©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Phyton (Austria)	**Vol. 29**	Fasc. 3 Sonderband „Zillertal"	(111)–(131)	21. 11. 1989

Mineralstoff- und Ionenhaushalt von Fichten entlang eines Höhenprofils im Zillertal (Österreich)

Von

Roland ALBERT*)

Mit 6 Abbildungen

Eingegangen am 22. Mai 1989

Key words: Ionic balance, organic acids, mineral nutrition, *Picea abies*.

Summary

ALBERT R. 1989. Mineral nutrition and ionic balance of needles from spruces along an altitude profile in the Zillertal (Austria). – Phyton (Austria) 29 (3, Special issue "Zillertal"): (111)–(131), 8 figures. German with English summary.

Mineral ion content and the pattern of water soluble ionic constituents of spruce needles from the sites "Schwendberghof" (700 m), "Talwiese" (1000 m), and "Stockaste" (1520 m) correspond roughly to the "usual" situation within spruce needles. Generally, total levels of essential cationic macronutrients (esp. potassium and magnesium) are low, which can be interpreted as possible long-term leaching effects. Additionally, the concentration of water soluble calcium was found to be especially low, however, any physiological implications of this fact can not be evaluated.

Chloride is regularly present at low concentrations. On the other hand, the needles sulfur content at the site "Stockaste" (about 0.1% SO_4-S) points to a high SO_2-influence. Against this, sulfur contents of needles from habitat 1 and 2 resp., lie in the same order of magnitude as SO_4-concentrations within needles of reference trees from clean air areas.

Levels of organic anions (shikimate and quinate) show similar low tendencies as the cation contents, however, an especially steep decrease during leaf ageing – which sometimes can be observed at severely disturbed forest sites – could not be found.

The distribution of micronutrients (Fe, Zn, Cu, Mn) corresponds to the reference values form the literature, neither deficiency nor toxicity levels (Mn) could be found.

Total nitrogen in the first and second needle classes (1.25 to 1.40%) lies somewhat below the mean value of the published reference data; simulanteously, NO_3-levels are also very low. Therefore, no evidence arises for a general N-eutrophication

---

*) Prof. Dr. R. ALBERT, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien (Austria).

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

of the "Zillertal"-habitats due to NO_x-immission and for a severe disturbance of nitrogen metabolism, respectively. Considering the general low levels of the cationic macronutrients, nitrogen may be sufficiently present within the needles. According to the high total phosphorus content of needles (0.15 to 0.42%), the phosphorus supply of trees might be optimal.

On the part of mineral nutrition and ionic balance there seems to be no indication for a direct negative influence on the vitality of the spruces investigated. However, the rather low nutrient status of needles may be a disposing factor with respect to tree damage by other natural or anthropogenic stress factors.

Zusammenfassung

ALBERT R. 1989. Mineralstoff- und Ionenhaushalt von Fichten entlang eines Höhenprofils im Zillertal (Österreich). – Phyton (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal"): (111)–(131), 8 Abbildungen. – Deutsch mit englischer Zusammenfassung.

Mineralstoffgehalt und Muster an wasserlöslichen Ionen im Zellsaft der Fichten zeigen an den drei Standorten Schwendberghof (700 m), Talwiese (1000 m) und Stockaste (1520 m) entlang des Höhenprofiles „Zillertal" keine auffälligen Abweichungen vom „Normbild". Die Absolutgehalte wichtiger Makronährelemente (v. a. K und Mg) liegen allerdings relativ niedrig, möglicherweie als Folge einer gewissen leaching-Gefährdung. Insbesondere ist die sehr niedrige Konzentration an freiem, wasserlöslichem Calcium zu erwähnen, deren physiologische Relevanz sich vorerst nicht abschätzen läßt.

Chlorid ist an allen drei Standorten in niedrigen Konzentrationen in den Nadeln vorhanden. Dagegen muß nach der Höhe des Sulfatgehaltes in der Fichte von Standort 3 (ca. 0,1% Sulfat-S) auf eine nicht unbeträchtliche SO_2-Einwirkung geschlossen werden. Die Sulfatspiegel in den Nadeln der Fichten 1 und 2 liegen dagegen größenordnungsmäßig im Bereich der Sulfatgehalte an „Reinluftstandorten".

Die Gehalte an organischen Säuren (Shikimisäure und Chinasäure) sind parallel zu den Kationenspiegeln niedrig, ein für typische Waldschadensgebiete markanter Abfall mit dem Nadelalter ist aber nicht zu beobachten.

Die Verteilung der Mikroelemente liegt im Rahmen der aus der Literatur bekannten Referenzdaten. Weder Mangelsituationen noch Toxizität (Mn) liegen vor.

Die Stickstoffgehalte der jüngeren Nadeljahrgänge liegen im unteren Bereich der publizierten „Norm-Werte", und auch die Nitratgehalte sind generell niedrig. Demnach gibt es keine Indizien für eine gravierende Störung des Stickstoffhaushaltes der betroffenen Bäume. In Relation zu den allgemein niedrigen Mineralstoffgehalten scheint Stickstoff in ausreichender Menge vorhanden zu sein. Die Phosphorversorgung aller drei Bäume ist sehr gut.

Eine gravierende Beeinflussung der Vitalität der untersuchten Fichten ist von seiten des Mineralstoffwechsels nicht gegeben, doch wirken die niedrigen Nährstoffspiegel möglicherweise disponierend in Bezug auf streßbedingte Baumschädigung.

Einleitung

Ernährungsstörungen stellen eine wesentliche Größe innerhalb der Palette wald- und baumschädigender Streßfaktoren dar (vgl. dazu REHFUESS & al. 1982, ZECH & POPP 1983, BOSCH & al. 1983, BAULE 1984, ISERMANN & HENJES 1985, WYTTENBACH & al. 1985, ZÖTTL & HÜTTL 1985,

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

GLATZEL & al. 1985, BEYSCHLAG & al. 1987, SCHULZE & al. 1987, ALBERT & HÜBLER 1987, ROTHE & al. 1988, KAZDA 1989 u. a.). Abgesehen von der Akkumulation immittierter Stoffe wie Schwefel, Stickstoff, lokal auch Fluor, Chlor und toxische Schwermetalle, sowie von daraus direkt resultierenden Schäden sind die Ernährungsstörungen höchstwahrscheinlich mit der Auswaschung von Mineralstoffen aus der oberirdischen Biomasse und aus dem Boden in Zusammenhang zu bringen: Das „leaching" gewisser Nutrienten (v. a. Mg und K), ein an und für sich natürlicher Faktor in Waldökosystemen, wird bei gleichzeitiger Einwirkung saurer Depositionen ganz wesentlich beschleunigt (vgl. BOSCH & al. 1986, FLÜCKIGER & al. 1988, SEUFERT & ARNDT 1988, ROTHE & al. 1988). Bäume auf ausreichend mit Basen versorgten Waldböden vermögen offensichtlich die Leaching-Defizite rasch zu ergänzen (z. B. BOSCH & al. 1986, FLÜCKIGER & al. 1988). Analysen mitteleuropäischer Waldökosysteme haben indessen gezeigt, daß als Folge anthropogener Belastungen (übermäßiger Biomasseentzug, saure Depositionen u. a.) die Nährstoffsituation vielfach so angespannt zu sein scheint, daß die leaching-bedingten Ionenverluste der Nadeln bzw. des Laubes nicht rasch genug ersetzt werden können, sodaß Nährstoffstreß resultiert. Ein weiterer auf Waldökosysteme destabilisierend wirkender Faktor ist die Stickstoff-Eutrophierung (vgl. BOSCH & al. 1983, ZECH & POPP 1983, BEYSCHLAG & al. 1987, SCHULZE & al. 1987, GLATZEL & al. 1987). Dabei wirken Ammonium-Ionen über das Prinzip des Ionenaustausches zusätzlich leaching-fördernd (FLÜCKIGER & al. 1988).

Jede Analyse des auf Waldbäume einwirkenden Streßmusters muß also den Ernährungszustand der betroffenen Bäume mit berücksichtigen, damit dessen Stellenwert im Rahmen des gesamten Schadfaktorenkomplexes (Klima, Luftchemie, Edaphon) klar wird. Dabei ist anzumerken, daß es auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes nicht möglich ist, die Bereiche beginnender Mängel für die einzelnen Mineralstoffe wirklich exakt anzugeben: Einerseits bestimmen geologische, edaphische, klimatische, genetische und vielleicht noch weitere Faktoren die jeweils aktuellen Bereiche optimaler Ernährung, andererseits sind die Beziehungen zwischen Elementgehalt (bzw. -angebot) und Wachstum insgesamt noch wenig verstanden (FREER-SMITH & TAYLOR 1988). Auch sind die Relationen der einzelnen Nährstoffe zueinander noch nicht in allen Details definierbar. Ausdruck dieser Unsicherheiten ist die starke Streuung der in der Literatur als optimal angeführten Nährstoffspiegel. Aus all diesen Rahmenbedingungen ergibt sich also, daß wir bei der Angabe von „Grenzwerten" für gerade noch ausreichenden Gehalt an gewissen Nährelementen sehr vorsichtig sein müssen, weil allgemeingültige Schwellenbereiche wahrscheinlich gar nicht existieren.

