

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	135 (1984)
Heft:	8
Artikel:	Waldschäden in der Schweiz - 1983
Autor:	Landolt, Werner / Bucher, Bruno Jürg / Kaufmann, Edgar
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-766787

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>

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Journal forestier suisse

135. Jahrgang

August 1984

Nummer 8

Waldschäden in der Schweiz – 1983

(II. Teil)

Interpretation der Sanasilva-Umfrage und der Fichtennadelanalysen aus der Sicht der forstlichen Ernährungslehre

Von *Werner Landolt, Jürg Bruno Bucher und Edgar Kaufmann*
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

Oxf.: 524.61:48:181.34:(494)

Einleitung

Im ersten Teil der Auswertungen der Sanasilva-Umfrage und der Fichtennadelanalysen konnte ein namhafter Einfluss der Luftverunreinigung auf die Waldschäden der Schweiz nicht ausgeschlossen werden (1). Mit diesem Schluss stützen wir die Immissionshypothese, die den in ganz Europa auftretenden Waldschäden zugrunde gelegt wird. Diese Waldschäden, gemeinhin auch als Waldsterben angesprochen, beruhen sicher nicht nur auf einzelnen Luftverschmutzungskomponenten oder anderen Einzelursachen. Sie sind die Folgen verschiedenster mit- oder nacheinanderwirkender Faktoren. Unter anderem wird auch immer wieder hervorgehoben, eine mangelnde Nährstoffversorgung sei die Ursache der festgestellten Waldschäden (2). Der zweite Teil unserer Arbeit befasst sich vor allem mit den Nadelanalysen und der Interpretation der Schäden aus der Sicht der forstlichen Ernährungslehre. Da den Nadelanalysen entsprechende Bodenanalysen nicht durchgeführt werden konnten, sind der Interpretation gewisse Grenzen gesetzt. Es wird wiederum ein epidemiologischer und nicht ein kausanalytischer Ansatz gewählt.

Die Nährstoffversorgung ist ein wichtiger Faktor für das Gedeihen der Pflanzen. Insbesondere gilt dies für Waldbäume, die in der Regel auf landwirtschaftlich wenig ertragreichen Böden oder auf exponierten und schwer zugänglichen Standorten stocken. Ihre Mineralstoffversorgung liegt denn auch in vielen Fällen unter dem Optimum und begrenzt oft ihr Wachstum (3). So wird verständlich, wenn im Zusammenhang mit den Waldschäden immer wieder vom Nährstoffmangel als wichtigem, wenn nicht gar entschei-

dendem Faktor die Rede ist. In der Folge hofft man, mit Hilfe von Düngemassnahmen die Vitalität des Waldes wieder herzustellen oder wenigstens eine Verlangsamung des Schadenverlaufes und Abschwächung der Schadenintensität zu erreichen. Damit hofft man auch Zeit zu gewinnen für notwendige emissionstechnische Massnahmen.

Infolge des grossen Probenanfalles und der knappen uns zur Verfügung stehenden Analysenzeit mussten wir uns neben den Immissionsleitkomponenten Schwefel, Chlor und Fluor auf die Nährstoffelemente Calcium, Kalium, Magnesium, Mangan, Eisen und Zink beschränken. Weitere Elementgehalte der Nadeln wären zur Beurteilung der Waldschadensituation sicher von Interesse gewesen. Ihr Einbezug hätte aber die Durchführung der Untersuchung übermäßig verzögert oder wäre zu Lasten der Genauigkeit gegangen.

Grundlagen

Nähere Angaben zu der Umfrage und der Waldschadenkarte sowie der Nadelprobenahme und Auswertung bezüglich der Immissionsleitkomponenten wurden bereits veröffentlicht (1) und werden als bekannt vorausgesetzt. Eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Analytik ist in Ausarbeitung, so dass wir uns hier auf das Wesentliche beschränken können. Die Bestimmung der Kationen erfolgte mittels der Atomabsorption. Vorgängig dieser Analysen wurden die getrockneten und gemahlenen Nadelproben bei 450 °C trocken verascht und die so freigesetzten Elemente in verdünnter Salzsäure aufgenommen.

Von den 840 Standorten der Schweiz, deren Auswahl auf einem 8 x 8 km- bzw. 4 x 4 km-Raster beruhte, standen uns jeweils die Proben von zwei zufällig ausgewählten Fichten zur Verfügung. Zur statistischen Bearbeitung wurden die logarithmierten Daten verwendet, da von allen untersuchten Elementen nur die Werte von Kalium normal verteilt waren. Als Grundlage für die räumlichen Verteilungsmuster der Nährstoffe in den Nadeln dienten die durchschnittlichen Elementgehalte der beiden Bäume (A und B) pro Standort. Für die Feststellung der Klassenbreiten wurde ebenfalls vom Zentralwert (Median) dieser Standortmittelwerte ausgegangen. Da aber im Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung nur die tiefen Konzentrationen von Bedeutung sind, wurden im Gegensatz zu den Elementen Schwefel, Chlor und Fluor (vergleiche 1) die Werte oberhalb des Medians einer einzigen Klasse zugeordnet und jene unterhalb in 3 Klassen mit jeweils einer gleichen Anzahl von Standorten (140 Werte) eingeteilt.

Auswertung

Die in den eineinhalbjährigen Fichtennadeln gefundenen durchschnittlichen Elementgehalte sind in *Tabelle 1* dargestellt. Je nach Element streuen diese Konzentrationen stark, wobei Fluor und Mangan die höchsten Variationskoeffizienten aufweisen. Die Gründe dafür sind verschieden. Der natürliche Fluorgehalt in unbeeinflussten Fichtennadeln ist sehr gering. Bei 26 % aller untersuchten Proben war er sogar unter der Nachweisgrenze von 1 mg/kg Trockengewicht, so dass er dort für die Berechnungen willkürlich auf 0,5 mg/kg TG festgelegt wurde. Die grossen Streuungen ergeben sich nun von den Gebieten mit namhaften Fluorimmissionen, in welchen die natürlichen Fluorgehalte der Nadeln um ein Mehrfaches angehoben werden. Anders liegt der Fall beim Mangan. Dieses Element liegt in verschiedenen Böden in sehr unterschiedlich pflanzenverfügbaren Konzentrationen vor und wird dementsprechend auch in einem mehr oder weniger grossen Ausmass von der Pflanze aufgenommen. Der hier im Vergleich zu den anderen Elementen grosse Variationskoeffizient von Mangan deckt sich im übrigen mit Angaben aus der Literatur (4).

Tabelle 1. Durchschnittliche Konzentrationen der Elemente in den 1½jährigen Fichtennadeln (mg/kg Trockengewicht).

