

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DER BENADELUNG HERRSCHENDER FICHTEN UND DEN SCHWEFEL-, FLUOR- UND CHLORIDGEHALTEN 1- UND 2-JÄHRIGER FICHTENNADELN IN NORDRHEIN-WESTFALEN

Von

KNABE W.

Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen

1. Z U S A M M E N F A S S U N G

In Nordrhein-Westfalen wurde 1979 die Benadelung von je 3 Probestämmen an 145 Meßpunkten in 22 Betrieben bonitiert und chemisch analysiert. Aus der landesweiten Übersicht ergeben sich signifikante Beziehungen zwischen der Benadelung und Schadstoffen Fluor, Schwefel und Chlor. Die Interpretation wird durch eine starke Interkorrelation dieser Elemente erschwert. Die negative Korrelation zwischen Fluor-, Schwefel- und Chlorgehalten der Nadeln zur lebenden Gesamtbenadelung von Probezweigen des 7. Astquirls bleibt jedoch erhalten, auch wenn man den Einfluß anderer Komponenten rechnerisch ausgleicht.

2. E I N L E I T U N G U N D F R A G E S T E L L U N G

In Nordrhein-Westfalen wird seit 1979 eine immissionsökologische Waldzustandserfassung (IWE) im Rahmen der Forsteinrichtung durchgeführt, nachdem ein Vorversuch im Jahre 1978 erfolgreich verlaufen war. Dabei wird die Immissionsbelastung der Wälder mittels biologischer Indikatoren erfaßt. Hierzu gehören neben der epiphytischen Flechtenvegetation die Anzahl der lebenden Nadeljahrgänge der Fichte und die Schadstoffgehalte in 1- und 2-jährigen Fichtennadeln. Bei den Erhebungen wurden erhebliche Unterschiede zwischen Forstbetrieben und Meßpunkten gefunden. Aus zahlreichen Untersuchungen ist bekannt, daß Schwefeldioxid-,

Fluorwasserstoff-, Chlorwasserstoff- und Schwermetall-Immissionen in der Regel zur Anreicherung der betreffenden Komponenten in Nadeln führen (GARBER 1967, GUDERIAN 1970, KELLER 1972, STEFAN 1968). Ebenso ist bekannt, daß chronische Immissionen zum vorzeitigen Abfall älterer Nadeln führen, die Anzahl der lebenden Nadeljahre also herabsetzen (PAVLIK 1965, PELZ 1970, KNABE 1972, 1978). Hohe Konzentrationen können auch zum Abfall jüngerer Nadeln führen. Nicht ausreichend bekannt war dagegen, welche Beziehungen zwischen der Benadelung einerseits und den Schadstoffgehalten andererseits bestehen. Durch einen landesweiten Vergleich der zunächst betriebsweise erhobenen Daten sollten diese Zusammenhänge ermittelt werden.

3. M A T E R I A L U N D M E T H O D E

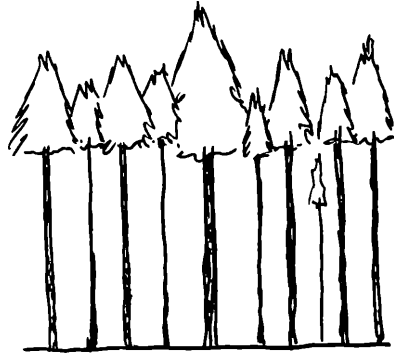
Die Berechnung fußt auf den im Jahre 1979 durchgeführten Erhebungen in 145 Fichtenbeständen, die sich auf 22 Forstbetriebe verteilen. An jedem Meßpunkt wurden drei herrschende Fichten ausgewählt, gefällt und auf den Zustand ihrer Benadelung bonitiert (s. Abb. 1 a-d). Hierzu wurde der Anteil der lebenden Nadeln für die sieben Jahrestriebe des siebenten Astquirls an jeweils drei Zweigen geschätzt und daraus die mittlere Gesamtbenadelung eines Baumes (GB) als Prozentsumme aller 7 Jahrestriebe gebildet (Abb. 1 d). Die Gesamtbenadelung kann also bei Vorhandensein aller Nadeln den Maximalwert von 700 % erreichen. Von den gleichen Bäumen wurden Proben der 1- und 2-jährigen Nadeln entnommen (s. Abb. 2 a-c). Die Proben wurden getrocknet, gemahlen und analysiert. Die Fluorbestimmung erfolgte an 2-jährigen Nadeln nach der von BARTELS und PHAM (1980) in Anlehnung an REUSMANN und WESTFALEN (1969) erarbeiteten Analysenvorschrift mithilfe einer ionenspezifischen Elektrode im Labor des Fachgebietes 143 der LÖLF. Die übrigen Komponenten wurden in den 1-jährigen Nadeln mithilfe der Röntgenfluoreszenanalyse im Labor der LUFA Münster bestimmt. Zur Methodik siehe BEITZ et al 1980.

