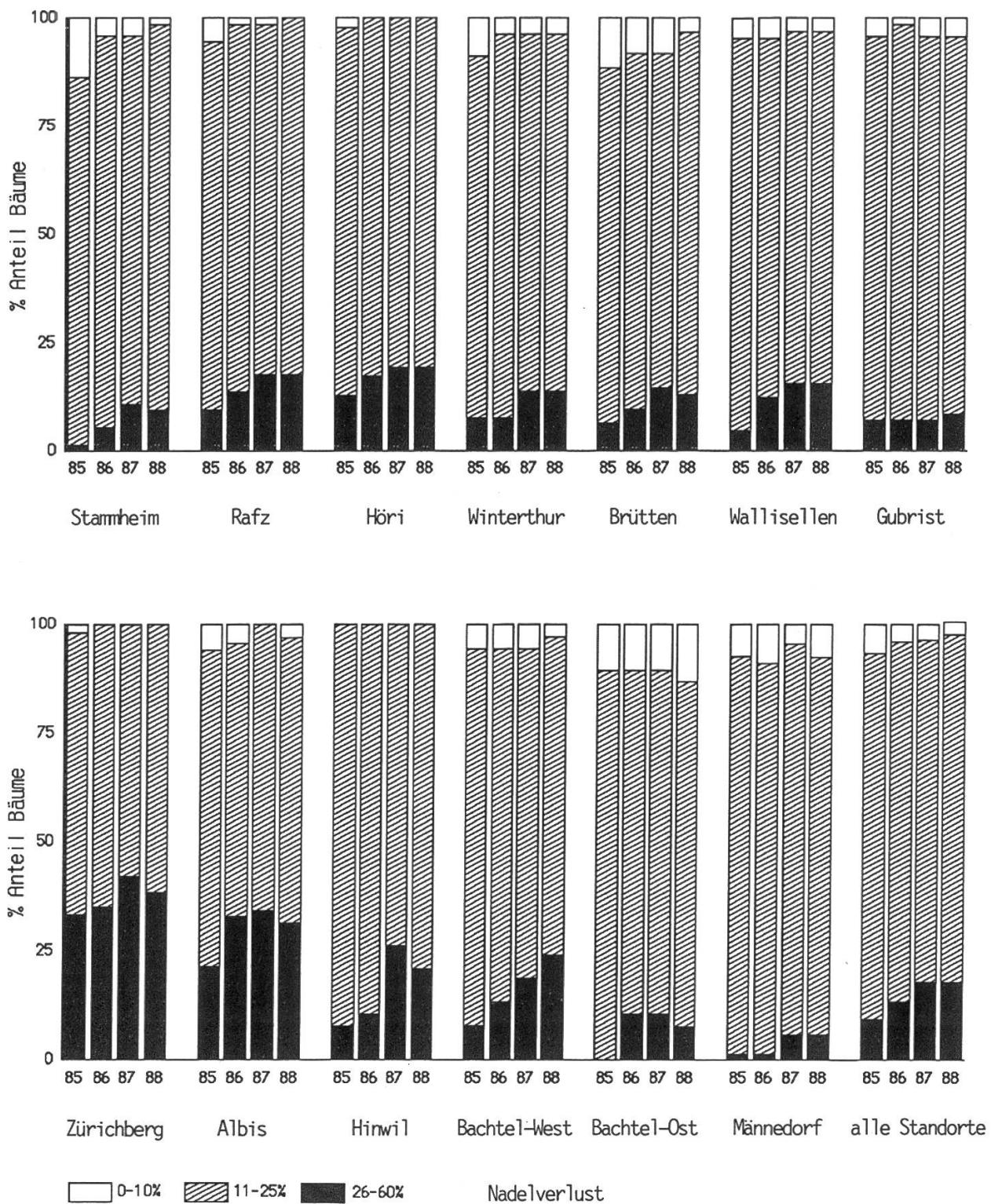


Abbildung 1. Ausmass und Entwicklung der Verlichtung in den 13 Fichtenbeobachtungsflächen.

Standortsfaktoren die Schadenentwicklung der untersuchten Bäume nur in geringem Masse beeinflussen.

Um den Einfluss von Standortsfaktoren auf die Vitalität der Fichten zu prüfen, wurde für die Auswertung die logistische Regression (Schlaepfer *et al.*, 1985) eingesetzt. Als abhängige Variable wurde der Nadelverlust sowie die

Tabelle 1. Mittlerer Schädigungsgrad (Nadelverlust) in den 13 Beobachtungsflächen.

Standort	Mittelwert für 1985	Mittelwert für 1986	Mittelwert für 1987	Mittelwert für 1988
Stammheim	17,9	20,3	20,8	20,8
Rafz	19,7	21,8	23,0	22,3
Höri	22,6	23,2	23,9	23,8
Winterthur	19,0	20,5	21,2	21,2
Brütten	18,7	19,8	19,9	19,6
Wallisellen	20,0	20,5	20,6	21,9
Gubrist	19,9	20,8	21,1	21,0
Zürichberg	24,1	25,7	26,8	26,2
Albis	22,6	24,1	25,4	24,9
Hinwil	19,9	21,3	22,9	21,8
Bachtel-West	20,8	21,9	22,2	23,4
Bachtel-Ost	17,2	19,6	19,1	19,1
Männedorf	17,4	18,3	19,9	19,7
Alle Standorte	19,9	21,4	22,0	21,9

Schadenentwicklung von 1985 auf 1987 (2stufig kodiert) verwendet. Als unabhängige Variable wurden verschiedene Standorts- und Bestandesmerkmale in die Auswertung einbezogen. Eine Interpretation der Ergebnisse ist angesichts der geringen Anzahl Standorte und dem eher engen Spektrum der Standortsfaktoren unserer Beobachtungsflächen erschwert.