Versuche, die Konzentration an physiologisch aktiven, also wasserlöslichen Ionen in Fichtennadeln zu messen, sind kaum unternommen worden. (vgl. CLEMENT 1984, ALBERT & HÜBLER 1987). Dabei wäre zu erwarten, daß

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

sich eine Destabilisierung des Mineralstoffhaushaltes (namentlich „leaching") gerade auf dieser Ebene stärker manifestieren sollte. Aus grundsätzlichen Überlegungen heraus sind Verschiebungen des Ionengleichgewichts (v. a. auf Seite der Anionen) auch bei Einwirkung höherer Konzentrationen atmosphärischer Schadgase denkbar: NO_x und SO_2 gelangen letztlich als Anionen in die Zellen, werden entsprechend metabolisiert und/oder im Zellsaft abgespeichert (vgl. HOCK & ELSTNER 1988). Ein Rückgang organischer Säureanionen, wohl infolge veränderter Enzymakitivitäten, ist v. a. bei SO_2-Belastung tatsächlich beobachtet worden (GRILL & al. 1980, ALBERT & HÜBLER 1987). Aus der Intensität der Säureproduktion lassen sich zudem gewisse Rückschlüsse auf den allgemeinen Kationen-Versorgungszustand ziehen, da Mineralstoff- und Säurehaushalt höherer Pflanzen eng miteinander verflochten sind (vgl. z. B. DIJKSHOORN 1973, KINZEL 1982). So erscheint die Einbeziehung organischer Säureanionen zur Mitbeurteilung des Allgemeinzustandes, insbesondere des Ernährungszustandes der Fichten durchaus sinnvoll. Von diversen ernährungsphysiologisch besonderen Situationen (Art des N-Angebotes, Mineralstoffmangel, Ionenstreß) weiß man, daß das Verteilungsmuster der Kationen und Anionen zueinander (inkl. organischer Säureanionen) innerhalb einer Pflanzenart erheblich variieren kann (vgl. z. B. DIJKSHOORN 1973, POPP & KINZEL 1971, KINZEL 1982, TROCKNER & ALBERT 1986).

Im Vordergrund dieses Beitrages innerhalb des Gesamtprojektes „Zillertal" stand demnach folgender Fragenkomplex: Lassen sich aus der absoluten Höhe der Nährstoffgehalte bzw. aus der Relation der Einzelspiegel zueinander Hinweise auf vorliegenden Nährstoffstreß gewinnen? Können auf der Grundlage der wasserlöslichen Ionen potentielle Mangelbereiche besser erkannt werden? Und schließlich: lassen sich aus dem speziellen Verteilungsmuster der Anionen und Kationen womöglich diagnostische Schlußfolgerungen ziehen bzw. ergeben sich daraus sogar Ansätze einer Schadensfrüherkennung?

Material und Methoden

Die Nadelproben wurden an drei Fichten (*Picea abies* [L.] KARST., unterer Kronenbereich, 2–5 Zweige) entlang des Höhenprofils Schwendberg/Zillertal von Jänner bis August 1988 geworben: B1 Schwendberghof, 700 m; B2 Talwiese, 1000 m, B3 Stockaste, 1520 m. Nach Trennung in die Einzeljahrgänge und Transport in der Kühlbox (ca. 10°–15°C) wurden die Zweigabschnitte hitzegetrocknet (24 h bei 90°C) und anschließend entnadelt. Im August wurden von allen drei Versuchsbäumen relativ umfangreiche Mischproben (20 bis 100 g) aller 8 vorhandenen Nadeljahrgänge geworben. Die Ergebnisse an diesen Proben werden im folgenden besonders berücksichtigt.

Das fein gemahlene Pulver wurde zur Gewinnung des wasserlöslichen Anteiles der Ionen ½ Stunde mit kochendem A. d., zur Erfassung des Gesamtgehaltes an Kationen (einschließlich der Mikroelemente) ½ Stunde mit heißer 1 N Salpetersäure

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

extrahiert. An den klarzentrifugierten Extrakten wurden die Kationen mittels Atomabsorptions-Spektralphotometrie erfaßt; die anorganischen und organischen Anionen konnten in einem eigens entwickelten „one step"-Verfahren ionenchromatographisch aufgetrennt und quantitativ bestimmt werden (Wescan/Kontron). Trennbedingungen: Standard Anion Column Wescan 269001, Eluent 5 mM Kaliumhydrogenphthalat in 2,5% Methanol, pH 3,7, Fluß 2 ml/min, 70 bar, Temperatur 30°C. Gesamtstickstoff wurde mittels CHN-Automat (Heraeus) und Phosphor nach trockener Veraschung mittels Vanadat-Reagens (Merck) bestimmt.

Ergebnisse

1. Gesamtgehalte an Makro-Kationen

Übereinstimmend mit Literaturbefunden (vgl. z. B. BOSCH & al. 1983, KRIVAN & al. 1986, NIHLGARD 1986) nehmen die Kaliumgehalte aller drei Versuchsbäume mit zunehmendem Nadelalter ab, sehr deutlich bis zum Nadeljahrgang 1985 (ca. 3jährig), weniger deutlich in noch älteren Nadeln (Abb. 1). B1 zeigt dabei regelmäßig die niedrigsten, B2 die höchsten Gehalte. Nach 5 Jahren pendeln sich die Gehalte bei ca. 0,25 bis 0,3% Trockenmasse (TM) ein, und bemerkenswerterweise gleichen sich in den ältesten Nadeln (1981) die drei Bäume einander an (ca. 0,28%). Nur in B2 und B3 liegen in den 2 jüngsten Nadeljahrgängen 1988 und 1987 die K-Gehalte zwischen 0,4 und 0,5%, also gerade noch im unteren Bereich der rel. breiten Skala zwischen ca. 0,35 und 0,9%, die für die Kaliumgehalte in gesunden bzw. gesund erscheinenden Fichtennadeln dieser Altersklassen an verschiedensten Standortstypen (einschließlich anderer österreichischer Standorte) angegeben wird (vgl. STEFAN 1982, REHFUESS & al. 1982, BOSCH & al. 1983, ZECH & POPP 1983, WYTTENBACH & al. 1985, NIHLGARD 1986, KRIVAN & al. 1986, LANGE & al. 1987, HÜTTL & WISNIEWSKI 1987, HUNGER & MARSCHNER 1987, ALBERT & HÜBLER 1987 u. a.). Zu bemerken ist dabei, daß nach HÜTTL & WISNIEWSKI 1987 bzw. ZÖTTL & HÜTTL 1985 die Kaliumgehalte von Fichtennadeln in vergleichbaren Beständen des süddeutschen Raumes im Zeitraum von 1961/64 bis 1981/83 dramatisch von durchschnittlich 0,98% auf 0,37% abgesunken sind. Gleichzeitig fielen auch Mg und Ca ab. Die Autoren führen diese Veränderungen auf die nadel- und bodenauswaschende Wirkung saurer Depositionen zurück. B1 erreicht selbst im jüngsten Nadeljahrgang nicht die 0,4%-Schwelle (Abb. 1). Manche Autoren setzen die Schwelle beginnenden Kalium-Mangels bereits bei Gehalten in dieser Größenordnung an, bzw. sogar noch höher (ZÖTTL & HÜTTL 1985, ISERMANN & HENJES 1985, HÜTTL & FINK 1988, ALENÄS & SKÄRBY 1988), z. T. aber auch noch tiefer (STEFAN 1982, 0,2%). Bei aller Relativität derartiger Grenzwerte lassen sich doch gewisse Hinweise zur allgemeinen Kaliumsituation an einem konkreten Standort gewinnen. Demnach scheint die Kaliumversorgung von B1 jedenfalls unteroptimal zu sein, während dieses Nährelement den Bäumen 2 und 3 gerade noch ausreichend zur Verfügung steht. Etwa 8 Jahre alte Nadeln einiger österreichischer Vergleichsstandorte

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

(z. B. Reichraminger Hintergebirge [Oberösterreich], Frojach [Steiermark]) enthielten immer noch ca. 0,4 bis 0,5% Kalium (ALBERT & HÜBLER 1987). Offensichtlich besteht in Abhängigkeit von der standortspezifisch vorgegebenen K-Versorgungslage ein komplexes Gleichgewicht zwischen den verschieden alten Nadeln: Bei guter Versorgung bleiben in den alternden Nadeln Kaliumreserven zurück, bei suboptimaler Versorgung, wie offenbar an den Zillertal-Standorten gegeben, entziehen die jüngeren Nadeljahrgänge den älteren das Kalium nur bis zu einer gewissen Grenze, sodaß zwar die jüngsten Nadeln nicht bis zum Optimum aufgefüllt werden, extremer Kalium-Mangel in älteren Nadelstadien aber verhindert wird. Die Mechanismen dieser für das Funktionieren des komplexen Systems unterschiedlich alter Nadeln sehr sinnvollen Verteilung der Ionen (sofern sie mobil sind) innerhalb der Nadeljahrgänge sind unklar (vgl. dazu LANGE & al. 1987).