	Mittelwert arithmetisch	Standard- abweichung	Variations- koeffizient
S	915	158	0,173
Cl	475	189	0,398
F	1,97	2,20	1,121
Ca	8411	2791	0,332
Mg	864	269	0,312
K	5620	1305	0,232
Mn	668	695	1,040
Fe	70	27	0,399
Zn	31	17	0,560

Bekanntlich zeigen nicht nur Bäume verschiedener Standorte stark variierende Elementgehalte in den Nadeln, auch innerhalb eines einzigen Standortes kann es zu grösseren Abweichungen kommen. *Wehrmann* (3) empfiehlt deshalb, für standortsbezogene Aussagen von Nadelanalysen den Durchschnitt von 15 Bäumen zu verwenden. Dies hätte den Rahmen unserer Möglichkeiten bei weitem gesprengt; für eine gesamtschweizerische Aussage liess es sich aber vertreten, nur die Durchschnittswerte zweier Bäume pro Standort zu verwenden. Um zu prüfen, inwiefern die Streuungen zwischen den Bäumen A und B die Aussagen der räumlichen Verteilungsmuster in Frage stellten, hatten wir für die Elemente Schwefel, Chlor und Fluor analoge Karten mit nur je einem Baum pro Standort gezeichnet. Die so erhaltenen Muster (unpubliziert) waren praktisch mit den veröffentlichten (1) iden-

tisch. Bestätigt wird dies auch durch eine Korrelationsanalyse der Baumpaare der Standorte (*Tabelle 2*). Alle Koeffizienten sind gesichert; aus den bereits genannten Gründen wiesen wiederum die Elemente Fluor und Mangan die höchsten Werte auf.

Tabelle 2. Lineare Korrelationskoeffizienten zwischen den logarithmierten Elementkonzentrationen der A- und B-Bäume aller Standorte.

A/ B-Bäume	
Cl	0,4725
S	0,4877
F	0,8023
Ca	0,5831
Mg	0,4721
K	0,4967
Mn	0,8079
Fe	0,7296
Zn	0,5482
$r_{0.01}$	= 0.08

Zwischen den Standortsmittelwerten der einzelnen Elemente lassen sich Abhängigkeiten feststellen. Die stärksten Korrelationen bestehen zwischen dem Eisen- und Fluorgehalt der Fichtennadeln, sie sind aber auch relativ hoch zwischen Calcium und Zink (*Tabelle 3*).

Tabelle 3. Lineare Korrelationskoeffizienten zwischen den logarithmierten Elementkonzentrationen in den Fichtennadeln. (Vergleich der Standortsmittelwerte).

	S	Cl	F	Ca	Mg	K	Mn	Fe	Zn
S	1,00								
Cl	0,1531	1,00							
F	0,2467	0,1933	1,00						
Ca	0,0217	-0,0033	0,1981	1,00					
Mg	0,1379	0,0891	-0,0116	0,0824	1,00				
K	0,1885	-0,2052	-0,0603	0,0268	-0,0891	1,00			
Mn	-0,0344	0,0803	0,0925	-0,1058	-0,0581	-0,3190	1,00		
Fe	0,2459	0,2929	0,3908	0,1771	-0,1541	-0,1206	-0,1462	1,00	
Zn	0,2072	-0,0567	0,1573	0,3273	0,2200	0,1214	-0,0982	0,0647	1,00
$r_{0.01}$									

Zur Beurteilung des Ernährungszustandes von Waldbäumen hat sich, wie bereits erwähnt, die Blatt- oder Nadelanalyse bewährt (3). In bezug auf Grenzen eines Nährstoffmangels kann auf Erfahrungswerte der Literatur zurückgegriffen werden. Da verschiedene Faktoren, wie Standort, Baumalter, Nadelalter oder Probenahme am Baum diese Werte beeinflussen, variieren die Angaben von Autor zu Autor (*Tabelle 4*). Für die Besprechung unserer Daten haben wir diese Grenzen des Nährstoffmangels gemäss den Angaben in *Tabelle 5* definiert. Aufgrund dieser Zahlen weisen nur 0,24 % aller unter-

Tabelle 4. Kritische Elementgehalte in den Fichtennadeln, die beim Unterschreiten Mängelerscheinungen bewirken können (in mg/kg Trockengewicht).

	Wehrmann (3)	Fiedler (17)	Swan u. a. (29, 30)
Ca	1000	1900 – 3000	1000 – 1200
Mg	200 – 700	300	1000 – 1200
K	1500 – 3300	3000	3000 – 4500
Mn	4 – 15	80 (30)	20
Fe		17	
Zn		32 (31)	

Tabelle 5. Prozentualer Anteil der Fichten im Mangelbereich, aufgeschlüsselt nach Nährstoffen.

Nährstoff	Fichten im Mangelbereich	Grenzwerte für Sanasilva (mg/kg TG)
Ca	0,24 %	2500
Mg	0,42 %	300
K	2,3 %	3000
Mn	4,5 %	20
Fe	0,0 %	17
Zn	60,7 %	32

suchten Bäume eine Unterversorgung mit Calcium auf. Bei Magnesium sind es 0,42 %, und einen Kaliummangel trifft man bei 2,3 % an. Für Mangan und Eisen betragen die entsprechenden Werte 4,5 % bzw. 0 %. Eindeutig die meisten Bäume, nämlich 60,7 %, hatten aber einen Zinkmangel (*Tabelle 5*). Setzt man den uns doch etwas hoch erscheinenden Grenzwert für Zink von 32 auf 20 mg/kg TG herunter, so sind es immer noch 22 % der analysierten Fichtennadelproben, die diesen Wert unterschreiten.

Die zur Interpretation der Fichtennadelanalysen wesentlichere Aussage kommt unserer Ansicht nach weniger von den Durchschnittswerten der Elementgehalte und den berechneten Korrelationen als von den räumlichen Verteilungsmustern dieser Nadelgehalte im Land. Das Verteilungsmuster von Mangan (*Abbildung 2*) weist einen starken Bezug zum Säuregrad des Bodens (*Abbildung 1*) auf.¹ Je tiefer der pH-Wert des Bodens liegt, desto höher steigt der Nadelgehalt dieses Elementes. Die tiefsten Werte findet man deshalb auf den basischen Kalkböden des Juras oder der Voralpen, während auf den (leicht) sauren Böden des Mittellandes oder auf dem Urgestein der Alpen die höchsten Werte vorkommen. Eine Ausnahme bilden unter anderem die tiefen Mangankonzentrationen im Zürcher Oberland. Kalium ist nach *Tabelle 3* negativ mit Mangan korreliert. Diesen Eindruck erhält man auch aufgrund des Vergleiches der räumlichen Verteilungsmuster dieser beiden Elemente (*Abbildungen 2 und 3*). Kalium ist tendenzmäßig vor allem auf den basischen Böden stärker in den Fichtennadeln zu finden. Für eine Beteiligung eines Mangan- oder Kaliummangels am Zustandekommen der Waldschäden gibt es auch aus den räumlichen Verteilungsmustern dieser

¹ Interner Bericht von Dr. A. Wyttensbach, EIR, Würenlingen.

