

- EVERS, F. H., 1979: Ernährungszustand gesunder und erkrankter Tannenbestände. *Forst- u. Holzwirt* 34, 366–369.
- EVERS, F. H.; KÖNIG, E.; LIPPARDT, M.; MÜLLHÄUSSER, G.; STUMMER, G.; BERWIG, W., 1979: Untersuchungen zur Tannenerkrankung. *Allgem. Forstztschr.* Nr. 21, 565–568.
- GODO, G. H.; REISENAUER, H. M., 1980: Plant effects on soil Manganese availability. *J. Soil Sci. Soc. Am.* 44, 993–995.
- REHFLUSS, K. E., 1967: Standort und Ernährungszustand von Tannenbeständen in der südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft. *Forstw. Cbl.* 86, 321–348.
- SCHRÖTER, H., 1981: Das Tannensterben in Baden-Württemberg – Stand der Untersuchungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Abt. Waldschutz. *Forstw. Cbl.* 100, 161–168.

*Anschrift des Verfassers:* Dr. F. H. EVERS, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Botanik und Standortskunde, Fasanengarten, D-7000 Stuttgart 31 (Weilimdorf)

## Untersuchungen über die Immissionsbelastung von Tannen- und Fichtennadeln im Bereich des Bayerischen Waldes

Von A. v. SCHÖNBORN und E. WEBER

Seit gut 25 Jahren befaßt sich der Lehrstuhl für Forstpflanzenzüchtung und Immissionsforschung bzw. das ehemalige Institut für Forstpflanzenzüchtung, Samenkunde und Immissionsforschung mit der Belastung des Waldes durch Schadstoffe verschiedener Art, insbesondere mit deren Auswirkung auf die Assimilationsorgane der Waldbäume. Rückblickend auf diesen Zeitraum, der weitgehend auch die ausgeprägte Industrialisierungsphase nach dem letzten Kriege umfaßt, ist festzustellen, daß wir im Bereich des Bayerischen Waldes nur selten aus Anlaß vermuteter oder tatsächlicher „Rauchschadensfälle“ tätig werden mußten. Soweit dies der Fall war, handelte es sich fast stets um räumlich begrenzte Probleme, vor allem um Fluorimmissionen im Einflußbereich von Glashütten.

Man kann davon ausgehen, daß sich Anzahl und Kapazität der Glasbetriebe von der Nachkriegszeit bis zur Gegenwart nicht wesentlich ausgeweitet haben, während der sogenannte Hausbrand durch Siedlungserweiterung und intensivere Beheizung zweifellos stark zugenommen hat. Letzteres gilt auch hinsichtlich der Ansiedlung von kleineren und mittleren Gewerbe- und Industriebetrieben. Demnach kann angenommen werden, daß die ortsbürtigen Emissionen in den letzten Jahrzehnten zwar zugenommen haben, spektakuläre Veränderungen aber nicht eingetreten sind.

Nicht berücksichtigt ist bei dieser Aussage die möglicherweise zunehmende Belastung des Raumes durch Ferntransport von Schadstoffen, weil darüber noch keine exakten Untersuchungsergebnisse vorliegen. Gefahr droht z. B. aus dem Donaauraum, wo die SO<sub>2</sub>-Emission der Erdölraffinerien und Großkraftwerke vor der Installierung von Clausanlagen in der Größenordnung von 20 000 kg pro Stunde lag, aber auch von den westlich vorgelagerten Großstädten und von den Braunkohle-Kraftwerken im Osten. Von nicht geringem Einfluß sind sicherlich auch die physikalisch und chemisch wirksamen Feststoff-Partikel (vor allem Schwebstäube) sowie NO<sub>2</sub> und die sekundär aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen entstehenden Oxidantien (u. a. Ozon), welche in weiträumiger Verbreitung auftreten, deren Feststellung und Bewertung jedoch zum Teil noch große Schwierigkeiten bereitet.