4. E R G E B N I S S E U N D D I S K U S S I O N

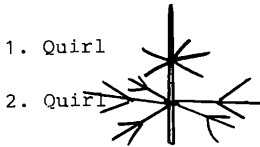
Die Ergebnisse werden dem Postercharakter der Originaldarstellung entsprechend in kurzgefaßten Einzelbefunde unterteilt.

Abb. 1: Immissionsökologische
Waldzustandserfassung

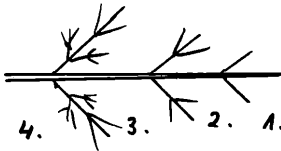
a) Auswahl herrschender
Fichten als Probebäume



b) Abzählen
der Quirle
1 bis 7



c) Nachzählen
der Triebe
1 bis 7



d) Bonitierung am Längstrieb des Zweiges 7. Astquirle
Knospenschuppen und andere Nadelstellung kennzeichnen die
Triebgrenze, Blattkissen das Fehlen von Nadeln

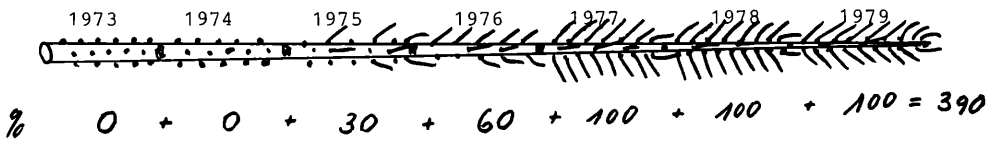
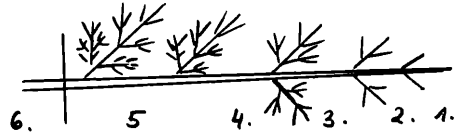
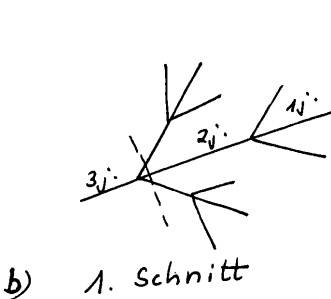


Abb. 2: Gewinnung von Nadelproben

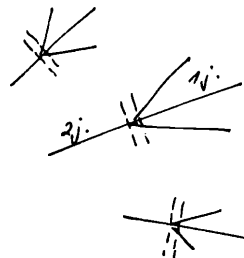
a) Abschneiden der letzten
5 Triebe im Bestand



b) und c) Aufarbeiten im Labor, Trennung 1- und 2jähriger Triebe



b) 1. Schnitt



c) 2. Schnitt
Übergang wird verworfen

4.1 Beziehungen zwischen Gesamtbenadelung und Schadstoffgehalten

Die Gesamtbenadelung herrschender Fichten, erhoben als Prozentsumme der jüngsten sieben Jahrestriebe am siebenten Astquirl, ist signifikant negativ mit den drei Komponenten Schwefel und Chlor in 1-jährigen und Fluor in 2-jährigen Nadeln korreliert. Die drei Korrelationskoeffizienten betragen bei Betrachtung der Meßpunktmittelwerte von jeweils 3 Bäumen

$$r_{GB/S (1)} = -0,596, \quad r_{GB/Cl (1)} = -0,588 \quad \text{und} \quad r_{GB/F (2)} = -0,703.$$