Elemente keine Hinweise, jedenfalls lassen sich deren Verteilungsmuster nicht mit demjenigen der Waldschäden zur Deckung bringen (vergleiche *Abbildungen 2 und 3 mit 8*). Es lässt sich ferner auch keine generelle Versauerungstendenz des Bodens ableiten, da sich in den Manganwerten hauptsächlich die bereits bekannten Bodeneigenschaften widerspiegeln.

Aus den Verteilungsmustern der Elemente Calcium und Magnesium lässt sich auch keine ursächliche Beteiligung dieser Elemente am Zustandekommen der Waldschäden ableiten (*Abbildungen 4 und 5*), und nur ein verschwindend geringer Prozentsatz der untersuchten Bäume bezüglich dieser Elemente war im Mangelbereich (*Tabelle 5*). Im Verteilungsmuster von Calcium manifestieren sich zum Teil wiederum die Bodeneigenschaften und die vermutlich standortsbedingte, allgemein genügende Nährstoffversorgung unserer Fichten mit diesem Element. Demgegenüber lässt sich aus dem räumlichen Verteilungsmuster der Zinkwerte (*Abbildung 6*) die allgemeine Unterversorgung ablesen. Wiederum scheint aber keine Beziehung zum Waldschadenmuster gegeben. Dennoch die höchsten Zinkwerte finden sich in den Bäumen der Nordschweiz, wo auch die höchsten Waldschadenprozente zu finden sind (*Abbildung 6 und 8*).

Interessant ist jedoch das räumliche Verteilungsmuster des Eisens. Aufgrund seiner chemischen Verwandtschaft mit Mangan würde man eine diesem Element analoge Verbreitung erwarten. Dem ist aber nicht so: Das Verteilmuster von Eisen (*Abbildung 7*) gleicht den Verteilungsmustern der Schwefel-, Chlor- und Fluorgehalte der Nadeln (vergleiche 1). Die enge Beziehung zu den Immissionsleitkomponenten geht auch aus *Tabelle 3* hervor.

Für den Vergleich zwischen dem Schädigungsgrad eines Probebaumes und seinem Elementgehalt in den Nadeln stand uns leider nur ein geringes Datenmaterial zur Verfügung, da sich eine gleichzeitig mit der Nadelprobennahme durchgeführte Schadenansprache am Baum auf wenige Standorte beschränkte. Um dennoch für eine zusammenhängende Region mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften eine Aussage machen zu können, stellen wir Daten aus dem Mittelland und dem Jura der Kantone Aargau, Bern, Basel-Land und Solothurn einander gegenüber. Wie aus *Tabelle 6* ersichtlich wird, lässt sich aus den Nadelwerten gesunder und kranker Bäume kein Zusammenhang zwischen dem Schädigungsgrad und einem Nährstoffmangel erkennen. Für die untersuchten Elemente liegen für einzelne Regionen der Schweiz bereits ähnliche Befunde vor, so für den Raum Monthei für Tannen (5) und in Basel für Buchen (6).

Um die Informationsdichte im räumlichen Verteilungsmuster zu standardisieren und auf eine gleiche Basis zu stellen wie diejenige des Waldschadenzustandes, haben wir die Daten der Nadelanalysen ebenfalls auf einen Raster von 8 x 8 km umgelegt. Die Werte der Nadelanalysen eines Standortes wurden jenem Revier zugeordnet, dessen Reviermittelpunkt dem Probennahme-Standort der Nadeln am nächsten kam. Die entsprechenden Nadelta-

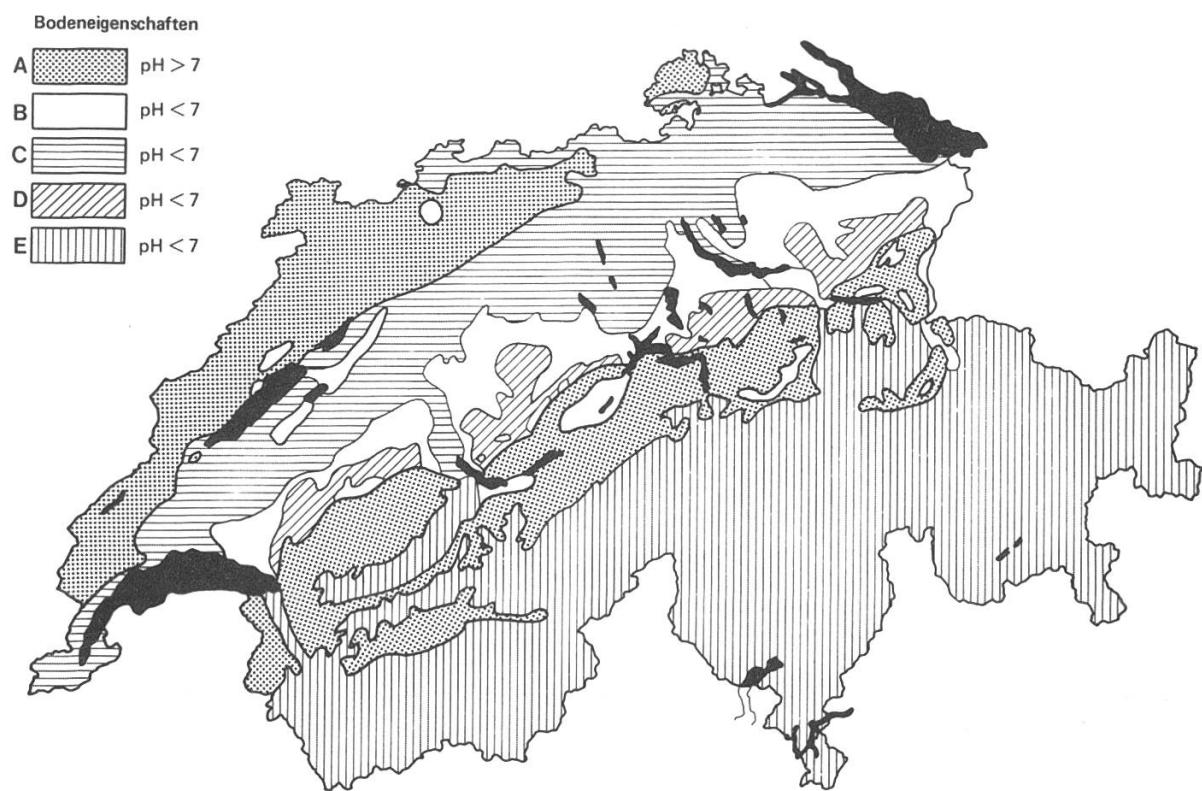


Abbildung 1. Bodeneigenschaftskarte der Schweiz (nach 32, stark vereinfacht)