In gesunden ein- bis zweijährigen Nadeln liegt ca. 0,06 und 0,18% Mg vor (STEFAN 1982, REHFUESS & al. 1982, ZECH & POPP 1983, WYTTENBACH & al. 1985, ZÖTTL & HÜTTL 1985, NIHLGARD 1986, HUNGER & MARSCHNER 1987, ZÖTTL 1987, ALBERT & HÜBLER 1987 u. a.). Die Ausgangswerte der Zillertal-Fichten im jüngsten Nadeljahrgang betragen ca. 0,08% in allen drei Versuchsbäumen und liegen somit (wie Kalium) in dem Bereich unterdurchschnittlicher Werte von in- und ausländischen Referenzstandorten. Ebenso läßt sich auch eine mit dem Nadelalter fallende Tendenz feststellen (vgl. KRIVAN & al. 1986), bis sich im Nadeljahrgang 4 die Blattspiegelwerte bei etwa 0,05 (B1 und B3), bzw. 0,03% (B2) stabilisieren. Alle älteren Nadeljahrgänge würden somit bereits kritische Mg-Gehalte aufweisen. Vergilbungen, die auf Mg-Mangel hingedeutet hätten, traten aber nie auf, auch nicht bei B2. Hier ist anzumerken, daß eine Einschätzung der Mineralstoffversorgung alter Nadeln noch weitgehend fehlt. Vermutlich verschieben sich alle Grenzbereiche nach unten. Die Grenzbereiche beginnenden Mg-Mangels in jungen Nadeln sind in der Literatur in einem sehr weiten Streubereich von 0,03 bis 0,1% TM angegeben (vgl. KÜPPERS & al. 1985, LANGE & al. 1987, ISERMANN & HENJES 1985). Erschwert wird die Definition optimaler Blattspiegelwerte für Mg noch dadurch, daß offenbar eine enge Korrelation zwischen der Verfügbarkeit des Mg im Boden und dessen Gehalt in den Nadeln besteht (SCHULZE & al. 1987). Das führt dazu, daß Fichtennadeln z. T. überoptimal, bis zu Blattspiegelwerten von über 0,2% Mg anzureichern vermögen (Angaben in HÜTTL & WISNIEWSKI 1987, ZÖTTL 1987, ALBERT & HÜBLER 1987), ist aber auch der Grund, daß sich an Mg verarmte Fichtennadeln nach entsprechender Düngung rasch wieder mit Mg auffüllen und ergrünen (z. B. BEYSCHLAG & al. 1987, HÜTTL & WISNIEWSKI 1987).

Ausgangswerte für Calcium in jungen Nadeln (0,2 bis 0,3%) sowie Endwerte nach 8 Jahren (0,6 bis 1%) entsprechen den Angaben aus der Literatur über Calcium-Gehalte in Fichten über silikatischem, Ca-armem Untergrund. Entsprechend der ausschließlichen Xylem-Mobilität reichert sich Calcium regelmäßig mit dem Nadelalter an (vgl. STEFAN 1982, KRIVAN

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

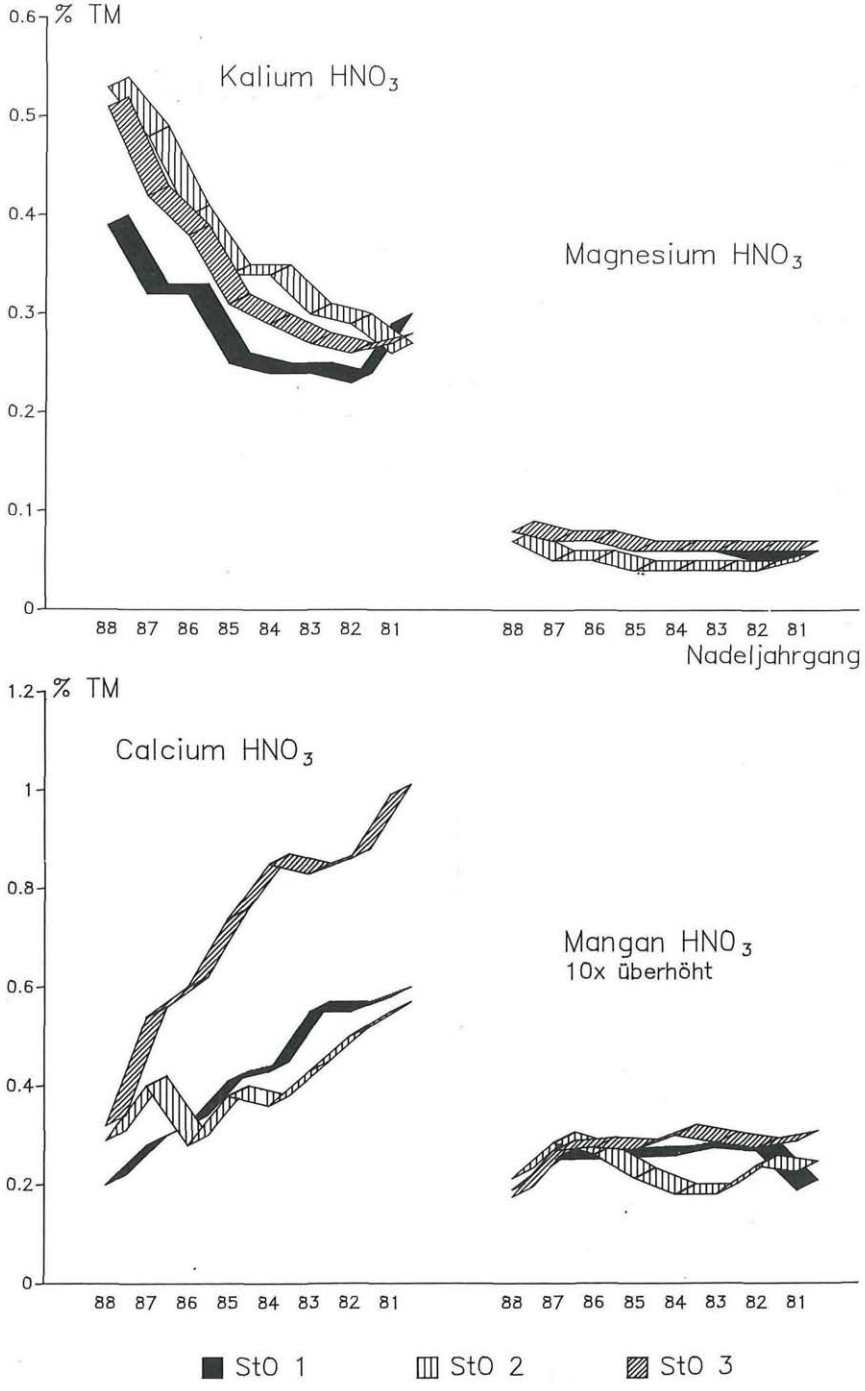


Abb. 1. Gehalt an säurelöslichen Kationen (= Gesamtgehalte) in unterschiedlich alten Nadeln an den drei Standorten; Aufsammlung von August 1988.

Fig. 1. Content of acid soluble cations (= total content) within needles of different age on the three sites (StO); data as % dry matter (TM); harvesting time August 1988.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

& al. 1986, BOSCH & al. 1983, 1986, NIHLGARD 1986, ALBERT & HÜBLER 1987). Über Kalk bzw. Dolomit erreichen Nadeln bis zu 2% und mehr Calcium (ALBERT & HÜBLER 1987). Calcium und Mangan sind besonders von der Verfügbarkeit im Substrat (Geologie, pH-Wert) abhängig, daher streuen bei Standortvergleichen die Calcium- und Mangan-Gehalte viel stärker als die Gehalte an Mg und K. In der Literatur gilt auch Ca als auswaschungsgefährdet (vgl. BOSCH & al. 1983). Angesichts der breiten Streuung von Calciumgehalten in Nadeln erscheint die Angabe von kritischen Grenzwerten beginnenden Mangels besonders problematisch. Niedrige Angaben von 0,04 bis 0,15% (STEFAN 1982) erscheinen dabei glaubwürdiger als Vorschläge für höhere Grenzen von HÜTTL & FINK (1988): 0,2%, bzw. von BOSCH & al. (1983): 0,6%. Die allgemein niedrige Kationen-Versorgung aller drei Bäume könnte ein Indiz dafür sein, daß auch die Standorte im Zillertal – wie im übrigen Mitteleuropa – einer potentiellen Leaching-Gefahr ausgesetzt sind.

Relationen zwischen den Blattspiegelwerten und den Gehalten der entsprechenden Nährstoffe im Boden (vgl. MAJER 1989, in diesem Band) lassen sich nicht erkennen. Am auffälligsten gilt dies für Calcium: der Gesamtgehalt im Boden ist etwa um den Faktor 10 höher als an den beiden anderen Standorten, dennoch sind Totalgehalt und wasserlösliche Fraktion in den Nadeln gerade bei diesem Baum am niedrigsten! Auch die niedrigen Kalium-Spiegel von Baum 1 stehen im Widerspruch zu der hier vorliegenden höchsten prozentuellen Belegung des Sorptionskomplexes mit Kalium. Höchstwahrscheinlich wird die Ionenaufnahme maßgeblich auch von anderen ökologischen Faktoren (Staunässe, Trockenbelastung, Mykorrhiza . . .) mitbestimmt.