Die Beziehung ist beim Schwefel in Abb. 3a auch graphisch dargestellt. Die Schwefelgehalte streuen zwischen 1500 und 3500 $\mu\text{g/g}$ Trockensubstanz, die Gesamtbenadelung zwischen 220 und 660 %. Im Bereich hoher Schwefelgehalte kommen keine Meßpunkte mit gut benadelten Fichten vor, bei Schwefelwerten unter 1800 $\mu\text{g/g}$ TS fehlen Meßpunkte mit extrem schlechter Benadelung. Im Zwischenbereich streuen die Werte erheblich, da die Benadelung nicht nur vom S-Gehalt, sondern auch von anderen Komponenten und sonstigen Faktoren abhängt.

Die Beziehung ist bei Chlor und Fluor ähnlich, sodaß hier auf eine graphische Wiedergabe verzichtet wird.

Bei Berechnung der Regressionsgraden für je einen Schadstoff ergeben sich folgende Formeln, wenn die Schadstoffe einheitlich in $\mu\text{g/g}$ Trockensubstanz angegeben werden.

$$\begin{aligned} GB &= 786,24 - 0,344 S, \quad GB = 555,68 - 0,0725 Cl \quad \text{oder} \\ GB &= 608,72 - 8,633 F. \end{aligned}$$

4.2 Korrelationen zwischen den drei Komponenten

Anhand der o.g. Korrelationen und Regressionsgleichungen kann man jedoch keine Kausalanalyse vornehmen, da zwischen diesen Komponenten selbst eine starke Korrelation besteht, die in Tabelle 1 dargestellt ist.