- A: Kalkgürtel des Juras bzw. der Alpen und Voralpen
- B: Untere montane Stufe des Mittellandes und des voralpinen Raumes
- C: Kolline Stufe des Mittellandes
- D: Obere montane Stufe der Alpen und Voralpen
- E: Saure Böden des alpinen und südalpinen Raumes

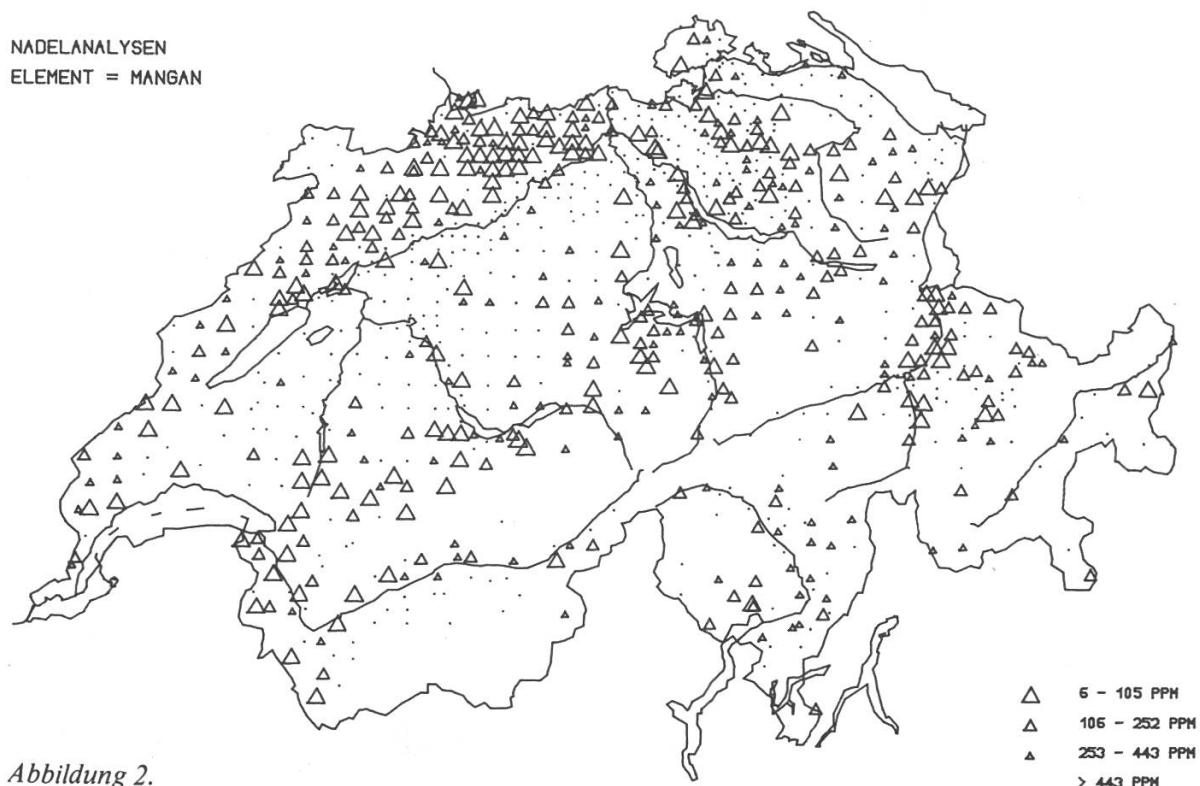


Abbildung 2.

NADELANALYSEN
ELEMENT = KALIUM



Abbildung 3.

NADELANALYSEN
ELEMENT = CALZIUM



Abbildung 4.

Abbildungen 2 bis 7. Verteilung der Nährstoffe aus Fichtennadeln in der Schweiz für die Elemente Mangan (Abb. 2), Kalium (Abb. 3), Calcium (Abb. 4), Magnesium (Abb. 5), Zink (Abb. 6) und Eisen (Abb. 7). Elementgehalte der Nadeln in ppm Trockengewicht (= mg/kg Trockengewicht), je Standort Durchschnittswert zweier Bäume. Die Bereiche unter dem Median wurden so gewählt, dass sie gleichgroße Teilmengen enthalten.

NADELANALYSEN
ELEMENT = MAGNESIUM

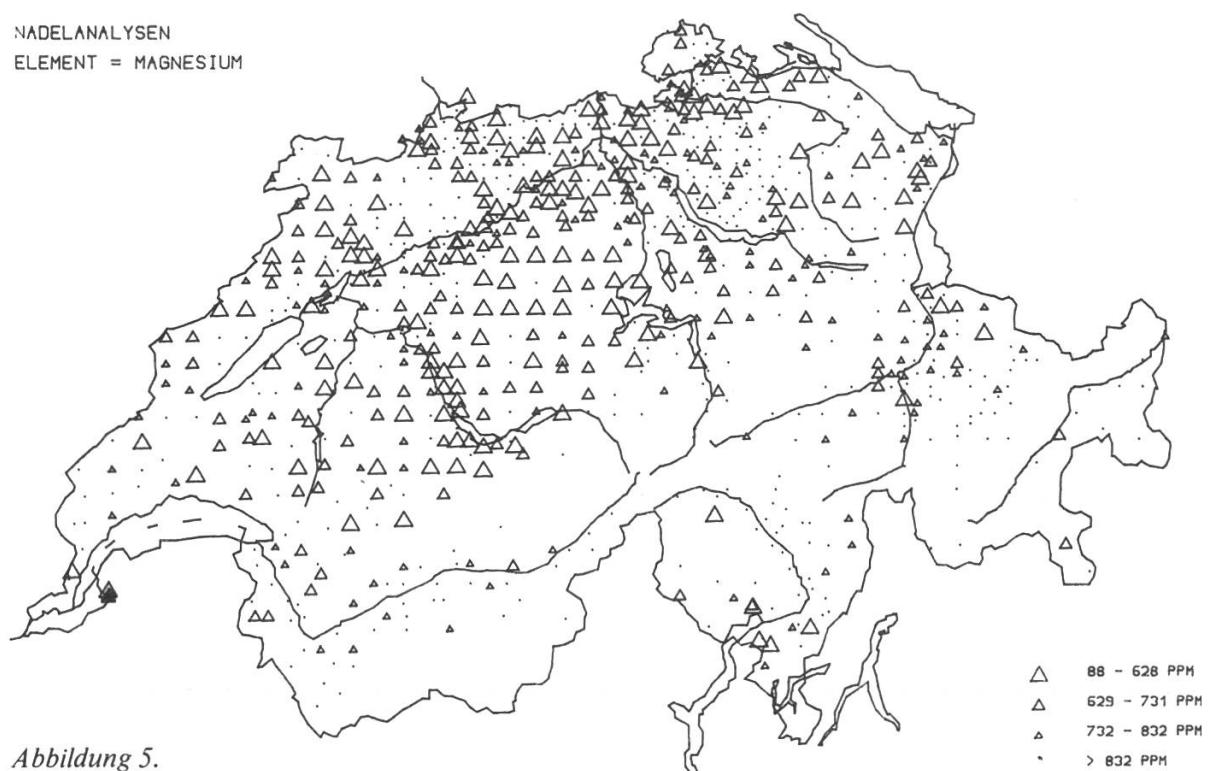


Abbildung 5.