2. Das Muster der löslichen Ionen

Der Unterschied zwischen dem Gesamtpool an K und dessen wasserlöslicher Fraktion ist gering, etwa 10 bis 20%, während für Mg, Mn, v. a. aber für Calcium die freien, physiologisch aktiven Ionen nur einen Bruchteil des Totalgehaltes betragen (vgl. Abb. 1 und 2). Die zweiwertigen Ionen werden an Negativladungen der Zellwände, Membranen und Plasmakolloide adsorptiv gebunden, und durch Ca-Oxalat-Fällung wird der überwiegende Teil des aufgenommenen Calciums festgelegt (vgl. CLEMENT 1984). Die gefundenen Nadelspiegelwerte an löslichem Calcium zwischen 10 und 30 µVal/g TM sind, verglichen mit Referenzbäumen aus anderen österreichischen Waldbeständen (ALBERT & HÜBLER 1987), in Nadeln aller drei Versuchsbäume außerordentlich niedrig. Zumindest in jungen Nadeln liegt Calcium also nur etwa um den Faktor zwei über der Konzentration an löslichem Mangan. Auch die Konzentration an löslichem Magensium ist entsprechend den moderaten Gesamtgehalten gering. Dieses Mißverhältnis zwischen den zweiwertigen Ionen ist wegen möglicher Kompetitionen um

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

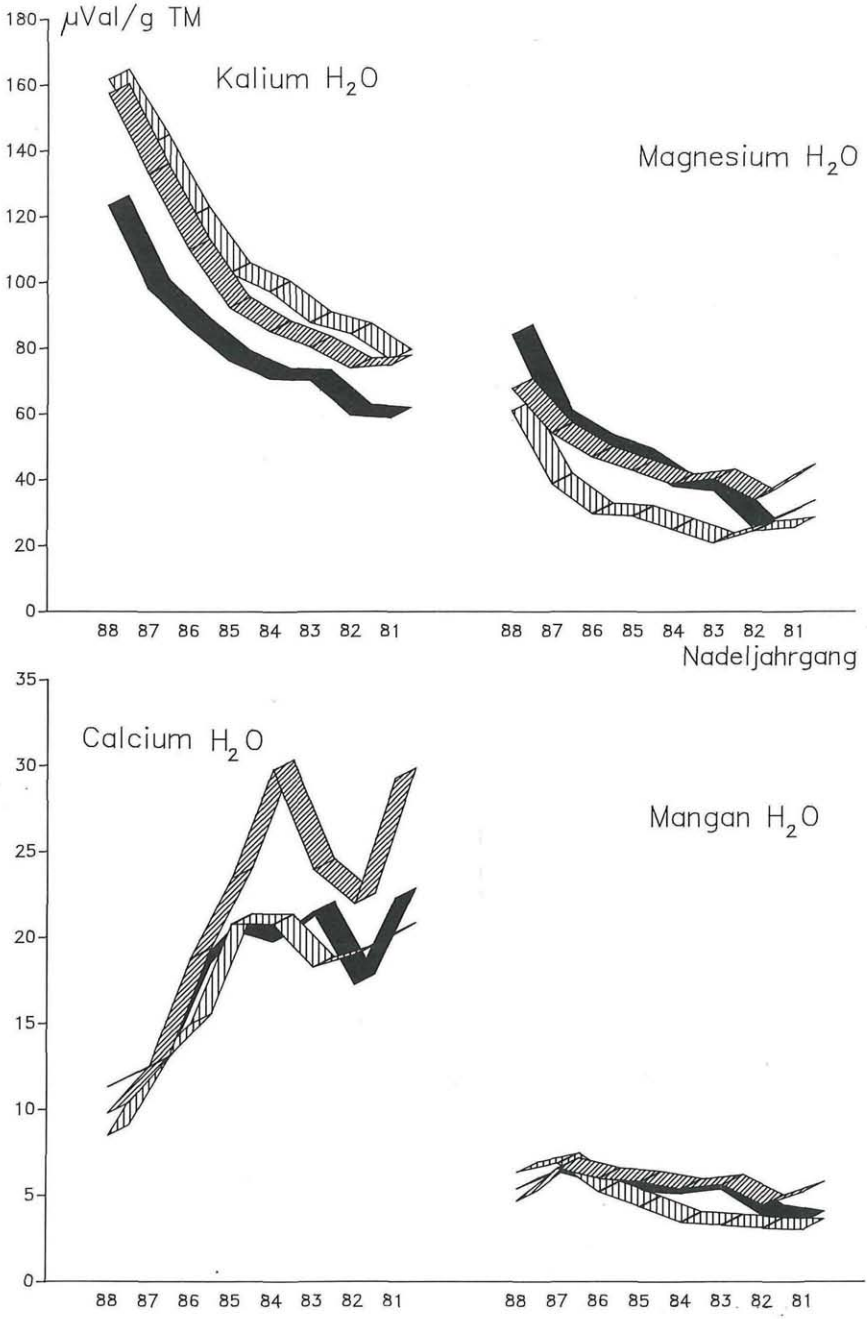


Abb. 2. Gehalt an wasserlöslichen Kationen in unterschiedlich alten Nadeln an den drei Standorten; Aufsammlung von August 1988. Signaturen wie Abb. 1.

Fig. 2. Content of water soluble cations within needles of different age on the three sites (StO); data as micro-equivalents per g dry matter; harvesting time August 1988. Symbols see Fig. 1.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Bindungsstellen im Cytoplasma bzw. an Membranen stoffwechselphysiologisch vielleicht nicht ganz unbedenklich. Leider gibt es zur Abschätzung ausreichender Spiegel an wasserlöslichen Ionen, insbesondere zur Einschätzung des Verhältnisses der zweiwertigen Kationen zueinander, so gut wie keine Anhaltspunkte in der Literatur, da ja üblicherweise nur Totalgehalte erfaßt werden. Darüberhinaus fehlt auch noch jeder Ansatz, die aktuelle Lösungskonzentration gewisser Elemente in den entscheidenden Zellkompartimenten zu erfassen. Erst auf der Grundlage derartiger Analysen, welche die tatsächliche physiologische Relevanz der entsprechenden Nährstoffe berücksichtigen, wird man dem Problem absoluter Mangelbereiche etwas näher kommen. Hier besteht ein großer Nachholbedarf der Baumphysiologie (vgl. dazu auch KRIVAN & al. 1986).

Die überwiegenden anionischen Bestandteile in Fichtennadeln sind die organischen Anionen Chinat und Shikimat (vgl. dazu GRILL & al. 1980, CLEMENT 1984, ALBERT & HÜBLER 1987), während die anorganischen Anionen Chlorid, Nitrat und – solange die SO_2-Immission niedrig bleibt – auch Sulfat nur wenige Prozent zur Gesamtanionensumme beisteuern (vgl. Abb. 3). Chlorid-Gehalte in Fichtennadeln anderer Waldbestände (WYTTENBACH & al. 1985, ALBERT & HÜBLER 1987) belaufen sich auf ca. 5 bis 40 µVal, wobei eine Korrelation zur Höhe der Luftbelastung nicht zu bestehen scheint. Das in der Nadel gespeicherte Chlorid stammt sowohl aus dem Boden als auch (zum wahrscheinlich viel geringeren Teil) aus der Luft (HCl-Immission). Die niedrigen Gehalte sind physiologisch von geringer Relevanz, weder hinsichtlich einer osmotischen Bedeutung, noch aus toxikologischer Sicht.

Nitrat ist in allen Nadeljahrgängen und an allen drei Standorten nur in Spuren vorhanden. Tendenzen einer Akkumulation infolge höherer NO_x-Einwirkung etwa am Standort Ramsau, bzw. Ansätze eines Ozon-induzierten NO_3-Anstieges in den Nadeln (vgl. KRAUSE 1988) lassen sich nicht erkennen. Da Waldbäume i. a. über ein gewisses, wenn auch sehr geringes Stickstoff-Reduktionsvermögen verfügen, und die direkte Aufnahme von NO_x durch die Spaltöffnungen für krautige Pflanzen gut nachgewiesen ist (vgl. HOCK & ELSTNER 1988), gilt potentielle NO_x-Verwertung wohl auch für Holzpflanzen, obwohl gerade hier die quantitativen Zusammenhänge noch weitgehend unklar sind (vgl. STEWART & al. 1987).