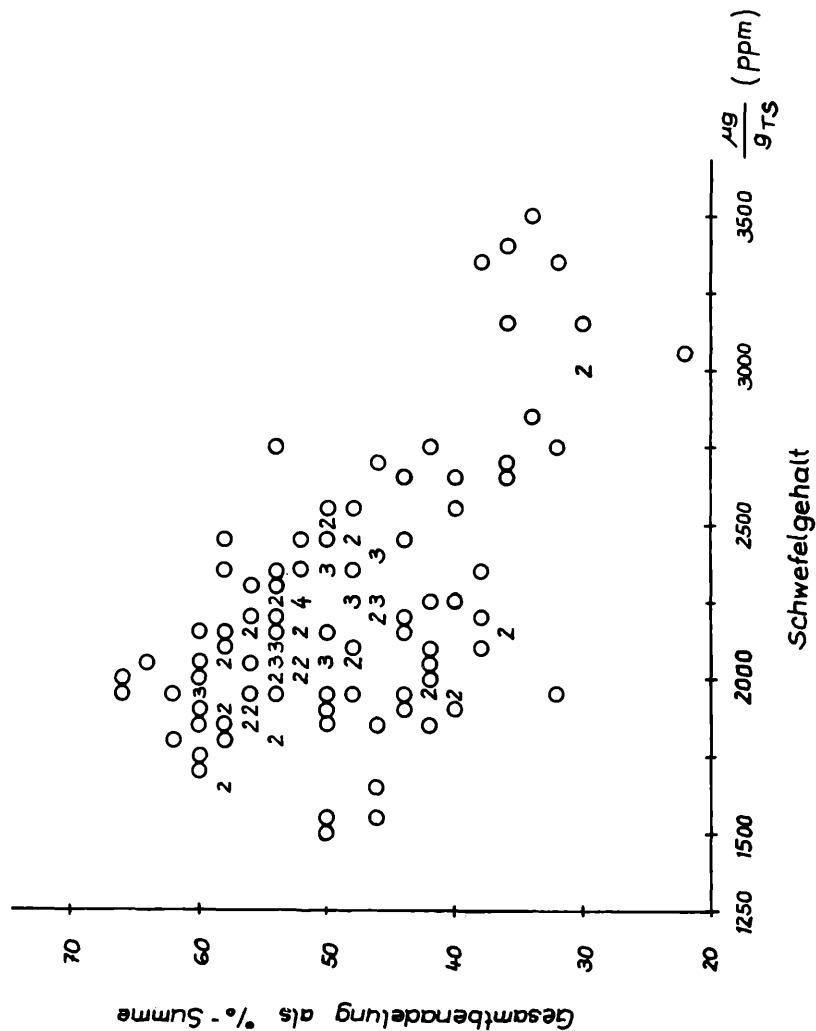


Abb. 3 Beziehung zwischen dem Schwefelgehalt 1jähriger Fichtennadeln und der "Gesamtbenadelung" der Fichte, erhoben als Prozentsumme der 7 Jahrestriebe des siebenten Astquirls der Fichte
a) Mittelwerte aller Meßpunkte des Jahres 1979 (N = 145)

Tabelle 1: Korrelation zwischen den Schadstoffgehalten -
 Meßpunktmittelwerte von Schwefel und Chlor in
 1j. Nadeln und Fluor in 2j. Nadeln

Art der Korrelation	N	Korrelations- koeffizient r	Irrtumswahr- scheinlichkeit P
Fluor/Schwefel	145	-0,702	< 0,001
Fluor/Chlor	145	-0,671	< 0,001
Schwefel/Chlor	145	-0,433	< 0,001

Alle drei Komponenten sind miteinander korreliert, F jedoch stärker mit S und Cl, als die S- und Cl-Gehalte untereinander. Bei dieser Sachlage kann man daher nicht entscheiden, ob jede der drei Komponenten als Ursache der unterschiedlichen Benadelung in Betracht kommt oder ob eine Wirkung durch die Korrelation mit der tatsächlich wirksamen Komponente nur vorgetäuscht wird.

4.3 A u s s c h l u ß a n d e r e r K o m p o n e n t e n

Die Verbesserung der Aussage wurde auf zwei Wegen versucht.

Der erste Weg besteht in der Auswahl von Teilpopulationen aus der Gesamtheit der Meßpunktmittelwerte jeder Komponente

- Ausschluß aller Meßpunkte mit hohen Gehalten von mindestens einer der zwei anderen Komponenten (s.Abb. 3b)
- Auswahl aller Meßpunkte mit hohen Gehalten der zwei anderen Komponenten (s.Abb. 3c)
- Rest, d.h. Meßpunkte mit je einem hohen oder niedrigen Wert der übrigen Komponenten (nicht dargestellt).

Die Grenze zwischen "hoch" und "niedrig" wurde bei 2300 µg S/g TS, 1200 µg Cl/g TS und 10 µg F/g TS festgesetzt.

Das Ergebnis ist für Schwefel graphisch in Abb. 3 b-c und in Tabelle 2 dargestellt.

In Abb. 3b ist erkennbar, daß bei Ausschluß aller Meßpunkte mit hohen Cl- und F-Gehalten auch die meisten hohen S-Werte entfallen. Trotzdem bleibt eine signifikante Korrelation übrig, die rund 19 der Varianz der Gesamtbenadelung erklären würde.