NADELANALYSEN
ELEMENT = ZINK



Abbildung 6.

ten eines Rasters wurden dann gemittelt, so dass pro Rasterfeld schliesslich je ein Satz von Nadelwerten vorlag. Die umergestalteten Daten der Rasterfelder (Daten zum Waldschadenzustand, der Schadstoffbelastung und dem Ernährungszustand der Fichtennadeln) wurden nun mittels der multi-

NADELANALYSEN
ELEMENT = EISEN



Abbildung 7.

ALLE BAUMARTEN
KRÄNKELND-TOT

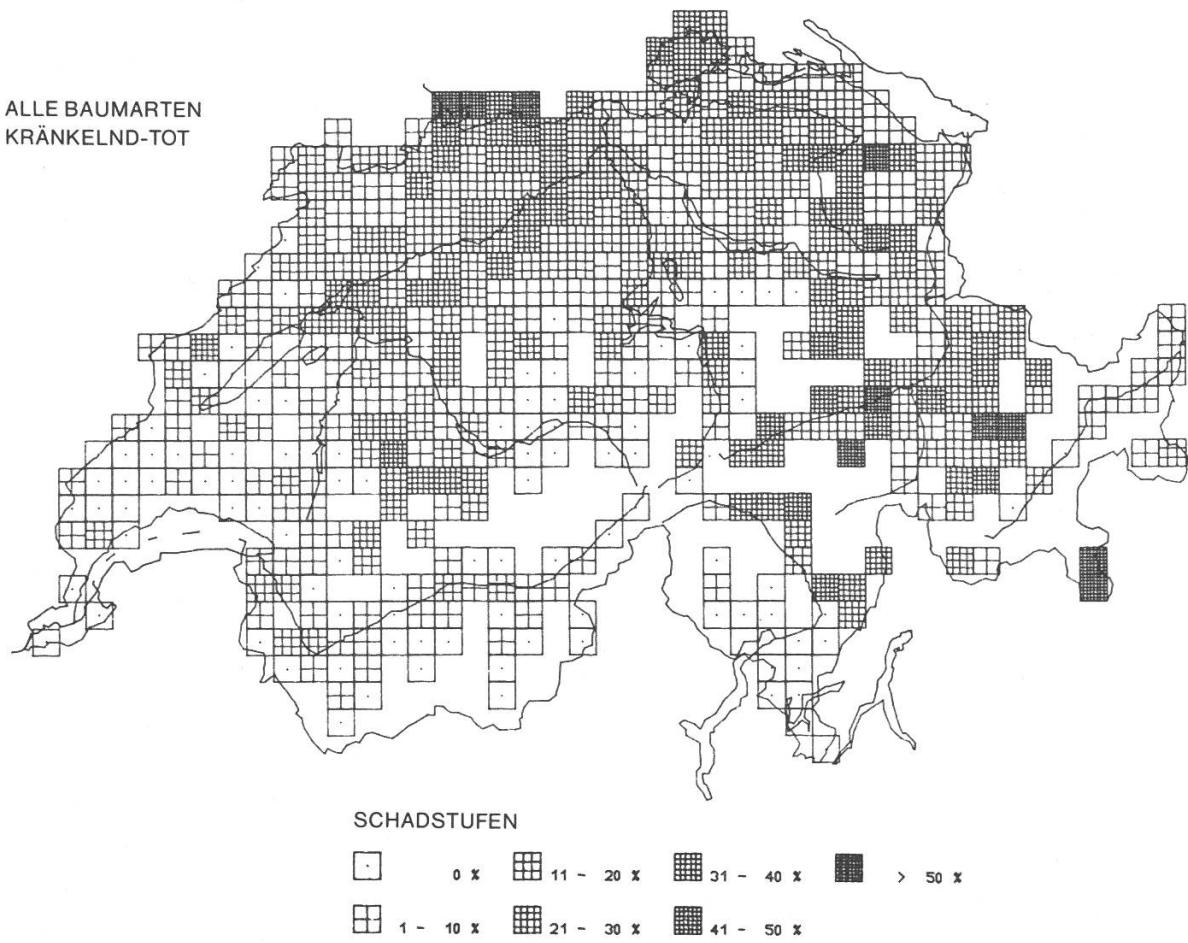


Abbildung 8. Verteilung der flächenmässig gewichteten Waldschäden in der Schweiz unter Berücksichtigung der Schadenklasse «kränkelnd-tot». (Weitere Erklärungen unter 1).

Tabelle 6. Vergleich der Elementgehalte von Fichtennadeln aus verschiedenen Schadklassen (vergleiche 1).

Basische Böden											
Anzahl Bäume	Cl		S		F		Ca				
	x	s	x	s	x	s	x	s			
gesund	23	503 ± 190		966 ± 137		1.85 ± 1.07		8683 ± 4529			
kränkelnd	33	561 ± 219		1037 ± 191		2.68 ± 1.38		8743 ± 2936			
Anzahl Bäume											
	Mg		K		Mn		Fe		Zn		
	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	
gesund	23	830 ± 303		5606 ± 1821		131 ± 200		56 ± 15		29 ± 14	
kränkelnd	33	895 ± 414		5885 ± 1353		182 ± 260		76 ± 22		37 ± 17	
Saure Böden											
Anzahl Bäume	Cl		S		F		Ca				
	x	s	x	s	x	s	x	s			
gesund	23	629 ± 187		1065 ± 212		2.07 ± 1.11		7645 ± 3140			
kränkelnd	52	682 ± 224		1021 ± 163		3.08 ± 2.7		7665 ± 2513			
krank	17	639 ± 239		1125 ± 289		2.32 ± 1.21		8664 ± 2212			
Anzahl Bäume	Mg		K		Mn		Fe		Zn		
	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	
gesund	23	732 ± 245		5147 ± 1534		1043 ± 867		97 ± 44		36 ± 28	
kränkelnd	52	698 ± 204		4949 ± 1287		1394 ± 1409		94 ± 25		31 ± 16	
krank	17	700 ± 226		5288 ± 1414		1120 ± 1028		139 ± 57		35 ± 14	

Tabelle 7. Vergleich der Schadenprozente mit den Elementgehalten der Fichtennadeln in den einzelnen Rasterfeldern (n = 416).

a) Korrelationskoeffizienten*

b) Kenngrößen der multiplen linearen Regression*

c) Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman.