Bei den folgenden Standortseigenschaften ist das Erkrankungsrisiko erhöht: Ältere Bestände weisen stärkere Verlichtungen auf als jüngere. Dieser Befund steht in Übereinstimmung zu den Beobachtungen von *Schöpfer* und *Hradetzky*, (1984). Höher gelegene Bestände zeigen ebenfalls grössere Schäden. Mehrschichtige Bestände sind gegenüber einschichtigen stärker verlichtet.

Ein direkter Zusammenhang der Verlichtung mit den Bodenverhältnissen (pH, Wasserversorgung, Nährstoffversorgung) ist auf den Untersuchungsflächen nicht erkennbar. Vergleichbare Untersuchungen von andern Autoren (*Moosmayer*, 1988) ergaben ebenfalls keine Zusammenhänge zwischen der Schadenausprägung und den Bodenverhältnissen. Von unseren Untersuchungsflächen zeichnet sich hauptsächlich der Standort Rafz durch etwas ungünstigere Bodenverhältnisse aus. Er weist stärkere Versauerung, knappe Nährstoffversorgung und eine Tendenz zur Austrocknung auf. Rafz ist bezüglich Nadelverlust nicht stark geschädigt, hingegen konnte eine starke Zunahme der Verlichtung in den letzten drei Jahren beobachtet werden. Ausserdem wurden hier die stärksten Vergilbungen festgestellt. Diese Beobachtungen lassen vermuten, dass in Rafz die Trockenheit und die eher schwache Nährstoffversorgung die Schadenentwicklung mitbeeinflusst haben.

Die geringen Standortsunterschiede in der Schadenentwicklung könnten ein Hinweis dafür sein, dass klimatische Faktoren für die Schadenentwicklung mitverantwortlich sind. Als wesentliche klimabedingte Faktoren werden vor

allem Trockenperioden und extreme Temperaturstürze genannt (Mayer, König und Rall, 1988). Wenn Trockenperioden für die Waldschäden verantwortlich wären, müssten wir deutliche Schäden an Fichten vorwiegend in Waldbeständen auf flachgründigen und zur Austrocknung neigenden Böden erwarten (Mössmer, 1986). Starke Schadenzunahmen wurden sowohl auf eher trockenen Böden (Stammheim, Rafz) wie auch auf Böden mit gutem Wasserhaushalt (Albis, Hinwil, Männedorf) festgestellt. In den 13 Beobachtungsflächen des Kantons Zürich sind keine stärkeren Schäden oder Schadenzunahmen auf den zur Austrocknung neigenden Standorten erkennbar.

Auf allen Untersuchungsflächen wurden Nadelvergilbungen beobachtet; dabei handelt es sich in den meisten Fällen um Nadelspitzenvergilbungen in der oberen Kronenhälfte, wobei vor allem die älteren Nadeljahrgänge davon betroffen sind. Bei den meisten Bäumen war aber nur ein geringer Anteil der Nadelmasse vergilbt ($\leq 5\%$), so dass auf eine Verknüpfung der Verfärbung mit dem Nadelverlust, wie sie Schröter (1981) vornahm, verzichtet werden kann. Einzig auf der Fläche Rafz müssten dadurch zwei Bäume in eine höhere Schadstufe eingeteilt werden.

Die Standorte unterscheiden sich signifikant im Entwicklungsverlauf (Chi-quadrat-Test). Die Standortsunterschiede sind in bezug auf das Ausmass der Vergilbung in allen drei Bonitierungsjahren hoch signifikant (Chi-quadrat-Test); die Signifikanz ist hier wesentlich grösser als beim Nadelverlust. Dies könnte auf eine stärkere Abhängigkeit der Vergilbung vom Standort hindeuten. Eine Überprüfung einer solchen Abhängigkeit erweist sich aber angesichts der geringen Standortszahl als schwierig. Das Ausmass der Vergilbung ist an den meisten Standorten gering. Einzig auf den Flächen Rafz, Winterthur und Bachtel-Ost weisen einige Bäume stärkere Vergilbungen in allen drei Bonitierungsjahren auf.

Mit Hilfe der Logistischen Regression wurde die Beziehung der erhobenen Baummerkmale (Fichtentyp, Soziale Stellung, BHD, Baum- und Kronenlänge, Kronenform und Stammschäden) zum Schädigungsgrad der Bäume (Nadelverlust und Vergilbung) geprüft. In den meisten Fällen sind keine oder höchstens schwache Beziehungen feststellbar. Ein Einfluss von Stammschäden (Fäll- und Rückeschäden, Harzaustritt, Gipfelbrüche usw.) auf den Nadelverlust und die Vergilbung ist nicht nachzuweisen. Bäume mit grösserem BHD weisen stärkere Verlichtungen auf. Die Entwicklungstendenz des Nadelverlustes ist deutlich negativ mit der sozialen Stellung und positiv mit dem BHD korreliert. Die grösseren, vorherrschenden und herrschenden Bäume zeigen also eine erhöhte Tendenz zu einer Zunahme der Verlichtung.

Bei Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (Mettendorf, Schröter und Hradetzky, 1988) konnten ebenfalls Beziehungen zwischen der sozialen Stellung und dem Nadelverlust gefunden werden. Einige der am stärksten geschädigten Fichten in den Hauptschadengebieten zeigten deutlich höhere Nadelverluste bei vorherrschenden Bäumen. Nach

Kuhl (1987) bedeutet diese Vitalitätsüberlegenheit der beherrschten Stämme gegenüber den vorherrschenden Bestandesmitgliedern eine Bestätigung der These vom Zusammenhang zwischen neuartigen Schadsymptomen an Fichten mit exponierten Kronenlagen und der umgebenden Luft bzw. Luftzirkulation. Es besteht eine schwache Beziehung zwischen der Gesamthöhe der Bäume und dem Nadelverlust, tendenziell weisen grosse Bäume stärkere Nadelverluste auf als kleine. Kein Zusammenhang ist zwischen der Kronenausbildung und dem Nadelverlust erkennbar, was auch von andern Untersuchungen bestätigt wird (Mettendorf, Schröter und Hradetzky, 1988).