Das dominierende Ion auf der Ebene der anorganischen Anionen ist Sulfat. Zwischen den Versuchsbäumen bestehen sehr deutliche Unterschiede, wobei hervorzuheben ist, daß kein Zusammenhang zwischen der Höhe der registrierbaren SO_2-Immission und den SO_2-Blattspiegelwerten besteht: Baum 3, der offensichtlich geringeren SO_2-Immissionen ausgesetzt ist, enthält wesentlich mehr Sulfat als B1 und B2. Nach GASCH & al. 1988 ist der „normale" Gehalt an organischem Schwefel in Fichtennadeln etwa zwischen 0,06 und 0,1% Trockenmasse anzusetzen. Eine potentielle Gefährdung der Bäume durch SO_2-Immission ist nach den eben zit. Autoren dann gegeben, wenn die Relation von organischem zu anorganischem Schwefel

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

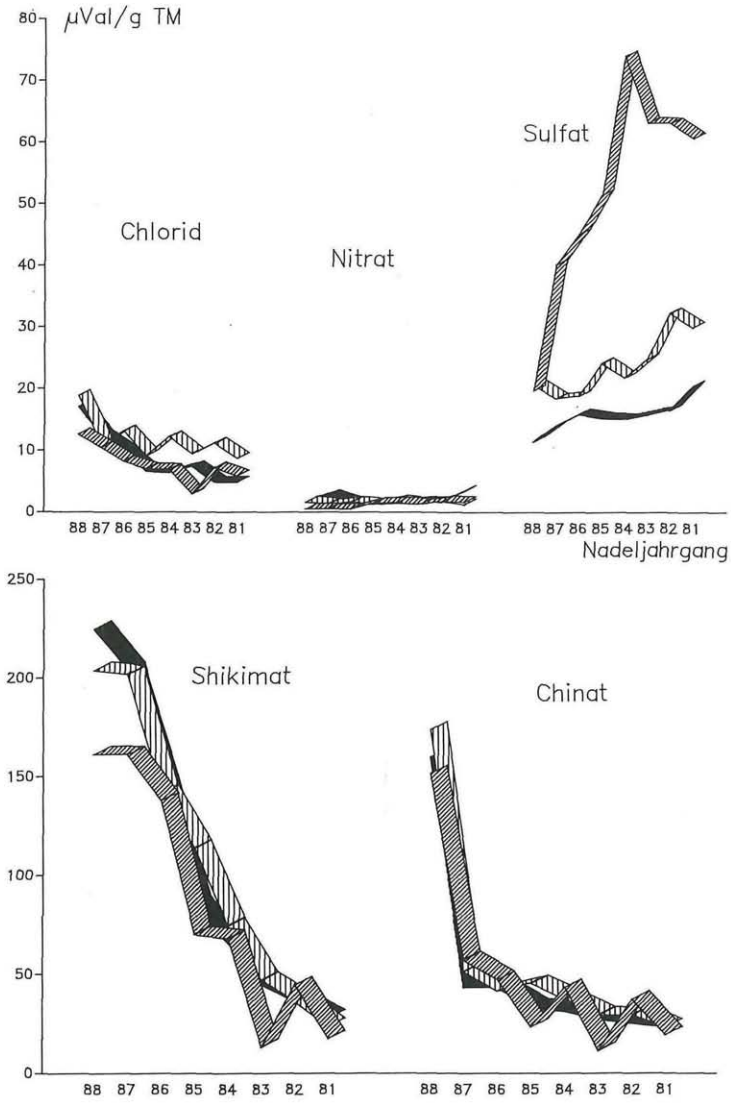


Abb. 3. Gehalt an wasserlöslichen Anionen in unterschiedlich alten Nadeln an den drei Standorten; Aufsammlung von August 1988. Signaturen wie Abb. 1.

Fig. 3. Content of water soluble anions within needles of different age on the three sites (StO); data as micro-equivalents per g dry matter; harvesting time August 1988. Symbols see Fig. 1.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

unter 1 abfällt. Da der Gehalt an Sulfat-Schwefel in den Nadeln von B3 rund 0,1% beträt (ca. 60 µVal/g TM), also bereits in den oben erwähnten Bereich für den Gehalt an org. Schwefel fällt, könnte für diesen Baum die Schwelle möglicher SO_2-Schädigung bereits erreicht worden sein – vorausgesetzt, der zusätzliche anorganische Schwefel gelangt überwiegend als SO_2 über die Spaltöffnungen in die Nadeln und wird dort nach entsprechenden Redox-Reaktionen als Sulfat gespeichert (vgl. z. B. JÄGER & al. 1986). Es ist jedenfalls bemerkenswert, daß Sulfat in alten Nadeln des Standortes 3 mit rund 60 µVal/g TM zum absolut dominierenden Anion wird; Chinat und Shikimat erreichen jeweils nur ca. 25 µVal/g TM. Allein schon dieser Umstand deutet auf eine zellphysiologisch nicht unbedenkliche Ionensituation hin. Referenzbäume aus echten Reinluftgebieten (z. B. Reichraminger Hintergebirge) enthielten bis zum 8. Nadeljahrgang nur ca. 10 µVal Sulfat pro g TM (entspr. einem Sulfat-S-Gehalt von nur 0,016%) (ALBERT & HÜBLER 1987).

Im Vergleich zu Probebäumen von anderen anthropogen beeinflußten Standorten innerhalb Österreichs erwies sich Baum 3 als ebenso stark SO_2-gefährdet wie die am stärksten belasteten Bäume in Schöneben (Böhmerwald) bzw. die mittelstark belasteten Bäume aus dem Raum Judenburg/Aichfeld (ALBERT & HÜBLER 1987). Extremer SO_2-Immission ausgesetzte Bäume liegen ca. um den Faktor 2 bis 4 über den Werten des Zillertal-Baumes 3. Offensichtlich sind für die bezüglich der registrierten SO_2-Immission und der tatsächlichen Sulfatgehalte der Nadeln widersprüchliche Situation entlang des Höhenprofils klimatische Inversionen verantwortlich, die zur Konzentrierung von Schadstoffen innerhalb relativ schmaler vertikaler Höhenzonen führen könnten, welche sich der nur punktuell durchführbaren immissionschemischen Analyse entziehen. Daß im Sinne einer Bioindikation die Bäume selbst bessere Beurteilungskriterien für die Wirkung gewisser Luftschadstoffe sind, ist ja allgemein akzeptiert (vgl. das „Bioindikatornetz" der FBVA). Nach GLATTES 1989 (vgl. Beitrag in diesem Band) gibt es allerdings keine Unterschiede im Gesamtschwefel-Gehalt der Bäume entlang des Höhenprofils – zumindest für die jüngsten Nadeljahrgänge. Der relativ höhere Sulfat-Schwefel-Anteil von Baum 3 könnte also auch darauf beruhen, daß in den Hochlagen mit weit ungünstigeren Lebensbedingungen weniger über die Photosynthese bereitgestellte Reduktionskraft zur Überführung des anorganischen Schwefels in organische Schwefelverbindungen zur Verfügung steht als in den talnäheren Bäumen.

Die beiden organischen Hauptanionen Shikimat und Chinat nehmen mit dem Nadelalter kontinuierlich ab, was für Fichten durchaus typisch ist. Verglichen mit Nadelproben anderer österreichischer Provenienzen (ALBERT & HÜBLER 1987) liegen die Werte unterdurchschnittlich niedrig. Vermutlich hängt dies mit dem niedrigen Kationengehalt zusammen: die Synthese der zur Wahrung der Ionenbalance notwendigen organischen

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Säureanionen wird u. a. von der Menge verfügbarer Kationen mitbestimmt (POPP & KINZEL 1981, KINZEL 1982).

3. Die Mikroelemente

Für keines der untersuchten Mikroelemente Mn, Cu, Fe und Zn ergaben sich Andeutungen einer kritischen Situation (Abb. 1 und 4). Die Gehalte liegen in den meisten Fällen sogar eher im oberen Bereich der in der Literatur mitgeteilten Referenzwerte (vgl. z. B. REHFUESS & al. 1982, BOSCH & al. 1983, 1986, NIHLGARD 1986, ZECH & POPP 1983, WYTTENBACH & al. 1985, ROTHE & al. 1988). Dies gilt auch bezüglich einiger Vergleichsstandorte in Österreich (ZVACEK 1988). Die in HÜTTL & FINK 1988 mitgeteilten Mangelgrenzen werden in allen Fällen weit überschritten. Erwähnenswert ist, daß sich gewisse Unterschiede im Mikroelement-Gehalt der Böden an den einzelnen Standorten (v. a. Zn und Mn betreffend; vgl. MAJER in diesem Band) tendenziell in den entsprechenden Nadelgehalten widerspiegeln.