* für diese Berechnungen wurden die logarithmierten Elementgehalte verwendet.

Element	a) Korrelationskoeffizienten		b) multiple lineare Regression ($r^2 = 0.1645$)
			Koeffizient T P
Cl	0.2715	19.54961	3.671 0.0003
S	0.2419	30.64046	2.543 0.0114
F	0.3043	11.17474	4.434 0.0000
Ca	-0.0038	-5.52041	-0.938 0.3486
Mg	0.0630	3.48719	0.512 0.6086
K	-0.0274	3.98441	0.442 0.6589
Mn	0.1025	0.82282	0.482 0.6300
Fe	0.2200	3.41016	0.547 0.5845
Zn	0.0634	-0.64812	-0.131 0.8959

plen Regressionsanalyse auf Abhängigkeit untersucht. Sowohl die Korrelationskoeffizienten wie auch die Resultate der multiplen Regression weisen auf eine erheblich stärkere Beziehung der Immissionsleitkomponenten Schwefel, Chlor und Fluor zu den Schadenprozenten hin, als dies bei den

Nährstoffen der Fall ist. Insgesamt gesehen sind diese Abhängigkeiten nicht sehr stark, sie sind aber statistisch dennoch gesichert (*Tabelle 7*). Aufgrund seiner positiven Korrelation zu Schwefel, Chlor und Fluor ist dem Eisen ebenfalls ein Immissionsleitcharakter zuzuschreiben. Eine allfällige Schädigung der Bäume durch einen zu hohen Eisengehalt fällt ausser Betracht, gilt doch ein hoher Eisenspiegel als eigentliches Vitalitätsmerkmal (3).

Diskussion

Nadelanalysen in geschädigten Waldgebieten Deutschlands erbrachten für erkrankte Bäume häufig einen Calcium- und Magnesiummangel bei einem oft ungestörten Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumspiegel (7). Für unsere Verhältnisse liess sich dies nicht bestätigen, einerseits waren gesunde und erkrankte Bäume nadelanalytisch nicht auseinanderzuhalten und anderseits scheint die Calcium- und Magnesiumversorgung genügend zu sein. Eine gewisse Übereinstimmung zu deutschen Untersuchungen ergab sich bei Zink. *Zech* und *Popp* (8) fanden in erkrankten Fichten und Tannen der NO-bayerischen Mittelgebirge neben einem Magnesiummangel eine unzureichende Versorgung der Nadeln mit diesem Element (9–13 mg Zn/kg TG anstelle von 21–27 mg/kg in gesunden Nadeln). Zu ähnlichen Aussagen kommen auch *Zöttl* und *Mies* (9), die Fichtenerkrankungen in Hochlagen des Südschwarzwaldes untersucht haben. Diese und andere Autoren (7) vertreten die Ansicht, der Mangel sei nicht primär einer zu geringen Aufnahme durch die Wurzel zuzuschreiben, sondern beruhe auf einer verstärkten Auswaschung der Elemente aus den geschädigten Nadeln. Die Mangelsituation entstehe dann für jenes Element, dessen Nachlieferung durch die Wurzeln am wenigsten gewährleistet sei (7). Alle Einwirkungen, welche zu Membranschädigungen an den Nadeln führen können, müssen als auslösende Faktoren für solche Auswascheffekte gesehen werden. In diesem Zusammenhang werden am häufigsten Photooxidantien, insbesondere Ozon, aber auch Frosteinwirkungen genannt; der Prozess soll ebenfalls durch den sauren Regen gefördert werden (7, 9,10). Aufgrund von Niederschlagsanalysen kommt *Schrimpf* (11) zudem zum Schluss, dass vor allem der hohe Säuregehalt des Nebels zu winterlichen Verätzungen der Koniferenikutikula führen müsse. Dies hätte wiederum eine erhöhte Auswaschung von Nährstoffen aus den Nadeln zur Folge. Dagegen halten *Ulrich* und *Matzner* (12) den eigentlichen sauren Regen für die Auswaschverluste von Calcium und Magnesium aus dem Boden und damit für die Waldschäden verantwortlich; die Wurzelschädigungen führen sie auf die durch den sauren Regen mobilisierten giftigen Aluminiumionen zurück. Wurzelschädigungen durch Aluminium schliesst *Zöttl* (13) aber aus. Nach diesem Autor scheinen diese Alu-

miniumionen jedoch die Aufnahme der Calcium- und Magnesiumionen kompetitiv zu hemmen.

Aufgrund der vorliegenden Daten können wir nicht beurteilen, ob eine oder mehrere dieser Hypothesen für schweizerische Verhältnisse überhaupt zutreffen könnten. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass sich die Waldschäden weder mit den niedrigen Zink-, noch mit den vereinzelten tiefen Manganwerten erklären lassen. Sicher muss unter der gegenwärtigen Luftbelastung eine schlechte Nährstoffversorgung der Bäume als ein ernstzunehmender Stressfaktor zu sehen sein. Haben früher Bäume auf nährstoffarmen Böden überlebt, sterben sie heute zunehmend ab (14).

Gewisse Waldschadensymptome zeigen eine Ähnlichkeit zu Nährstoffmangelsymptomen. Zink, als essentielles Spurenelement, führt bei seinem Fehlen zu einem kümmerlichen Blatt- und Nadelwuchs (15). *Smith* und *Bayliss* (16) brachten eine Zinkmangel auch mit abgeflachten Kronen von *Pinus radiata* in Verbindung. Die zweithäufigste bei uns festgestellte Nährstoffunterversorgung betraf das Mangan. Manganmangel ist auf basischen Standorten auch unter dem Namen «Kalk-Chlorose» bekannt. Dieser Mangel äussert sich in einem Vergilben des jüngsten Nadeljahrganges im inneren Bereich des unteren und mittleren Kronendrittels bei Fichte und Tanne (17). Diese Symptome treten vor allem im Winterhalbjahr auf und können auch in der Schweiz beobachtet werden. Die genannten Nährstoffmangelsymptome sind zwar typisch, werden aber nicht ausschliesslich durch eine gestörte Versorgung hervorgerufen, sondern können sich ebenfalls nach Einwirkungen von Luftverunreinigungen zeigen (vergleiche 18). Wenn wir auch keinesfalls verneinen, dass auf einigen Standorten der Schweiz eine gewisse Nährstoffunterversorgung besteht und diese Symptome als Mangelsymptome zu deuten sind, so sind wir dennoch der Auffassung aufgrund unserer Analysen und den vorgefundenen Verteilungsmustern der Elementgehalte in den Fichtennadeln, die Immissionshypothese stehe beim Zustandekommen der Waldschäden eindeutig im Vordergrund. Wir sehen unsere Ansicht auch in den Eisengehalten der Nadeln bestätigt. Bezogen auf die vorgefundenen Eisenwerte sind die Beobachtungen von *Mayer* (19) interessant, der in Fichtennadeln erhöhte Eisengehalte einer Luftverunreinigung mit Bodenstaub zuschreibt. Bei *Laaksovirta* und *Olkonen* (20) finden wir sogar den Hinweis, dass Eisen von verkehrsbedingtem Strassenstaub herrühren kann und so Leitkomponentencharakter besitzt.