3.2 Gipfeltriebuntersuchungen

Der Höhenzuwachs von Bäumen ist ein guter Indikator für Stresseinwirkungen, wie Witterungseinflüsse und Immissionen, und kann ausserdem über einige Jahre zurückverfolgt werden (*Wentzel*, 1983; Schöpfer und Hradetzky, 1986). Schöpfer und Hradetzky (1986), die ein sehr umfangreiches Datenmaterial auswerteten, konnten zeigen, dass der Zuwachsrückgang bei Fichten und Tannen der am Gesundheitszustand der Krone orientierten Schadbildausprägung weit voraus eilt.

Die Unterschiede im Triebwachstum zwischen den einzelnen Flächen sind hoch signifikant (Kovarianzanalyse). Die Bäume der Flächen Höri, Zürichberg, Albis und Hinwil weisen ein geringeres Triebwachstum auf als die übrigen, die grössten Zuwachse sind auf den Standorten Brütten und Wallisellen zu verzeichnen. Das Gipfeltriebwachstum verläuft an allen Standorten mehr oder weniger parallel. Von 1979 auf 1980 hat das Triebwachstum stark abgenommen, von 1982 auf 1983 und von 1983 auf 1984 wieder etwas zugenommen. Eine deutliche Abnahme erfolgte dann wieder von 1984 auf 1985, gefolgt von einer starken Zunahme von 1985 auf 1986 (Abbildung 2). Diese jährlichen Schwankungen im Wachstum könnten auf einen Zusammenhang mit der Witterung hinweisen. Die Sprossanlage wird im Jahr der Knospenbildung entwickelt, der Spross kommt aber erst im folgenden Jahr zur Entwicklung (*Fraser*, 1962, zitiert in *Schmidt-Vogt*, 1986). Die Zahl der Nadelanlagen in der Knospe ist im wesentlichen von der Witterung des Anlagejahres abhängig. *Wiedemann*, 1925 (zitiert in *Schmidt-Vogt*, 1986) fand, dass in Trockenjahren in den Fichtenknospen weniger Nadeln vorgebildet werden als in feuchten Jahren. Dürreperioden wirken sich somit auch auf das Folgejahr aus. In Abbildung 3 ist der Trockenheitsindex von *de Martonne* (zitiert in *Schmidt-Vogt*, 1977), der sowohl die Niederschläge als auch die Temperatur beinhaltet, für die Vegetationsperiode Mai – August dargestellt. Vergleicht man nun das Gipfeltriebwachstum mit dem Trockenheitsindex, so ist kein direkter Zusammenhang mit den Witterungsverhältnissen erkennbar, das heisst es erfolgt kein Zuwachsrückgang nach den warmen und niederschlagsarmen Jahren 1983 und 1985. Im Jahr 1986 konnte, im Ver-

gleich zu den vorangegangenen Jahren, sogar wieder ein hoher Zuwachs im Triebwachstum festgestellt werden.

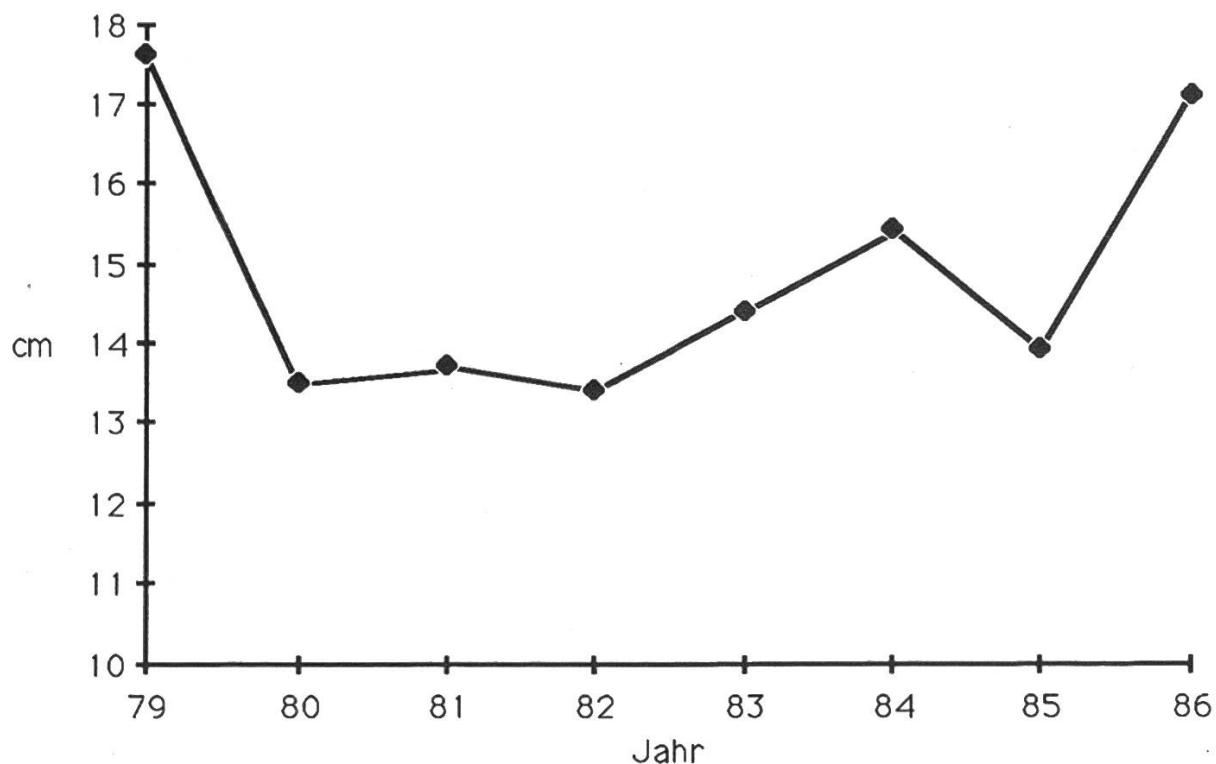


Abbildung 2. Mittleres Gipfeltriebwachstum aller Standorte in den Jahren 1979 bis 1986.