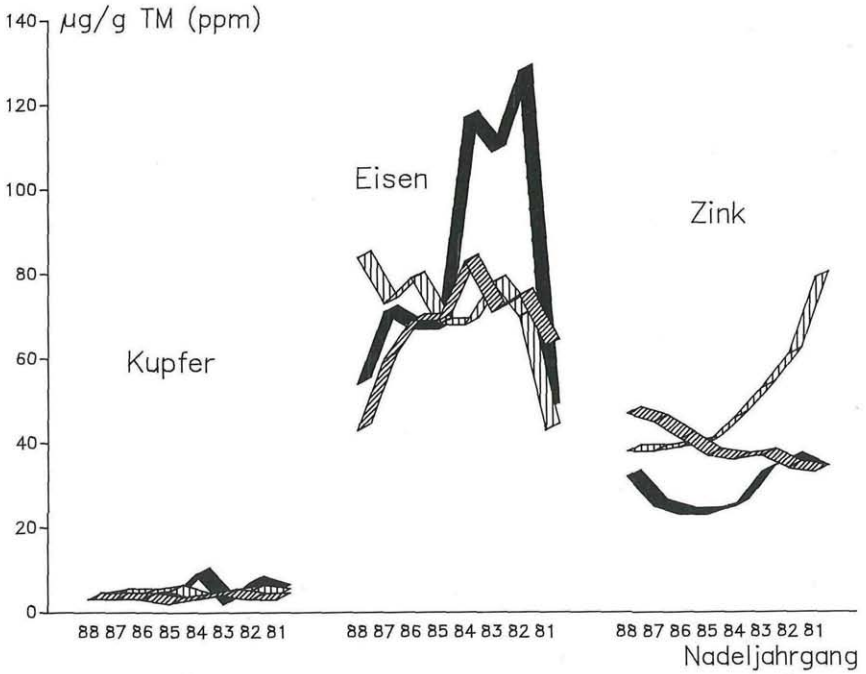


Abb. 4. Gehalt an Mikrometallen in unterschiedlich alten Nadeln an den drei Standorten; Aufsammlung von August 1988. Signaturen wie Abb. 1.

Fig. 4. Content of microelements Cu, Fe, and Zn within needles of different age on the three sites (StO); data as µg per g dry matter (ppm); harvesting time August 1988. Symbols see Fig. 1.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Mangan zeigt von allen Nährelementen die breiteste Variation zwischen unterschiedlichen Standorten: verstärkte Aufnahme bei fallenden pH-Werten und unter reduzierenden Bedingungen ist für Mangan sehr charakteristisch (vgl. z. B. WYTTENBACH & al. 1985, ZVACEK 1988). Die hier gefundenen Werte zwischen rund 200 und 300 µg/g TM sind als typisch für mäßg saure Waldstandorte anzusehen. Fehlende Akkumulationstendenzen mit dem Nadelalter (an Standort 2 sogar leicht fallende Gehalte!) zeigen eine eher geringe Manganverfügbarkeit an. ZVACEK fand in Fichtennadeln über Kalk mit 40 bis 50 µg/g TM Mangan-Gehalte, die sich bereits dem Mangelbereich nähern könnten. Über kritische Obergrenzen beginnender Mangan-Toxizität herrscht weniger Klarheit, tatsächlich finden sich in Nadeln – geologisch bedingt – sehr oft Gehalte, die weit über 1000 µg/g TM liegen (WYTTENBACH & al. 1985, NIHLGARD 1986, ALBERT & HÜBLER 1987, ZVACEK 1988). Mit Sicherheit ist Mangantoxizität ganz wesentlich auch von der Magnesium- und Calciumversorgung abhängig (vgl. Seite 118 ff).

4. Stickstoff

Mit Gehalten zwischen ca. 1,25 und 1,40% TM (vgl. Abb. 5) scheint Stickstoff für die ersten drei Nadeljahrgänge in ausreichender Menge vorhanden zu sein, obwohl wie im Falle der Makro-Kationen Referenzwerte aus der Literatur z. T. (wesentlich) höher liegen (vgl. z. B. BOSCH & al. 1983: 1,59 bis 2,0; KAUPENJOHANN & al. 1987: 1,31 bis 1,72; HUNGER & MARSCHNER 1987: 1,45 bis 1,66). Doch liegen auch eine Reihe von Daten über Blattspiegelwerte vor, die mit den Zillertal-Bäumen vergleichbar sind (z. B. STEFAN 1982, NIHLGARD 1986). STEFAN 1982 sowie ZÖTTL & HÜTTL 1985 setzen beginnenden Mangel bei 1,3% Stickstoff im jüngsten Nadeljahrgang an, BOSCH & al. 1983 konzidieren den Bäumen mit bis zu 2% N aus Gebieten mit hoher N-Deposition immerhin eine „vorzügliche" N-Ernährung. Gerade für Stickstoff ist es wohl kaum zulässig, auf Basis der Absolutgehalte „Mangelgrenzen" zu ziehen, ohne die Verteilung der übrigen Nährelemente zu berücksichtigen. In Verbindung mit den vergleichsweise niedrigen Spiegeln anderer Nährelemente in den Zillertal-Bäumen erscheinen die gefundenen Stickstoffwerte zwischen 1,25 und 1,4% als durchaus adäquat und deuten weder auf Mangel noch auf N-Eutrophierung hin. Unter den gegebenen Umständen vermögen die Bäume offenbar das Gesamt-Angebot an Stickstoff (Deposition: rund 10 kg N pro Hektar und Jahr – vgl. SMIDT & al. 1988) in Biomasse umzusetzen. Auch die niedrigen Nitratgehalte der Nadeln deuten auf weitgehend störungsfreien N-Haushalt hin.

Ab Nadeljahrgang 4 fallen die N-Gehalte merklich ab: einerseits setzt Retranslokation löslicher N-Verbindung in die stoffwechselphysiologisch aktiveren jüngeren Nadeln ein, andererseits nimmt die Trockenmasse der Nadeln zu (innere Ausgestaltung, Zunahme an Aschestoffen), sodaß der darauf bezogene N scheinbar zurückgeht. Mangels Referenzdaten an alten

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

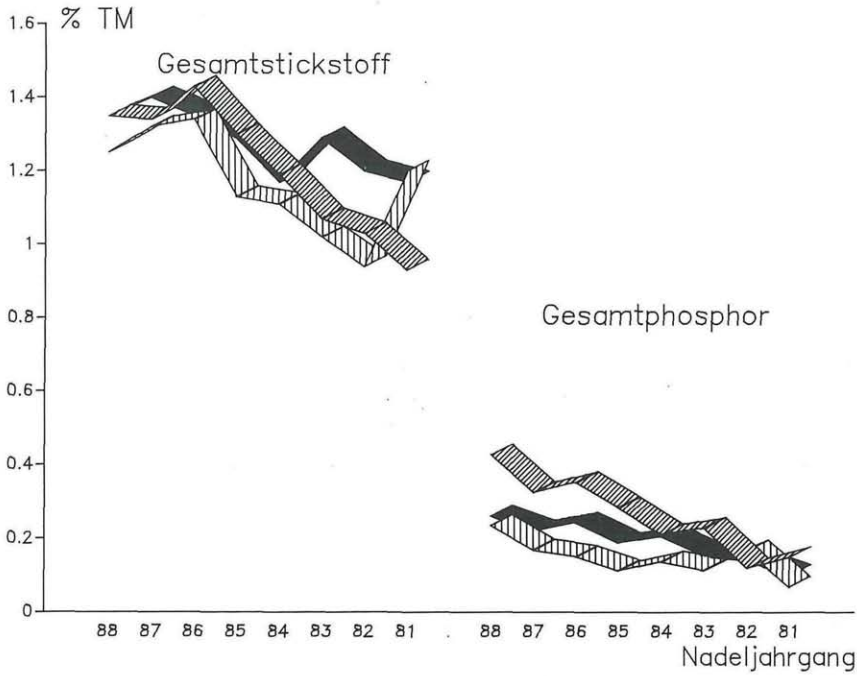


Abb. 5. Gesamtgehalt an Stickstoff und Phosphor in unterschiedlich alten Nadeln an den drei Standorten; Aufsammlung von August 1988. Signaturen wie Abb. 1.
Fig. 5. Total nitrogen and phosphorus content within needles of different age on the three sites (StO); data as % dry matter; harvesting time August 1988. Symbols see Fig. 1.

Nadeln kann die vorliegende Dynamik aber kaum interpretiert werden. Allenfalls ist der geringere Rückgang des Stickstoffs an Nadeln des Baumes 1 mit der höheren NO_x-Immission in den Talbereichen in Verbindung zu bringen (SMIDT & al. 1988).

5. Gesamt-Phosphor

Die in Abb. 5 dargestellten Phosphorgehalte belegen die sehr gute Phosphorernährung aller drei Bäume, namentlich von B3. Engpässe auf der Ebene des Energiehaushaltes oder der Photosynthese scheinen demnach trotz allgemeiner Abnahme der P-Spiegelwerte mit dem Nadelalter nicht vorzuliegen. Im Gegensatz zu den übrigen Hauptnährstoffen sind die vorliegenden P-Gehalte von ca. 0,15 bis 0,42% gegenüber Literaturdaten als überdurchschnittlich hoch einzustufen. Referenzwerte für junge Nadeln liegen zwischen 0,10 bis 0,22% (z. B. BOSCH & al. 1983, ZÖTTL & HÜTTL 1985, NIHLGARD 1986, HUNGER & MARSCHNER 1987), also Gehalten, die sogar noch

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

von alten Nadeln der Zillertalbäume überschritten werden. Der besonders hohe Phosphorstatus von Baum 3 mag mit der Schwierigkeit zusammenhängen, das vorhandene P-Angebot unter den in nahezu 1600 m Seehöhe herrschenden Bedingungen in Wachstum umzusetzen, sodaß sich wahrscheinlich Phosphat-Ionen im Zellsaft anreichern.