Dass Luftverunreinigungen bei den derzeitig sich ausbreitenden Waldschäden mitverursachend sind, wird von einer breiten Öffentlichkeit akzeptiert und von Wissenschaftern kaum noch bestritten (5). Die Wissenschaftler sind sich ebenfalls einig, dass eine drastische Herabsetzung der Emissionen die einzige wirksame Massnahme gegen das Waldsterben darstellen würde. Oft werden aber auch forstliche Massnahmen zur Minderung der Schäden gefordert, insbesondere eine sogenannte «Therapiedüngung». Damit

möchte man einen Ersatz für die ausgewaschenen Ionen aus den Nadeln und einen in geordnete Bahnen gelenkten Streuabbau erreichen (14). Es geht dabei weitgehend um eine Vitalitätsförderung von geschädigten Beständen. Weitere Ziele einer Düngung sind Starthilfen für Jungbestände und bodenstabilisierende Effekte. In Deutschland werden oft Kalkungen in den Vordergrund gestellt (21), und auch in der Schweiz wird von gezielten Ernährungsmassnahmen gesprochen (6). Obwohl solche Düngungen nur als vorübergehende Massnahmen gedacht sind, möchten wir vor unbedachtem Handeln warnen, da zu befürchten ist, dass die geplanten Massnahmen sich über eine längere Zeit hinziehen könnten und vermutlich grossflächig in undifferenzierter Weise durchgeführt werden müssten. In Analogie zur «hohen Schornsteinpolitik» des technischen Immissionsschutzes muss auch im forstlichen Immissionsschutz eine ähnliche Problemverlagerung erwartet werden, welche sich erst nach Jahren manifestieren dürfte. Es muss daran erinnert werden, dass nur ein kleiner Teil des ausgebrachten Düngers durch die Bäume genutzt wird, der Überschuss in die Gewässer abfließt und dort die Wasserqualität beeinträchtigen kann (22). Wohin dies im Extremfall führen kann, zeigen Beispiele aus der Landwirtschaft mit den Problemen der Phosphatverschmutzung der Gewässer (23) und der Nitratbelastung des Grundwassers (24). Unserer Ansicht nach genügen die vorliegenden forstlichen Erfahrungen mit der Therapiedüngung noch zu keiner generellen Anwendung. Wohl konnten in Oberfranken mit der Einzelbaumdüngung und sehr hohen Düngergaben Tannen revitalisiert werden (25), im Schwarzwald dagegen liess sich im Buntsandstein keine eindeutige Wirkung der Düngung auf die Benadelung von Fichte und Tanne feststellen (26). Bei Fichte drängte sich sogar der Eindruck auf, eine Erhöhung des Boden-pH-Wertes beeinträchtige die Vitalität der Bäume negativ. Im weiteren fanden *Kenk et al.* (27) in ehemals gedüngten Fichten- und Tannenbeständen eines Düngerversuches so gut wie keine Unterschiede im Gesundheitszustand der Bäume zu solchen der Kontrollflächen. Auch *Evers* (28), der für gesunde und mässig erkrankte Bestände noch eine gewisse Düngung im immissionsökologischen Sinne empfiehlt, sieht bei älteren, bereits deutlich geschädigten Beständen keinen Sinn und Nutzen in der Düngung. Eine eigentliche Therapiedüngung wird also auch von ihm abgelehnt. Deutlich warnt er vor planlosen Kalkungen oder Düngungen über alle Standorte hinweg. Aus diesen Überlegungen und aufgrund unserer gesamtschweizerisch erhobenen Nadelanalysen sehen wir keinen generellen Düngereinsatz im grossen Stil, da wir weder eine weiträumig verbreitete, allgemeine Nährstoffunterversorgung noch einen unterschiedlichen Elementgehalt in gesunden und geschädigten Nadeln feststellen konnten.

Résumé

Dégâts aux forêts en Suisse — 1983 (2ème partie)

Interprétation de l'enquête Sanasilva et de l'analyse des aiguilles d'épicéa du point de vue de la nutrition des arbres forestiers

Au cours de l'automne 1983, 1429 forestiers de triage estimèrent, dans les forêts de la Suisse, l'intensité et l'étendue des dommages non attribuables à des causes certaines, mais où l'action de la pollution de l'air ne pouvait pas être exclue. En même temps que cette enquête, on analysa les aiguilles de deux épicéas de 840 stations de notre pays, en vue d'obtenir des indices soutenant l'hypothèse des immissions ou pour avoir tout au plus des indications générales sur une nutrition insuffisante des arbres.

Le soufre, le chlore et le fluor ont été mesurés comme éléments principaux des immissions; le calcium, le potassium, le manganèse, le fer et le zinc en tant qu'éléments nutritifs de l'arbre. Notre intérêt ne s'est pas seulement concentré sur les valeurs moyennes et leurs dispersions, sur les corrélations qui purent être établies, mais surtout sur la répartition géographique des teneurs en éléments des aiguilles par rapport aux dégâts annoncés dans les forêts. Les prélèvements d'aiguilles furent volontairement faits pour recueillir des renseignements d'ordre épidémiologique, en ne considérant l'intensité des dommages que comme variable indépendante.

A l'exception du zinc, il ne fut pas possible, pour l'ensemble du pays, de déceler des indices signalant une carence générale dans la nutrition des épicéas. Très peu d'arbres (0 à 5 %) ont une teneur insuffisante en calcium, en magnésium, en potassium, en manganèse ou en fer. Quant au zinc, plus de la moitié des stations analysées présente un manque de cet élément dans la nutrition des arbres. La répartition géographique des teneurs en éléments des aiguilles révèle de nettes différences interprétables aussi bien du point de vue de la nutrition des arbres forestiers que de la protection contre les immissions. Le manganèse et le potassium présentent une nette relation avec l'acidité du sol. Le fer, chimiquement apparenté au manganèse, se comporte par contre comme les composants principaux des immissions, soit le soufre, le chlore et le fluor. Cependant l'élément fer est également connu comme composant des poussières des immissions. Mais pas seulement la répartition géographique des teneurs en éléments des aiguilles permet d'interpréter la situation provoquée par les dégâts aux forêts. Nous pouvons aussi tirer des conclusions semblables, statistiquement significatives, en transposant les données sur le grillage et en effectuant une analyse de régression multiple.

Les résultats démontrent clairement que les dommages aux forêts ne sont pas provoqués par un manque de nutrition. Le rôle des immissions, en tant que facteur important des dégâts, est de nouveau confirmé.