Nachfolgend werden die Ergebnisse von Untersuchungen dargelegt, welche in den letzten Jahren mit finanzieller Unterstützung durch die Bayerische Staatsforstverwaltung in Teamarbeit durchgeführt wurden. Im Schwerpunkt haben wir uns mit der Analysierung des Schadstoffgehaltes der Nadeln von Tannen und Fichten befaßt, weil dieser nach unserer Meinung ein wichtiges Indiz für die Beurteilung des Gesundheitszustandes der Bäume ist. Die Fichte wurde deshalb in diese Untersuchungen einbezogen, weil wir mit dieser Baumart mehr Erfahrung haben und auf einen weitgestreuten und langjährigen Fundus von Vergleichswerten zurückgreifen können. Im übrigen haben wir festgestellt, daß der Schadstoffgehalt von Tannen- und Fichtennadeln unter vergleichbaren Umweltverhältnissen weitgehend in ähnlichen Größenordnungen liegt.

Die Testbäume wurden jeweils in unmittelbarer Nähe der von der Oberforstdirektion Regensburg eingerichteten Dauerbeobachtungsflächen festgelegt und zwar in den staatlichen Forstämtern Waldmünchen, Bodenmais, Mauth, Griesbach und Kelheim sowie im Thurn- und Taxis'schen Forstamt Wörth/Donau. Zusätzlich wurden noch exponierte Lagen am Arbersattel (Bodenmais), auf dem Hohen Bogen (Kötzing) und am Osser (Forstgut Lambach) in die Untersuchungen einbezogen, sowie ein Bauern-Plenterwald und ein Privatwald im Forstamt Kötzing, wo wir schon vor Einrichtung der Beobachtungsflächen tätig geworden waren.

Das untersuchte ein- bzw. zweijährige, teilweise auch dreijährige Nadelmaterial repräsentiert die Nadeljahrgänge 1978 – 1977 – 1976. Ermittelt wurden die Werte des Gehaltes an Fluor und Gesamtschwefel.

Labortechnisch basieren die Fluorwerte auf Naß-Aufschluß und Einsatz einer ionenspezifischen ORION-Elektrode (= F<sup>-</sup>). Die Gesamtschwefelwerte sind sowohl im modifizierten Oelschläger-Naßverfahren als neuerlich auch mit dem Leco-Analysen-Automat (Pyrolitisch mit Infrarot-Analyse des SO<sub>2</sub> in der Gasphase) analysiert worden.

Die Ergebnisse halten sich dank stark verbesserter Analysenmethodik unseres Labors in einer Fehlergrenze von nur 2 bis 3%; sie sind verlässlich und reproduzierbar. Kenner dieser außerordentlich komplizierten Materie werden dies zu schätzen wissen.

## Fluorwerte

Aufgrund der beträchtlichen individuellen Schwankungen der Werte von Baum zu Baum und des nur relativ geringen artbedingten Unterschiedes erschien eine Trennung der Testbäume nach den Baumarten Fichte und Tanne sowohl bei Fluor als auch bei Gesamtschwefel weder sinnvoll noch notwendig.

Die in mg F/100 g Tr.S. ermittelten F-Werte der insgesamt 43 Testbäume schwanken bei den einjährigen Nadeln zwischen 0,22 und 0,90 mg (Jahrg. 1978) und bei den zweijährigen Nadeln zwischen 0,30 und 1,11 mg (Jahrg. 1977).

Die Abbildung 1 veranschaulicht die Durchschnittswerte aus relativ wenig differierenden Mehrfachanalysen.

Wenn wir den Grenzbereich zwischen den natürlichen Werten einerseits und den durch Immissionen erhöhten Werten andererseits in vorsichtiger Weise und unter Berücksichtigung des Nadelalters bei etwa 0,60 mg (einjähr.) bzw. 0,90 mg (zweijähr.) ansetzen, so ist aus den vorliegenden Werten zu folgern, daß im großen und ganzen diese „natürlichen“ Fluorgehalte der Nadeln nicht überschritten werden. Einen Ausnahmefall stellt das Forstamt Waldmünchen dar, wo der genannte Grenzbereich erreicht und leicht überboten wird: hier reichen die Nadelgehalte (Einzelwerte!) von 0,78 bzw. 0,75 bis zu 0,90 bzw. 1,11 mg, während ansonsten die höchsten Einzelwerte bei rd. 0,7 bzw. 0,9 mg (Forstamt Kötzing) liegen.