In Abb. 3c dagegen ist sichtbar, daß Meßpunkte mit hohen F- und

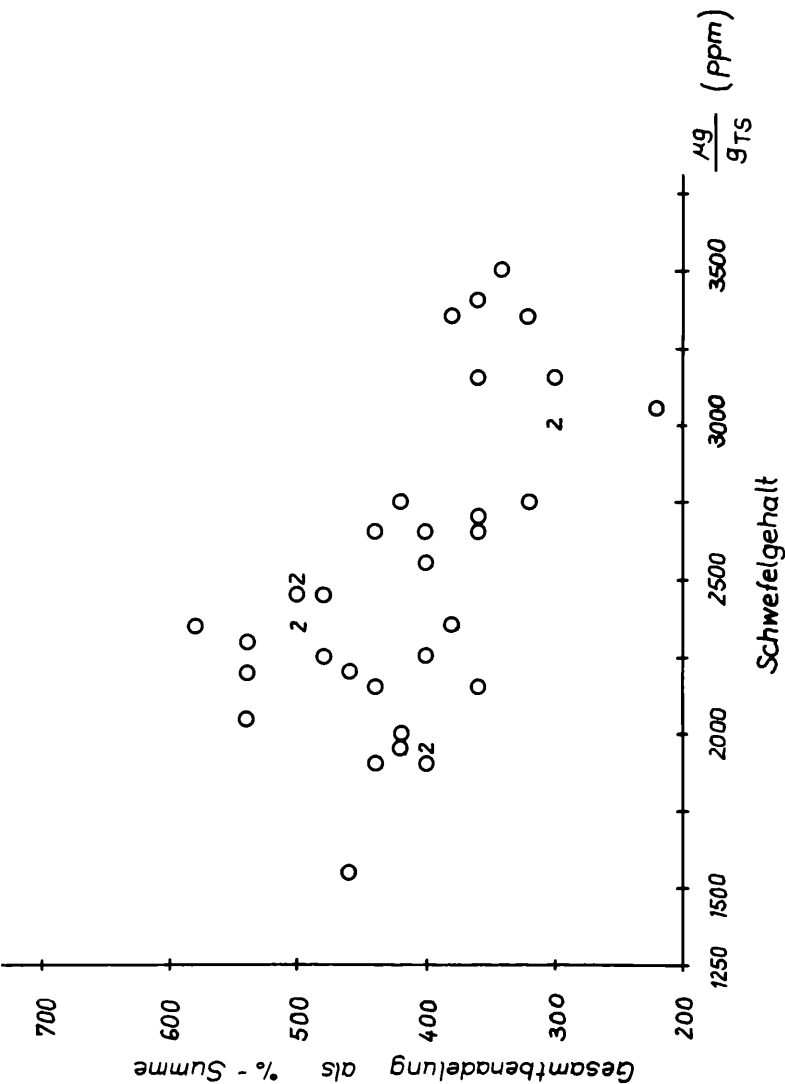


Abb. 3 Fortsetzung

c) Nur Meßpunktmittelwerte mit hohen Fluor- und Chlorwerten.
(N = 53, F 10 $\mu\text{g/gTS}$, Cl 1200 $\mu\text{g/gTS}$)

Tabelle 2: Änderung der Korrelations- und Regressionskoeffizienten der Beziehungen zwischen Benadelung und Schadstoffgehalten bei Ausschluß von Teilpopulationen

Art der Abb. Korrelation	Bedingungen		N	Korrelation			Regression	
				r	r ²	P	a	b
GB/S(1)	3a	keine	145	-0,596	0,353	0,000	786	-13,44
	3b	F < 10, Cl < 1200	53	-0,431	0,186	0,001	807	-12,75
	3c	F ≥ 10, Cl ≥ 1200	39	-0,576	0,331	0,000	657	-9,68
GB/Cl(1)	-	keine	145	-0,588	0,345	0,000	556	-7,25
	-	F 10, S < 2300	52	-0,086	0,007	0,27	555	-1,56
	-	F ≥ 10, S ≥ 2300	49	-0,609	0,370	0,000	528	-6,87
GB/F(2)	-	keine	145	-0,703	0,494	0,000	609	-8,63
	-	Cl < 1200, S < 2300	87	-0,453	0,205	0,000	629	-9,93
	-	Cl ≥ 1200, S ≥ 2300	27	-0,710	0,504	0,000	575	-7,28

Cl-Gehalten sich zwar vorwiegend im rechten Teil der Punktwolke befinden, daß aber auch einige niedrige S-Werte auftreten. Die Regressionsgerade verläuft hier flacher als in Abb. 3a und 3b, da sich niedrigere S-Gehalte bei höheren Cl- und F-Gehalten nicht so positiv auf die Benadelung auswirken können. Trotz der geringeren Neigung ist r in Abb. 3c größer als in Abb. 3b und fast gleich groß wie in Abb. 3a.

Bei der Beziehung GB/Cl führt der Ausschluß aller Meßpunkte mit hohen F- u. S-Werten zum Fortfall auch aller hohen Chlorwerte. Die geringe negative Korrelation bei 52 Meßpunkten ist nicht mehr signifikant. Der negative Effekt einer zusätzlichen Chlorbelastung zu anderen Komponenten auf die Benadelung wird bei diesem Verfahren jedoch nicht erfaßt.