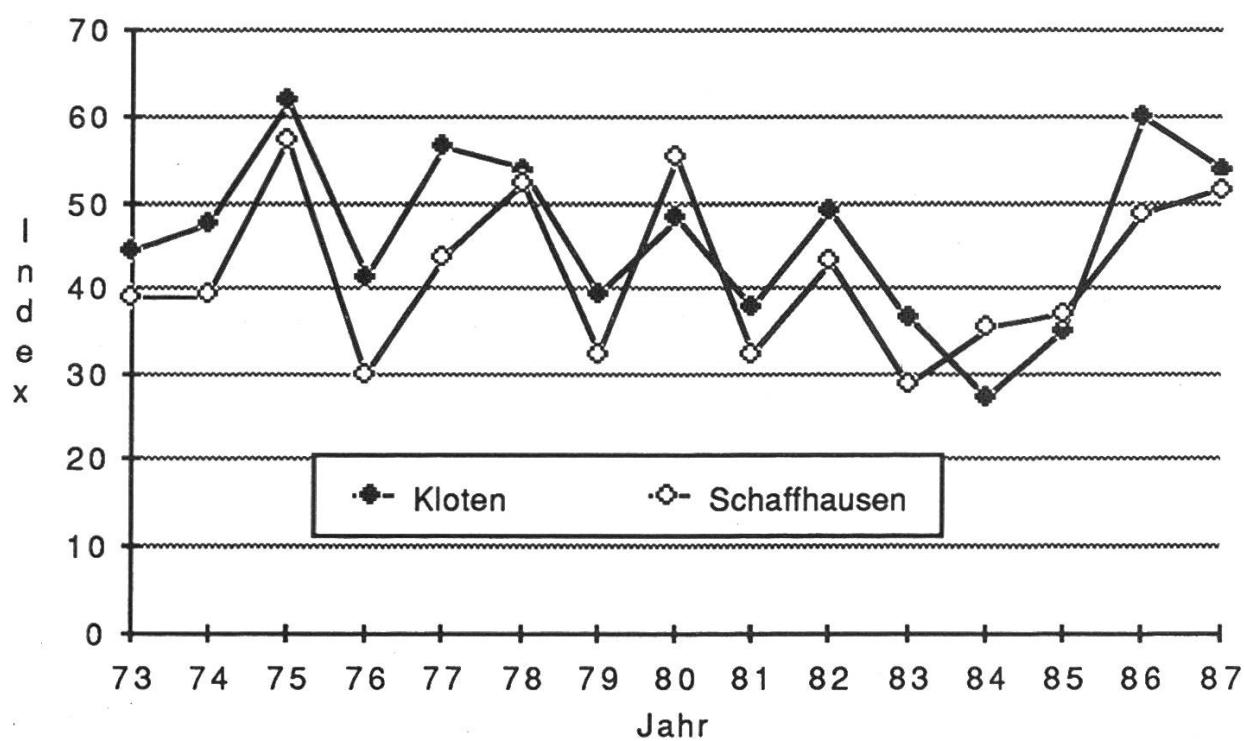


Abbildung 3. Trockenheitsindex (nach De Martonne) der Vegetationsperioden Mai–August.

3.3 Nährstoffversorgung

Obwohl die Nadelernten Ende Juni vorgenommen werden mussten, das heisst zu einem Zeitpunkt grosser Nährstoffschwankungen, können die Resultate der beiden Jahre auf Grund der Fichtenaustriebsdaten miteinander verglichen werden: laut Angaben der SMA (Schweizerische Meteorologische Anstalt) trieben die Fichten 1987 um 7 bis 10 Tage früher aus als 1984. Somit müssten die Nährstoffgehalte für wichtige Elemente wie Phosphor, Kalium, Mangan im Jahr 1987 höher oder mindestens gleich hoch liegen wie 1984, da nach den Untersuchungen von *Wyttensbach und Tobler* (1988) die Nadelgehalte dieser Nährstoffe von Juni bis etwa November zunehmen (gilt für ein- bis zweijährige Nadeln). Anstelle einer Zunahme kann jedoch eine Abnahme beobachtet werden: Unter den Makronährstoffen, die eine deutliche Abnahme der Nadelgehalte zwischen 1984 und 1987 aufweisen, ist der Rückgang beim Kalium am grössten. Fünf der dreizehn Standorte verzeichnen eine schwach bis hoch signifikante Kaliumabnahme (*Tabelle 2, Abbildung 4*). Da auf allen Beobachtungsflächen reichlich Calcium vorhanden ist, könnte man einen K/Ca-/Antagonismus als Ursache für die geringen K-Werte in den Nadeln vermuten (*Fiedler und Nebe*, 1973). Die K-Werte 1984 befinden sich jedoch unterhalb des von *Bergmann* (1988) angegebenen optimalen Bereichs, sowohl auf Standorten mit guter als auch auf solchen mit schlechter Ca-Aufnahme (*Abbildungen 4 und 6*). Die Kaliumversorgung 1987, die von mässig versorgt (0–20% unter dem Grenz-

Tabelle 2. Signifikanzprüfung.