6. Jahresperiodizität der Mineralstoffspiegel

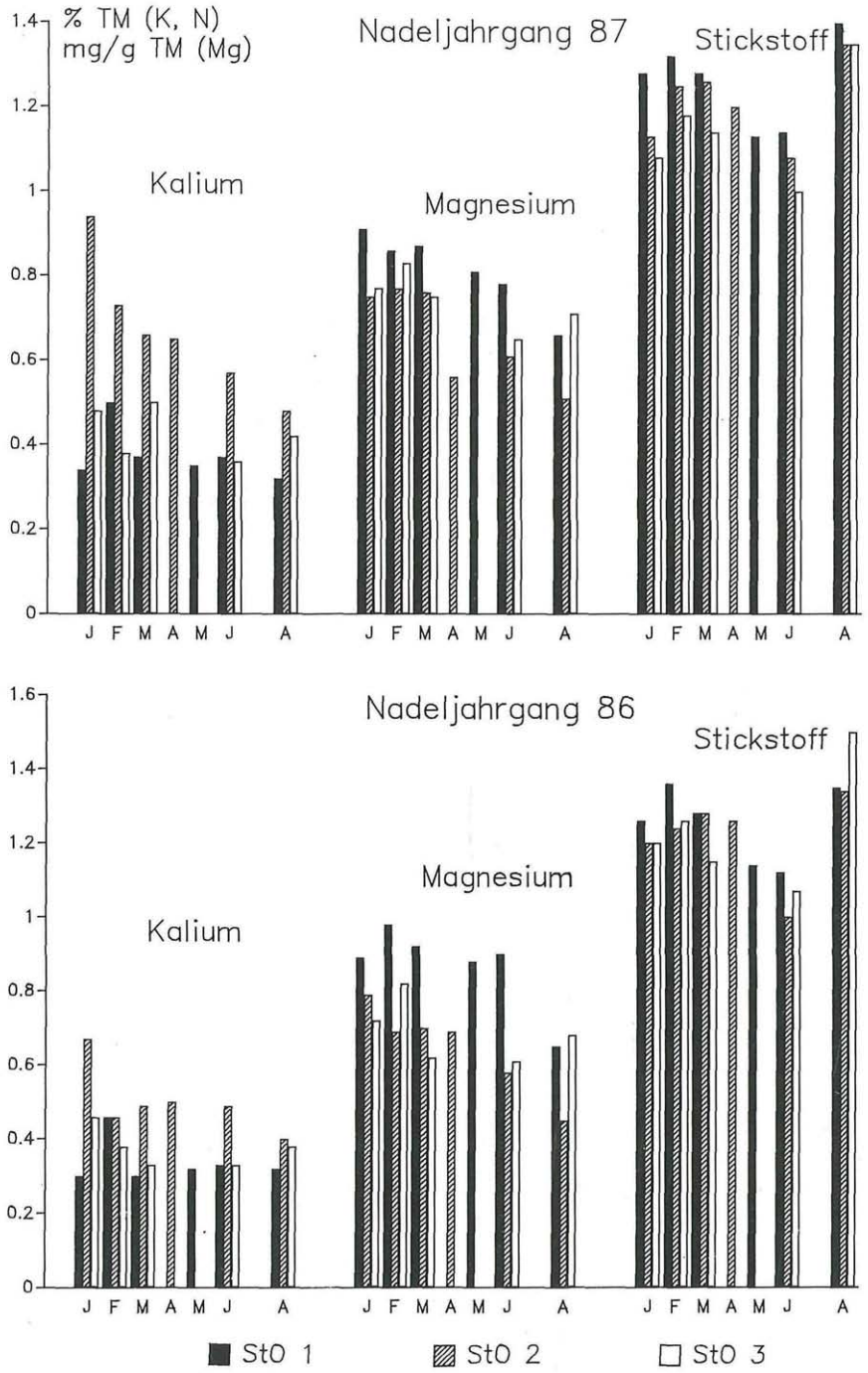
Abb. 6 bringt als Beispiele die „Halbjahresgänge" von K, Mg und N in den Nadeljahrgängen 1986 und 1987 (Aufsammlung von Januar bis August 1988). Die weiter oben dargelegten baumspezifischen Unterschiede in der Verteilung der einzelnen Nährelemente sind wiederzufinden. Alle drei Elemente nehmen gegen den Sommer hin ab, was vermutlich mit Verlagerungsprozessen zur Vorbereitung des Neuaustriebes in Zusammenhang zu bringen ist. Im Herbst müßten sich dann die älteren Nadeln wieder auffüllen (was leider nicht überprüft werden konnte!), wobei neben direkter Aufnahme aus dem Boden wahrscheinlich auch bauminterne Translokationen zwischen Stamm und Zweigen bzw. Nadeln stattfinden. Die Nachlieferung des Stickstoffs geschieht offenbar am raschesten, da bereits im August deutlich höhere Werte zu registrieren waren. Eine ähnliche, noch ausgeprägtere Jahresdynamik mit winterlichen Maxima und sommerlichen Minima fand auch NIHLGARD 1986. Die akute (montane) Vergilbung, die für eine Reihe von Waldbeständen des süddeutschen Raumes zu beobachten ist, wird gerade während der Sommermonate besonders akut, wenn infolge dieser „Auslaugung" älterer Nadeljahrgänge die Gefahr eines Nährstoffstresses (v. a. Mg und K) besteht (vgl. SENSER & HÖPKER 1989). Zu derartig starken sommerlichen Ionenverlusten in älteren Nadeln kommt es im Zillertal (einstweilen noch ?) nicht.

In den ersten Lebensmonaten des Neuaustriebes 1988 ergaben sich naturgemäß die stärksten Schwankungen, weil einerseits intensive Stofftransportprozesse ablaufen, andererseits sich die Trockenmasse, worauf die Inhaltsstoffe bezogen sind, gerade in den ersten Wochen und Monaten stark vermehrt. Die sehr auffälligen gegenläufigen Gehaltsverschiebungen der beiden Hauptanionen Chinat und Shikimat in jungen Nadeln (vgl. Tab. 1) ist für Fichten typisch (LINDNER & GRILL 1978, ALBERT & HÜBLER 1987). Möglicherweise hängt die Dominanz der Chinasäure in den Maitrieben mit dem hohen Bedarf an Ligninbausteinen zur Zeit der Anlage des neuen Jahresringes zusammen. Gleichzeitig könnte Chinat auch für die Osmoregulation in jungen Nadeln von Bedeutung sein.

Abb. 6. Gehalt an K, Mg und N in den Nadeljahrgängen 1987 und 1986 im Verlauf der Monate Januar bis August 1988.

Fig. 6. Contents of K, Mg and N within the needle year classes 1987 and 1986 from January to August 1988.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 1 / Table 1

Veränderungen der Chinat- und Shikimatspiegel (in µVal/g Trockenmasse) in Nadeln des Jahrganges 1988 von Mai bis August.

Changes of quinate and shikimate levels (as micro-equivalents per g dry matter) within the needle year class 1988 from May to August.

		Mai	Juni	August
Baum 1	Chinat	428	210	160
	Shikimat	26	83	225
Baum 2	Chinat	–	184	174
	Shikimat	–	70	204
Baum 3	Chinat	–	436	152
	Shikimat	–	35	161

Literatur

ALBERT R. & HÜBLER K. M. 1987. Einige Aspekte zum Ionenhaushalt und Mineralstoffwechsel von Fichten. – In: FÜHRER E. & NEUHUBER F. (Eds.), Forschungsinitiative gegen das Waldsterben (FIW), Bericht 1987, p. 100–117. – Im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung, Wien.

ALENÄS I. & SKÄRBY L. 1988. Throughfall and needle content of plant nutrients in relation to crown thinning in a Swedish spruce forest. – In: Scientific Basis of Forest Decline Symptomatology, pp. 227–237. – Commission of the European Communities, Workshop Edinburgh 1988.

BAULE H. 1984. Zusammenhänge zwischen Nährstoffversorgung und Walderkrankungen – Allg. Forstztg. 30/31: 775–778.

BEYSCHLAG W., WEDLER M., LANGE O. L. & HEBER U. 1987. Einfluß einer Magnesiumdüngung auf Photosynthese und Transpiration von Fichten an einem Magnesium-Mangelstandort im Fichtelgebirge. – Allg. Forstztg. 27/28/29: 738–741.

BOSCH C., PFANNKUCH E., BAUM U. & REHFUESS K. E. 1983. Über die Erkrankung der Fichte (*Picea abies* KARST.) in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. – Forstw. Cbl. 102: 167–181.

– , –, REHFUESS K. E., RUNKEL K. H., SCHRAMEL P. & SENSER M. 1986. Einfluß einer Düngung mit Magnesium und Calcium, von Ozon und saurem Nebel auf Frosthärte, Ernährungszustand und Biomasseproduktion junger Fichten (*Picea abies* (L.) KARST.). – Forstw. Cbl. 105: 218–229.