Die Korrelation zwischen Fluor und Benadelung bleibt auch bei Ausschluß aller Meßpunkte mit hohen S- u. Cl-Werten hoch signifikant. Sie erklärt noch 20,5 % der Varianz der 87 Meßpunkte. Der zweite Weg der Ermittlung des Einflusses der Einzelkomponenten auf die Benadelung besteht in der Berechnung partieller Korrelationskoeffizienten durch den vorgeschobenen Ausgleich des Einflusses einer oder beider anderer Schadstoffe (s. Tabelle 3).

Tabelle 3: Partielle Korrelationskoeffizienten bei vorlaufendem Ausgleich anderer Komponenten (+++ = $P < 0,001$, ++ = $P < 0,01$)

Vorheriger Ausgleich	$r_{GB/S}$	$r_{GB/Cl}$	$r_{GB/F}$
von keiner Komponente (s. Tab. 2)	-0,596 ⁺⁺⁺	-0,588 ⁺⁺⁺	-0,703 ⁺⁺⁺
S (1)	-	-0,455 ⁺⁺⁺	-0,499 ⁺⁺⁺
Cl (1)	-0,468 ⁺⁺⁺	-	-0,514 ⁺⁺⁺
F (2)	-0,203 ⁺⁺	-0,220 ⁺⁺	-
S (1) + Cl (1)	-	-	-0,324 ⁺⁺
S (1) + F (2)	-	-0,240 ⁺⁺⁺	
Cl (1) + F (2)	-0,225 ⁺⁺	-	-

Aus Tabelle 3 kann man ersehen, daß auch nach dem Ausgleich der anderen Komponenten alle 3 Schadstoffe einen signifikanten Einfluß auf die Benadelung behalten.

5. S C H L U S S F O L G E R U N G

Durch die Auswertung der Bonitierungen und Nadelanalysen ist eine signifikante Korrelation zwischen Fluor, Schwefel und Chlor zur Gesamtbenadelung von Fichten im Lande Nordrhein-Westfalen nachgewiesen. Daraus kann man unter Berücksichtigung auch anderer Untersuchungen folgern, daß die Fichte sowohl durch Schadstoffaufnahme als auch durch vorzeitigen Nadelabwurf Hinweise auf Immissionen gibt. Beide Reaktionen müssen gleichzeitig erfaßt und zusammen interpretiert werden. Die Schadstoffgehalte geben ein Maß für die Kontamination des Fichtenwaldes, die Benadelung einen Hinweis auf seine Vitalität und die Wirkung der aufgenommenen Schadstoffe. Die auf Nadelanalysen beruhenden Überwachungsprogramme in Bayern (RUDOLPH 1978) und Hessen (WENTZEL 1979) sollen deshalb nach einer am 18.09.1980 in Wiesbaden ausgesprochenen Empfehlung der Arbeitsgruppe "Bioindikation der Luftbelastung" um die Erhebung der Benadelung erweitert werden. Im Rahmen der immissionsökologischen Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen wurden aus den Beziehungen zwischen Schadstoffgehalten

und Benadelung Hinweise auf die Waldgefährdung entwickelt (KNABE 1980).

6. D A N K

Die vorliegenden Untersuchungen konnten nur dank der Mitarbeit vieler Kollegen durchgeführt werden. Ich danke den Forsteinrichtungsbeamten für Probenahme und Bonitierung, meinen engsten Mitarbeitern Frau S. Zacker, Frau A. Pichon und Herrn K.-H. Bruns für die Gesamtabwicklung, den Herren G. Cousen und E. Joeres für Beratung und statistische Berechnungen, Herrn Dr. U. Bartels, Frau Pham thi Tam und Frau U. Giebel für die Durchführung der chemischen Analysen in Düsseldorf sowie Herrn Dr. H. Rethfeld und den Mitarbeitern der LUFA für die Schwefel- und Chloranalysen in Münster.