Kalium (Abbildung 4) Mangan (Abbildung 5)

Standort	T	P	S	T	P	S
Stammheim	1,613	> 0,05	NS	2,105	> 0,05	NS
Rafz	0,036	> 0,05	NS	6,150	< 0,001	***
Höri	2,361	> 0,05	NS	1,734	> 0,05	NS
Winterthur	0,654	> 0,05	NS	5,369	< 0,001	***
Brütten	2,464	< 0,05	*	3,205	< 0,05	*
Wallisellen	0,405	> 0,05	NS	5,424	< 0,001	***
Gubrist	2,624	> 0,05	*	0,212	> 0,05	NS
Zürichberg	8,306	> 0,001	***	2,485	< 0,05	*
Albis	3,487	> 0,05	*	2,086	> 0,05	NS
Hinwil	2,171	< 0,05	NS	1,997	> 0,05	NS
Bachtel-West	4,078	> 0,01	**	0,992	> 0,05	NS
Bachtel-Ost	1,633	< 0,05	NS	1,148	> 0,05	NS
Männedorf	0,743	< 0,05	NS	2,519	> 0,05	NS

P = Irrtumswahrscheinlichkeit, S = Signifikanz, *P < = 0,05, **P < = 0,01, ***P < = 0,001.

Unterschiede zwischen entsprechenden Nährstoffgehalten der Triebernten von 1984 und 1987 innerhalb der Standorte wurden mit dem T-Test für gepaarte Stichproben überprüft. Pro Standort wurden 8 Bäume untersucht.

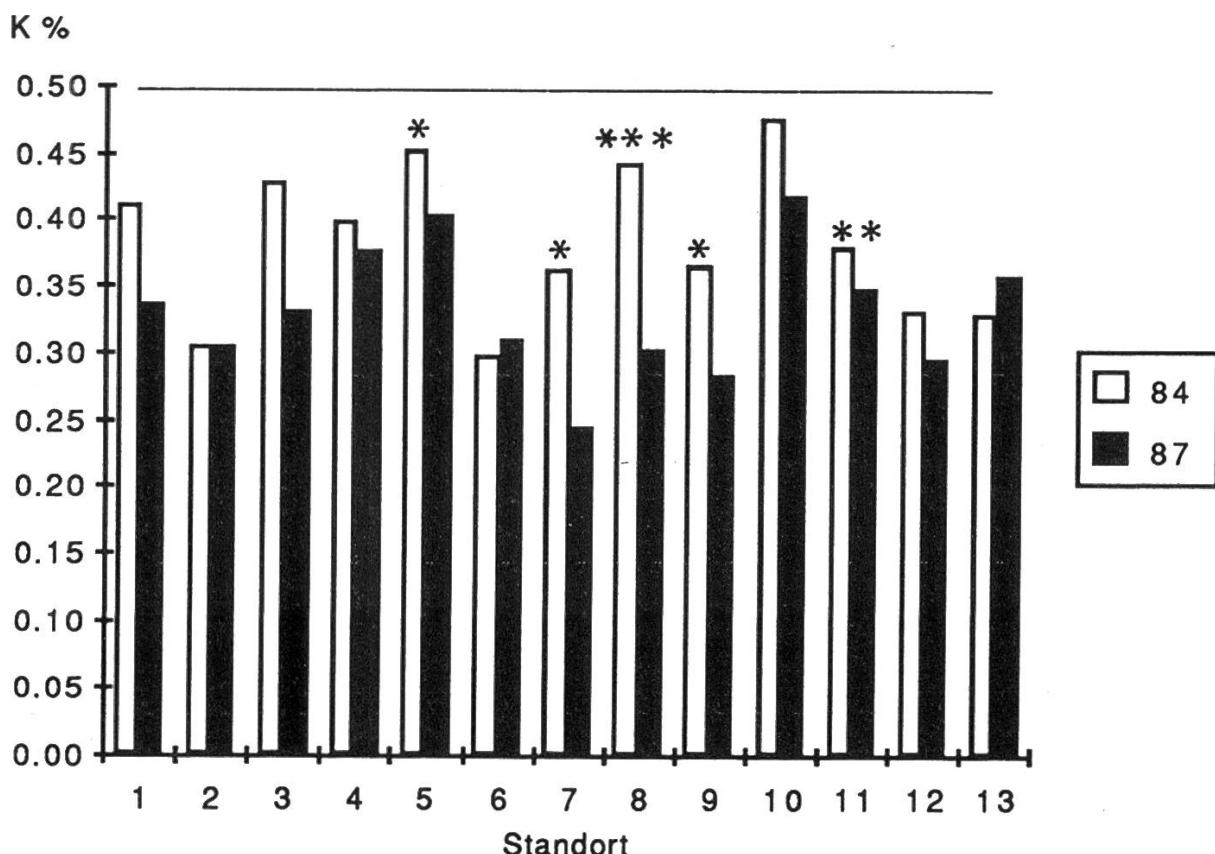


Abbildung 4. Zeitliche Entwicklung der Kalium-Gehalte der Nadeln (1984/87). (Die horizontale Linie entspricht dem untersten Wert des Optimalbereichs nach *Bergmann*, 1988.)