CLEMENT A. 1984. Equilibre des ions mineraux et organiques dans les tissus foliaires des végétaux ligneux. Observation de deux espèces resineuses: l'Epicea (*Picea abies* L. KARSTEN) et le pin noir d'Autriche (*pinus nigra* ARN. ssp. *nigricans*). – In: Proceedings of the VIth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition, Vol. 1, pp. 149–155 – Montpellier.

DIJKSHOORN W. 1973. Organic acids and their role in ion uptake. – In: BUTLER J. D. & BAILEY R. (Eds.), Chemistry and Biochemistry of Herbage. – Academic Press.

FLÜCKIGER W., LEONARDI S. & BRAUN S. 1988. Air pollutant effects on foliar leaching. – In: Scientific Basis of Forest Decline Symptomatology, pp. 160–169 – Commission of the European Communities, Workshop Edingburgh 1988.

FREER-SMITH P. H. & TAYLOR G. 1988. Abiotic factors, other than air pollution responsible for premature yellowing and necrosis of tree foliage. – In: Scienti-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

fic Basis of Forest Decline Symptomatology, pp. 107–125. – Commission of the European Communities, Workshop Edinburgh 1988.

GASCH G., GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J. & WENTZEL K.-F. 1988. Das Verhältnis der Schwefelfraktionen in Fichtennadeln als Indikator für Immissionsbelastungen durch Schwefeldioxid. – Angew. Bot. 62: 73–84.

GLATZEL G., KAZDA M., GRILL D., HALBWACHS G. & KATZENSTEINER K. 1987. Ernährungsstörungen der Fichte als Komplexwirkung von Nadelschäden und erhöhter Stickstoffdeposition – ein Wirkungsmechanismus des Waldsterbens? – Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. 158: 91–97.

GRILL D., LINDNER W. & JÄGER H.-J. 1980. Säuren in SO_2-belasteten und von *Chrysomyxa abietis* befallenen Fichtennadeln. – Phyton (Austria) 20: 65–72.

HOCK B. & ELSTNER E. F. (Eds.) 1988. Pflanzentoxikologie. 2. Aufl. – B. I. Wissenschaftsverlag Mannheim etc.

HUNGER W. & MARSCHNER W. 1987. Zum Ernährungszustand der Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.) auf Naßstandorten im Lausitzer Tiefland. – Arch. Nat.schutz Landsch.forsch. Berlin 27: 195–204.

HÜTTL R. F. & FINK S. 1988. Diagnostische Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände (*Picea abies* KARST.) in Südwestdeutschland. – Forstw. Cbl. 107: 173–183.

HÜTTL R. F. & WISNIEWSKI J. 1987. Fertilization as a tool to mitigate forest decline associated with nutrient deficiencies. – Water, Air and Soil Pollution 33: 265–276.

ISERMANN K. & HENJES G. 1985. Pflanzen- und Bodenanalyse als Grundlage zur Diagnose und Therapie des Komplexes „neuartige Waldschäden" aus der Sicht der Waldernährung. In: VDLUFA-Schriftenreihe, 16, Kongreßband 1985.

JÄGER H.-J., WEIGEL H.-J. & GRÜNHAGE L. 1986. Physiologische und biochemische Aspekte der Wirkung von Immissionen auf Waldbäume. – Eur. J. For. path. 16: 98–109.

KAUPENJOHANN M., ZECH W., HANTSCHEL R. & HORN R. 1987. Ergebnisse von Düngungsversuchen mit Magnesium an vermutlich immissionsgeschädigten Fichten (*Picea abies* (L.) KARST.) im Fichtelgebirge. – Forstw. Cbl. 106: 78–84.

KAZDA M. 1989. The influence of multiple stressing factors on mineral nutrition of Picea abies stands. – Can. J. For. Res. In press.

KINZEL H. (Ed.) 1982. Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. – Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

KRAUSE G. H. M. 1988. Ozone-induced nitrate formation in needles and leaves of *Picea abies, Fagus sylvatica* and *Quercus robur*. – Environ. Pollut. 52: 117–130.

KRIVAN V., LÜTTGE U. & SCHALDACH G. 1986. Profile von Makro- und Mikromineralstoffen in gesunden und kranken Fichten (*Picea abies* (L.) KARST.) auf verschiedenen Standorten in Südwestdeutschland. – Angew. Bot. 60: 373–389.

KÜPPERS M., ZECH W., SCHULZE E.-D. & BECK E. 1985. CO_2-Assimilation, Transpiration und Wachstum von *Pinus silvestris* L. bei unterschiedlicher Magnesiumversorgung. – Forstw. Cbl. 104: 23–36.

LANGE O. L., ZELLNER H., GEBEL J., SCHRAMEL P., KÖSTNER B. & CZYGAN F.-C. 1987. Photosynthetic capacity, chloroplast pigments, and mineral content of the previous year's spruce needles with and without the new flush: analysis of the

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

forest-decline phenomenon of needle bleaching. – Oecologia (Berlin) 73: 351–357.

LINDNER W. & GRILL D. 1978. Säuren in Koniferennadeln. – Phyton (Austria) 18: 137–144.

NIHLGARD B. 1986. The seasonal variation of nutrients in needles of three differently exposed spruce stands. – In: Air Pollution Research Report 4, pp. 60–70. – Commission of the European Communities, Workshop Lökeborg 1986.

POPP M. & KINZEL H. 1981. Changes in the organic acid content of some cultivated plants induced by mineral ion deficiency. – J. Exp. Bot. 32: 1–8.

REHFUESS K. E., BOSCH C. & PFANNKUCH E. 1982. Nutrient imbalancies in coniferous stands in southern Germany. – Commun. Inst. For. Fenn. 116: 122–130.

ROTHE G. M., WEIL H., GEIDER M., PFENNIG P., WILHELMI V., & MAURER W. D. 1988. Nutrient element and carbohydrate status of Norway spruce at Mt. Kleiner Feldberg in Taunus exposed to air pollution and soil acidification. – Eur. J. For. Path. 18: 98–111.

SCHULZE E.-D., OREN R. & ZIMMERMANN R. 1987. Die Wirkung von Immissionen auf 30jährige Fichten in mittleren Höhenlagen des Fichtelgebirges auf Phyllit. – Allg. Forstztg. 27/28/29: 725–730.

SENSER M. & HÖPKER K.-A. 1989. Einfluß der Mineralstoffernährung auf die neuartige Erkrankung (akute Vergilbung) der Fichte im Rahmen biotischer Faktorenuntersuchungen. – 1. Statusseminar der PBWU zum Forschungsschwerpunkt „Waldschäden" (Kurzfassung). 27. 2.–1. 3. 1989, Ges. f. Strahlenforschung Neuherberg.

SEUFERT G. & ARNDT U. 1988. Experiments on canopy/soil leaching effects of air pollutants in model ecosystems with forest trees. – Geo Journal 17: 261–270.

SMIDT St., GLATTES F., & LEITNER J. 1988. Höhenprofil Zillertal – Meßbericht 1987. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. – FBVA-Berichte 32.

STEFAN K. 1982. Darstellung der Immissions- und Ernährungssituation der Wälder im Raum Gailitz-Arnoldstein mit Hilfe chemischer Analysen von Fichtennadeln. – Carinthia II, Sonderheft 39: 289–323.

STEWART G. R., PEARSON J. & CLOUGH E. 1987. Characteristics of inorganic nitrogen assimilation in woody plants. – In: Air Pollution Research Report 16, pp. 222–227. – Commission of the European Communities, Workshop Wageningen 1987.

TROCKNER V. & ALBERT R. 1986. Ionenverteilung und Inhaltsstoffmuster in Blättern streusalzbelasteter Wiener Alleebäume. I. Ionengleichgewicht. – Flora 178: 369–390.

WYTTENBACH A., BAJO S., TOBLER L. & KELLER Th. 1985. Major and trace element concentrations in needles of Picea abies: levels, distribution functions, correlations and environmental influences. – Plant & Soil 85: 313–325.

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. 1987. Nährelementversorgung mitteleuropäischer Wirtschaftswälder. – In: GLATZEL G. (Ed.), Möglichkeiten und Grenzen der Sanierung immissionsgeschädigter Waldökosysteme, p. 54–62. – Eigenverlag Österr. Ges. f. Waldökosystemforschung und Exp. Baumforschung, A-1180 Wien, Gregor-Mendel-Straße 33.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

ZÖTTL H. W. & HÜTTL R. 1985. Schadsymptome und Ernährungszustand von Fichtenbeständen im südwestdeutschen Alpenvorland. – Allg. Forstztg. 9/10: 197–199.

ZVACEK L. 1988. Mikronährstoffe und toxische Metalle an Waldstandorten. – Dissertation an der Formal- und Naturwiss. Fakultät der Universität Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: 29_3

Autor(en)/Author(s): Albert Roland

Artikel/Article: Mineralstoff- und Ionenhaushalt von Fichten entlang eines Höhenprofils im Zillertal (Österreich). 111-131