7. S U M M A R Y

RELATIONS BETWEEN LIVING FOLIAGE OF DOMINANT TREES OF NORWAY SPRUCE (PICEA ABIES) AND THE CONTENT OF SULFUR, FLUORIDE, AND CHLORIDE IN 1- AND 2-YEARS OLD NEEDLES.

The foliage of 3 sample trees for each of 145 sample plots in 22 forests of Northrhine-Westphalia was assessed and chemically analyzed. Significant correlations between percentage of living foliage and content of S, F, and Cl were found in a state-wide comparison. The interpretation of these results is complicated by correlation between those three elements. The negative correlation between content of S, F, and Cl and the percentage of living foliage, however, remained significant, even if the influence of the other two components was subtracted before.

8. L I T E R A T U R

Bartels, U. und Pham thi Tam, 1980: Die Analyse von Fluor, Chlor und Schwefel in Pflanzenmaterial im Rahmen der Immissionsökologischen Waldzustandserfassung (IWE) in Nordrhein-Westfalen. Ms, Veröffentlichung in Vorbereitung

- Beitz, L., Plesch, R. und Rethfeld, H., 1980: Röntgenanalyse auf Schwermetalle in pflanzlichen Produkten. Landw. Forsch. 33, S. 30-37
- Garber, K., 1967: Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. Gebr. Bornträger, Berlin-Nikolassee, VIII+ 279 S.
- Guderian, R., 1970: Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt der Luft. Z. Pflanzenkrankheiten Bd. 77, H. 4/5, S. 200-220, H. 6, S. 289-308, H. 7, S. 387-399
- Keller, Th., 1972: Über die Überwachung der Immissionen von Kehrlichtverbrennungsanstalten mit Hilfe von Nadelanalysen auf Chloride. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. Wien, Bd. 97/I, S. 271-280
- Knabe, W., 1972: Immissionsbelastung und Immissionsgefährdung der Wälder im Ruhrgebiet. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien, Bd. 97/I, S. 53-88
- Knabe, W., 1978: Ermittlung und Benutzung geeigneter Wirkungskriterien an der Vegetation für die Beurteilung der Immissionsbelastung eines Raumes. 41. Deutscher Geographentag Mainz. Tagungsberichte u. Abhandlungen. F. Steiner Verl. Wiesbaden, S. 548-566
- Knabe, W., 1980: Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen (IWE) - Verfahren und Ergebnisse 1979. Ms., Veröffentlichung in Vorbereitung
- Pavlik, A., 1965: Beiträge zur Resistenzzüchtung der Fichte und Kiefer gegenüber verunreinigter Luft. Diss. Univ. München
- Pelz, E. 1970: Ergebnisse einer Schadenserhebung als Teilaufgabe der Forsteinrichtung in Fichtenbeständen des mittleren Erzgebirges. Arch. Forstwesen, Bd. 19, H.6, S. 651-674
- Reusmann, G. und Westfalen, J., 1969: Ein elektrometrisches Verfahren zur Bestimmung des Fluorgehaltes in Pflanzenmaterial. Staub-Reinhalt. Luft, Bd. 29, Nr. 10, S. 413-415
- Rudolph, E., 1978: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf pflanzliche Indikatoren in Bayern. Schr. Rh. Naturschutz u. Landespflege, München, H. 9, S. 7-44
- Stefan, K., 1966: Der Wert von Luft- und Nadelanalysen für die Rauchschadensfeststellung. Mitt. Forstl. Bundes-Vers.anst.

Wien, Bd. 73, S. 91-99

Wentzel, K.F., 1979: Die Schwefel-Immissionsbelastung der Koniferenwälder des Raumes Frankfurt/Main. Forstarchiv Jg. 50, H.6, S. 112-121

Stichworte: Immissionen, Fichte (*Picea abies*), Benadelung, Schwefel, Fluor, Chlor, Bioindikatoren
(Ms. eingereicht 22.12.80)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [137_2_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Knabe Wilhelm

Artikel/Article: [Beziehungen zwischen der Benadelung herrschender Fichten und den Schwefel-, Fluor- und Chloridgehalten 1- und 2-jähriger Fichtennadeln in Nordrhein-Westfalen 267-279](#)