wert von 0,5% TS) bis zur Unterversorgung reicht (bis 40% unter 0,5% TS), bleibt für 8 Standorte unter dem optimalen Bereich, auch unter Berücksichtigung der tiefen Nadelgehalte im Juni. Wyttensbach und Tobler (1988) stellten beim zweiten Nadeljahrgang eine jährliche Schwankung von rund 40% zwischen Sommer (Minimum) und Winter (Maximum) der K-Gehalte fest. Auch bei einer Aufrechnung von 40% der K-Nadelgehalte liegen unsere Werte unter dem schweizerischen Durchschnitt nach *Landolt et al.* (1989). Ein Vergleich der beiden Jahre 1984/87 zeigt eine sehr grosse Abnahme der K-Nadelwerte. Beim relativ trockenen Standort Rafz spielt möglicherweise die mangelnde Bodenfeuchtigkeit für die schlechte K-Aufnahme in die Pflanzen eine Rolle. Es kann allgemein festgehalten werden, dass die Niederschlagsmengen 1987 in der Vegetationsperiode (bis zur Ernte) über denjenigen des Jahres 1984 liegen. Somit ist die beobachtete K-Abnahme auch nicht mit ungenügender Wasserversorgung in der Vegetationszeit zu erklären. Die über 30%ige K-Abnahme von 1984 auf 1987 auf dem Zürichberg ist wohl kaum auf einen Ca/K-Antagonismus zurückzuführen, da bereits 1984 sehr viel Ca aufgenommen wurde und somit die K-Gehalte der Nadeln bereits damals sehr tief gewesen wären. Der Standort Zürichberg ist eher vernässt (Staunässe); die starke K-Abnahme zwischen den zwei Trieberten beruht weniger auf schlechterer K-Aufnahme aus

dem Boden im Jahr 1987 im Vergleich zu 1984, sondern vermutlich eher auf Auswaschungsprozessen. Diese Hypothese wird durch die Tatsache gestützt, dass beim Mangan ebenfalls erhebliche Reduktionen im Nadelgehalt festzustellen waren (Tabelle 2, Abbildung 5). Diese Entwicklung ist wahrscheinlich nur teilweise mit dem leichten pH-Anstieg in dieser Periode zu erklären. Bei den Standorten Höri, Zürichberg und Albis — die beiden letzten gehören zu den am stärksten geschädigten Standorten — sind die Kaliumabnahmen sehr gross, zusammen mit einer bedeutenden Manganreduktion. Diese Kombination deutet auf mögliche Auswaschungen aus den Nadeln hin. Nach Tukey (1970) unterliegen die Elemente K und Mn dem Leaching am stärksten.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Versorgungslage von Kalium könnte die Kernfäule (*Fomes annosus*) bilden. Das Vorkommen dieses Pilzes bei Fichten wird durch Stienen (1989) diskutiert. Leitfähigkeitsmessungen im Kambium von Bäumen, welche in erster Linie auf den Kaliumgehalt dieses Gewebes ansprechen, geben Aufschluss auf den Gesundheitszustand der Bäume. Eine solche Untersuchung könnte eventuell neue Erkenntnisse zu unseren vorliegenden Resultaten liefern.

Die relativ niedrigen Phosphorwerte sind einerseits mit dem Erntezeitpunkt zu erklären, das heisst es handelt sich um Jahrestiefstwerte, andererseits besteht eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen dem austauschbaren Calcium im Boden und den Phosphor-Nadelgehalten von 1987 (Rangkorrelation nach Spearman, $r = -0,473$, $P < 0,0001$). Wegen allgemein hoher Ca-Werte im

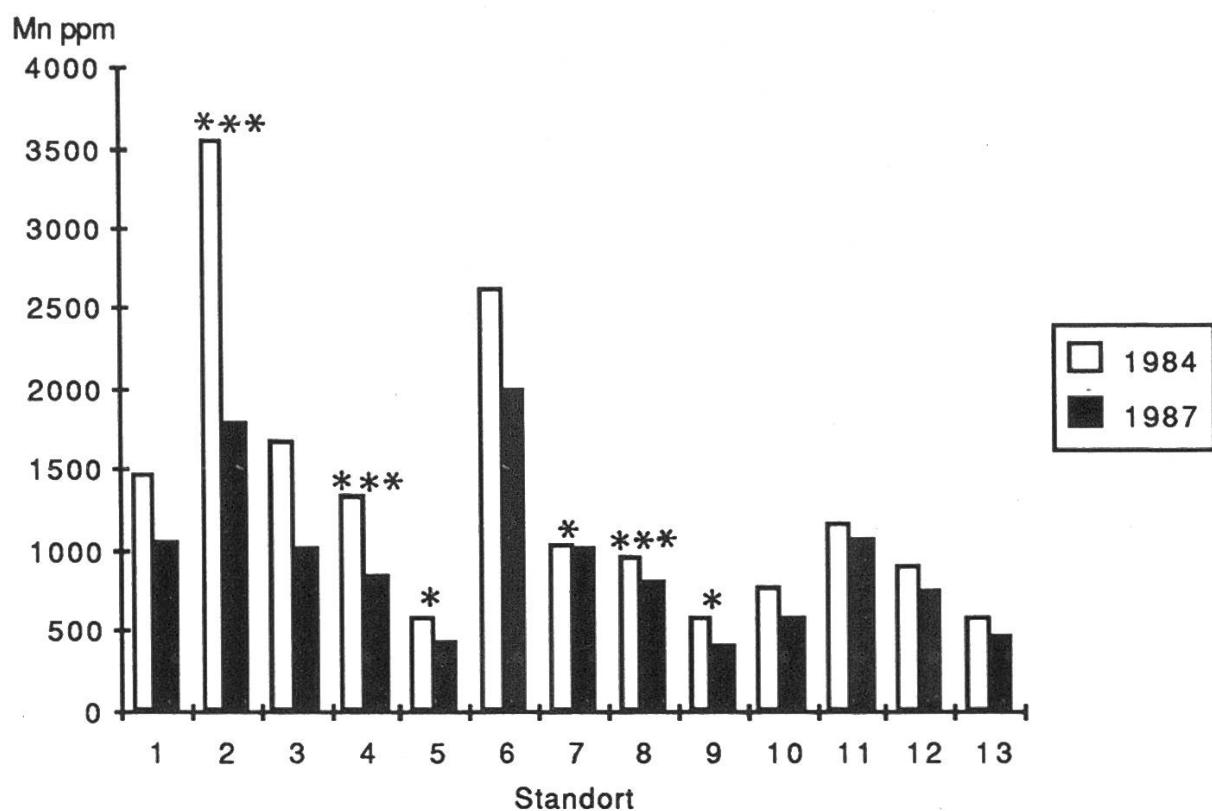


Abbildung 5. Zeitliche Entwicklung der Mangan-Gehalte der Nadeln (1984/87).