La question d'un apport d'engrais comme thérapie contre les dommages est examinée. Des mesures dans ce sens seraient certainement prématurées. Sur la base de nos analyses, une fumure sur de grandes surfaces n'est ni nécessaire, ni indiquée.

Traduction: *O. Lenz*

Verdankungen

Für wertvolle Hinweise und Beratungen danken wir unseren Kollegen Dr. Th. Keller und Dr. P. Schmid-Haas. Danken möchten wir auch Herrn Dr. O. Lenz für die Übersetzung der Zusammenfassung und den an den Analysen beteiligten Mitarbeitern der Versuchsanstalt.

Literatur

- 1 *Bucher, J. B., Kaufmann, E., Landolt, W.*, 1983: Waldschäden in der Schweiz — 1983 (1. Teil). *Schweiz. Z. Forstwes.* *135*, 271—487.
- 2 *Isermann, K.*, 1983: Bewertung natürlicher und anthropogener Stoffeinträge über die Atmosphäre als Standortfaktoren im Hinblick auf die Versauerung land- und forstwirtschaftlich genutzter Böden. VDI-Kolloquium «Saure Niederschläge». Lindau/Bodensee, 7.—9. Juni.
- 3 *Wehrmann, J.*, 1983: Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. *Landw. Forsch.* *16*, 130—145.
- 4 *Camirand, R., Camire, C., Bernier, B.* 1983: Comportement de *Picea abies* Karst. en plantation au Québec, Canada. II. Relations nutrition—croissance. *Plant and Soil* *73*, 17—26.
- 5 *Bucher, J. B.*, 1983: Bemerkungen zum Waldsterben und Umweltschutz in der Schweiz. *Forstw. Cbl.* *103*, 16—27.
- 6 *Flückiger, W., Flückiger-Keller, H., Braun, S.*, 1984: Untersuchungen über Waldschäden in der Nordwestschweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* *135*, 389—444.
- 7 *Rehfuss, K.-E.*, 1983: Walderkrankungen und Immissionen — eine Zwischenbilanz. *Allg. Forstzeitschr.* *38*, 601—610.
- 8 *Zech, W., Popp, E.*, 1983: Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO-Bayern. *Cbl.* *102*, 50—55.
- 9 *Zöttl, H. W., Mies, E.*, 1983: Die Fichtenerkrankung in Hochlagen des Südschwarzwaldes. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* *154*, 110—113.
- 10 *Horntvedt, R.*, 1979: Leaching of chemical substances from tree crowns by artificial rain. *Mitt. IUFRO-Tagung, S2.09-Luftverunreinigungen, Ljubljana, 1978*, S. 115—123.
- 11 *Schrimpf, E.*, 1983: Waldsterben infolge hoher Schadstoffkonzentrationen im Nebel? *Staub-Reinhalt. Luft* *43*, 240.
- 12 *Ulrich, B., Matzner, E.* 1983: Abiotische Folgewirkungen der weiträumigen Ausbreitung von Luftverunreinigungen. *Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern. Luftreinhaltung. Forschungsbericht* *104 02 615*.
- 13 *Zöttl, W.*, 1983: Zur Frage der toxischen Wirkung von Aluminium auf Pflanzen. *Allg. Forstzeitschr.* *38*, 206—208.
- 14 *Hüser, R.*, 1983: Forstdüngung mit Blickrichtung auf die Immissionsbelastungen. *Allg. Forstzeitschr.* *38*, 1089—1092.
- 15 *Bergmann, W., Neubert, P.*, 1976: *Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 194.
- 16 *Smith, M. E., Bayliss, N. S.*, 1942: The necessity of zinc for *Pinus radiata*. *Plant Physiol.* *17*, 303—310.
- 17 *Fiedler, H. J., Nebe, W., Hoffmann, F.*, 1973: *Forstl. Pflanzenernährung und Düngung*. Stuttgart, S. 135—139.
- 18 *Malhotra, S. S., Blauel, R. A.*, 1980: Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in western Canada. *Northern Forest Research Centre, Edmonton, Alb., Information Report NOR-X-228*.
- 19 *Mayer, R.*, 1981: Natürliche und anthropogene Komponenten des Schwermetallhaushalts von Waldökosystemen. *Göttinger Bodenkundliche Berichte* *70*.
- 20 *Laaksovirta, K., Olkkonen, H.*, 1979: Effect of air pollution on epiphytic lichen vegetation and element contents of a lichen and pine needles at Valkeakoski (South Finland). *Ann. Bot. Fenn.* *16*, 286—296.
- 21 *Ulrich, B.*, 1983: Belastung und Belastbarkeit von Waldökosystemen und Luftverunreinigungen. *Allg. Forst- u. J.-Ztg* *154*, 76—82.

- 22 Kreutzer, K., Hüser, R., 1978: Der Einfluss der Waldbewirtschaftung auf die Wasserspende und die Wasserqualität. Forstw. Cbl. 97, 80–92.
- 23 Gächter, R., Furrer, O. I., 1972: Der Beitrag der Landwirtschaft zur Eutrophierung der Gewässer in der Schweiz. Schweiz. Z. f. Hydrologie 34, 42–70.
- 24 Nitrate im Trinkwasser. Lagebericht November 1979 des Eidgenössischen Departement des Innern.
- 25 Zech, W., 1983: Kann Magnesium immissionsgeschädigte Tannen retten? Allg. Forstzeitschr. 38, 237 ff.
- 26 Aldinger, E., 1983: Gesundheitszustand von Nadelholzbeständen auf gedüngten und ungedüngten Standorten im Buntsandstein-Schwarzwald. Allg. Forstzeitschr. 38, 794–796.
- 27 Kenk, G., Evers, F., Unfried, P., Schröter, H., 1983: Düngung als Therapie gegen Immissionswirkungen in Tannen-Fichtenbeständen? Allg. Forstzeitschr. 38, 153–170.
- 28 Evers, F. H., 1984: Lässt sich das Baumsterben durch Walddüngung oder Kalkung aufhalten? Forst- u. Holzwirt 39, 75–80.
- 29 Swan, H. S. D., 1972: Foliar nutrient concentrations in Norway spruce as indicator of tree nutrient status and fertilizer requirement. Pulp Pap. Res. Inst. Can., Woodlands Rep. 40 (zitiert in 3).
- 30 Kreutzer, K., 1972: Die Wirkung des Manganmangels auf die Farbe, die Pigmente und den Gaswechsel von Fichtennadeln (*Picea abies* Karst.). Forstw. Cbl. 91, 80–98.
- 31 Ahrens, E., 1964: Untersuchungen über den Gehalt von Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten an Kupfer, Zink, Bor, Molybdän und Mangan. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 135, 8–16.
- 32 Jeanneret, F., Auf der Maur, F., 1981: Der grosse Schweizer Atlas. Verlag Kümmeli und Frey, Bern.