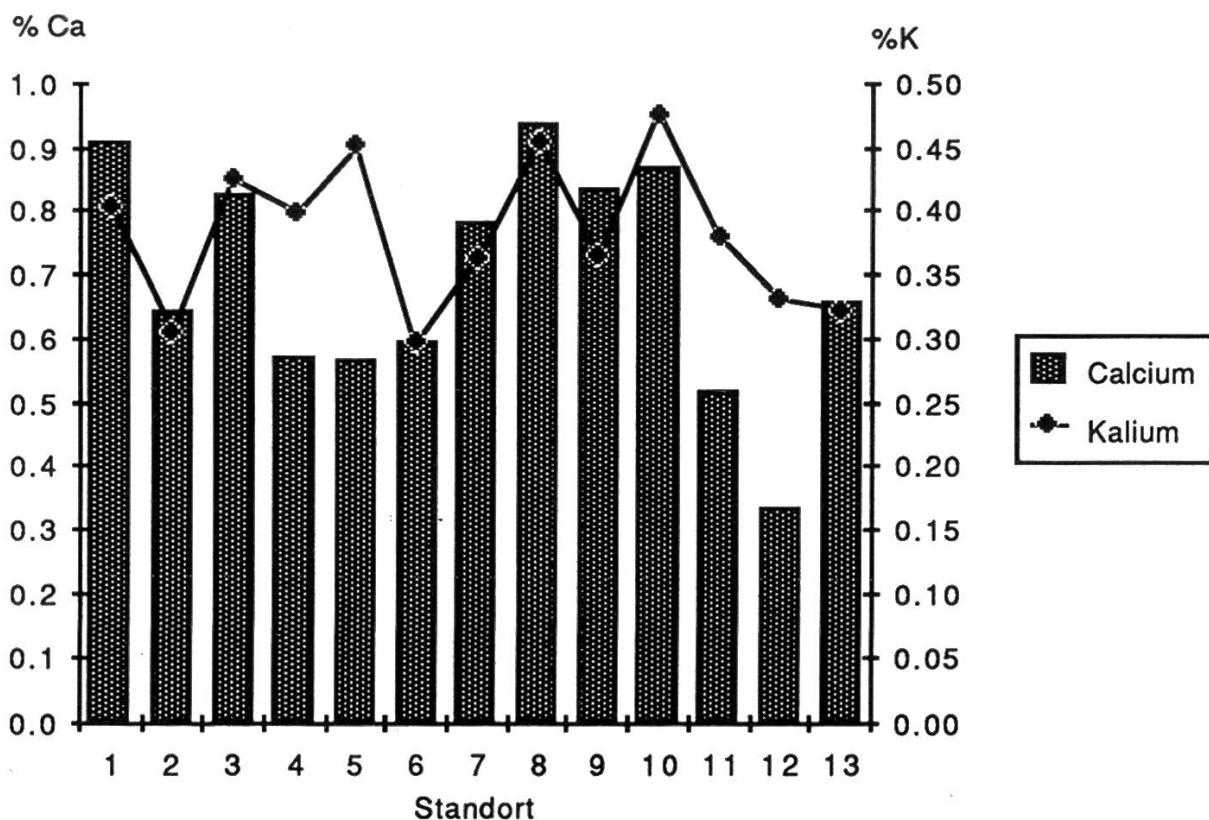


Abbildung 6. Calcium- und Kaliumgehalte der Nadeln (1984).

Boden, sind tiefe P-Nadelgehalte bei uns weitverbreitet. Phosphor-Armut ist auf kalkreichen Böden ein bekanntes Phänomen (*Scheffer und Schachtschabel, 1982; Rehfuss, 1983; Bosch, 1986*). Im alkalischen pH-Bereich wird Phosphor in Form von Calciumphosphat im Boden festgelegt und ist somit für die Pflanzen nicht mehr verfügbar. Bei saurem bis schwachsaurem pH können sich Eisen- bzw. Aluminiumphosphate bilden. Veränderungen der P-Gehalte zwischen 1984 und 1987 fallen kaum ins Gewicht.

Bei den Elementen Stickstoff und Magnesium ergaben sich ebenfalls unwesentliche Veränderungen. Beim Stickstoff ist eine leichte Verschiebung zu tieferen Werten zu verzeichnen; diese ist jedoch nicht signifikant. Magnesium hat nur auf dem Standort Bachtel-West signifikant abgenommen. Im allgemeinen ist eine abnehmende Tendenz zu beobachten. Da bei diesem Nährstoff enorme Unterschiede zwischen den einzelnen Werten bestehen, die in der Literatur für eine normale Versorgung als unzureichend betrachtet werden, ist eine Beurteilung der Versorgungssituation schwierig.

Die Schwermetalle zeigen keine kritischen Werte, wurden aber nur 1984 gemessen, so dass keine Aussage über die zeitliche Entwicklung gemacht werden kann. Unter den übrigen Schadstoffen befindet sich nur der Schwefel im Bereich geringer Belastung (800 bis 1200 ppm). Die Gehalte an Eisen (Fe) und Aluminium (Al) sind wahrscheinlich deshalb hoch, weil ungewaschene Nadeln zur Analyse verwendet wurden. Für eine Oberflächenkontamination der Nadeln

spricht die relativ hohe positive Korrelation ($r = 0,80$; $P 0,0001$) zwischen den Nadelgehalten von Blei und Eisen.

Aus der zeitlichen Entwicklung der Nährstoffversorgung der Fichtennadeln zwischen 1984 und 1987 lassen sich folgende Aussagen machen: Mangan und Kalium weisen eine deutliche Abnahme der Nadelgehalte auf. Der Stickstoff hat gesamthaft leicht abgenommen. Schwermetalle zeigen keine kritischen Werte, und bei den übrigen Schadstoffen liegt nur der Schwefel im Bereich geringer Belastung. Schadenausmass und Nährstoffversorgung zeigen im wesentlichen Übereinstimmung. Grosse Kaliumabnahme auf drei Flächen (Höri, Zürichberg, Albis) kombiniert mit Manganrückgang weist auf mögliche Auswaschungsprozesse hin.

Résumé

Recherches sur la vitalité des épicéas

Pour juger la vitalité et l'évolution des dégâts de l'épicéa, des recherches ont été effectuées sur la phénologie du houppier et de certaines pousses de la cime, la croissance des pousses de la cime, l'état nutritif de l'arbre, les radicelles et la caractérisation des stations forestières. Le but de ce travail consistait dans l'examen d'un effet éventuel des immersions de polluants atmosphériques, du climat et de la station sur l'importance des dégâts et leur évolution.

Literatur

- Bergmann, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 2. Auflage. Fischer, Stuttgart, 762 S.
- Bosch, C. (1986): Standorts- und ernährungskundliche Untersuchungen zur Erkrankung der Fichte (*Picea abies* L. Karst) in höheren Gebirgslagen. Forstliche Forschungsber. München, 75, 250 S.
- Fiedler, J., Nebe, W., Hoffmann, F. (1973): Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Fischer, Jena, 481 S.
- Flückiger, W., Braun, S., Flückiger-Keller, H., et al. (1986): Untersuchungen über Waldschäden in festen Buchenbeobachtungsflächen der Kantone Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Aargau, Solothurn, Bern, Zürich und Zug. Schweiz. Z. Forstwes. 137, 11: 917–1010.
- Kuhl, W. E. (1987): Waldschadenssituation in der Nordeifel. Ergebnisse einer Colour-Infrarot-Luftbildauswertung, Forstarchiv, 58: 13–18.
- 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. Environmental Pollution 56: 155–167.
- Lauterwasser, E. (1988): Forest decline in Baden-Württemberg. Landscape and Urban Planning, 16: 45–56.
- Mayer, H., König, C., Rall, A. (1988): Identifikation von Witterungsereignissen mit pflanzenphysiologischer Stresswirkung für Waldbäume. Forstw. Cbl., 107, 2: 131–140.
- Mettendorf, B., Lange, E., Perpeet, M. (1988): Gesundheitszustand auf den Beobachtungsflächen der FVA Baden-Württemberg. Allgem. Forstzeitschr. 29: 802–803.

- Mettendorf, B., Schröter, H., Hradetzky, J. (1988): Analysenergebnisse zur Schadensentwicklung auf Tannen- und Fichten-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg. Allg. Forst- und J.-Zg., 159, 8: 171–177.
- Moosmayer, H. U. (1988): Stand der Forschung über das «Waldsterben». Allg. Forstz., 50: 1365–1373.
- Mössmer, R. (1986): Verteilung der neuartigen Waldschäden an der Fichte nach Bestandes- und Standortsmerkmalen in den Bayerischen Alpen. Forstl. Forschungsber. München, 73, 144 S.
- Rehfuss, K.E. (1983): Ernährungsstörungen als Ursache der Walderkrankungen. Kali-Briefe 16, 9: 549–563.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart
- Schlaepfer, R., Mandallaz, D., Commarmot, B., Günter, R., Schmid, B. (1985): Der Gesundheitszustand des Waldes im Revier Schaffhausen. Schweiz. Z. Forstwes., 136, 1: 1–18.
- Schmidt-Vogt, H. (1977): Die Fichte. Bd. I. Parey, Hamburg, Berlin, 647 S.
- Schmidt-Vogt, H. (1986): Die Fichte. Bd. II/1. Parey, Hamburg, Berlin, 563 S.
- Schöpfer, W., Hradetzky, J. (1984): Analyse der Bestockungs- und Standortsmerkmale der terrestrischen Waldschadeninventur Baden-Württemberg 1983. Mitt. Forstl. Vers.- und Forsch. Anst. Baden-Württemberg, 110, 148 S.
- Schöpfer, W., Hradetzky, J. (1986): Zuwachsrückgang in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen. Auswertungsmethoden und Ergebnisse. Forstwiss. Cbl. 105, 6: 446–470.
- Schröter, H. (1981): Das Tannensterben in Baden-Württemberg. Stand der Untersuchungen der Abt. Waldschutz der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA). Forstwiss. Cbl. 100: 161–168.
- Stienen, H. (1989): Vergleichende Untersuchungen der Nähr- und Schadelementgehalte in Feinwurzeln von Fichten (*Picea abies* [L.] Karst) aus Waldschadensgebieten. Forstarchiv 60: 13–17.
- Tukey, H.B. (1970): The leaching of substances from plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 21: 305–324.
- Wentzel, K.F. (1983): Höhenzuwachs-Analysen zur Diagnose von Immissionswirkungen. Allg. Forstz., 38, 14: 342.
- Wyttensbach, A., Tobler, L. (1988): The seasonal variation of 20 elements in 1st and 2nd year needles of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. Tree, 2: 52–64.