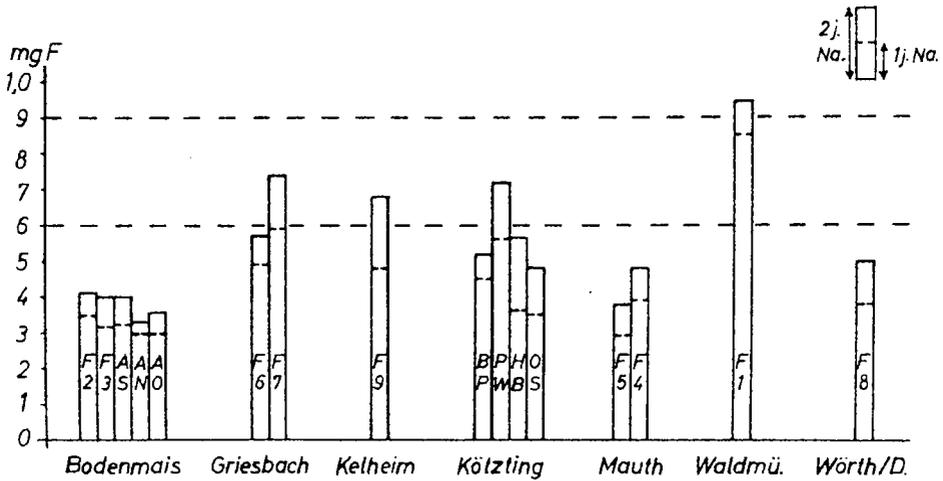


Abb. 1. Mittlere Nadel-Fluorgehalte (mg F/100g Tr.S.) für verschiedene Probenahmeorte in 7 ostbayerischen Forstämtern

Fig. 1. Mean fluorine contents of needles (mg F per 100 grams dry weight) from different locations in seven forest districts of eastern Bavaria

Die Zunahme der F-Gehalte mit dem Nadelalter ist verhältnismäßig gering. Für reichlich die Hälfte der Testbäume liegen zusätzlich die Werte der dreijährigen Nadeln (Jahrg. 1976) vor. Diese weisen meist keine oder eine nur sehr geringfügige Zunahme der Schadstoffgehalte auf, was mutmaßlich auf das Trockenjahr 1976 und auf die daraus resultierende vorzeitige Alterung (= Gaswechsel-Minderung) der Nadeln zurückzuführen ist.

Eine vorläufige Interpretation (ohne die derzeit laufende Wiederholung der Analysen mit neuem Material) kann keine Hinweise auf eine erhebliche, großräumig wirksame Fluor-Immission vermitteln. Wenn Einflüsse von überörtlicher Bedeutung in den verschiedenen Waldbereichen vorhanden sein sollten, so dürften sie nur in Form sehr geringer Konzentrationen auftreten.

### Gesamtschwefelwerte

Die „Verweilzeit“ des SO<sub>2</sub> in der Atmosphäre wird je nach den Verhältnissen auf 1 bis 10 Tage veranschlagt, der damit zusammenhängende sog. Halbwertszeit dürfte trotz sehr differierender Veranschlagung noch so beträchtlich sein, daß auch bei einem Transport über hunderte von Kilometern noch erhebliche Restmengen auftreten können.

Die „Leitfunktion“ von SO<sub>2</sub> für die Beurteilung von Schadwirkungen dürfte deshalb weitgehend auch bei Ferntransport erhalten bleiben, so daß man von der Analysierung des S-Gehaltes der Assimilationsorgane Aussagen sowohl über die Nah-, als auch über die Fernwirkung dieses Schadstoffes erwarten kann.

Die ermittelten Nadelschwefelgehalte der einzelnen Testbäume liegen bei den einjährigen Nadeln zwischen rd. 0,80 und 1,35 mg S/1g Tr.S. (Jahrg. 1978), bei den zweijährigen Nadeln zwischen rd. 0,90 und 1,70 mg S/1g Tr.S. (Jahrg. 1977). Die altersbedingte Zunahme ist gering und zeichnet sich (auch bei dreijährigen Nadeln) meist nur relativ schwach ab. Die Abbildung 2 zeigt den jeweiligen Durchschnitt des Gesamtschwefelgehaltes der Nadeln.

Da wir den Grenzbereich der natürlichen Werte bei etwa 1,20 (einjährige Nadeln) bzw. 1,50 mg S/1g Tr.S. (zweijährige Nadeln) ansetzen, kann abgeleitet werden, daß die S-

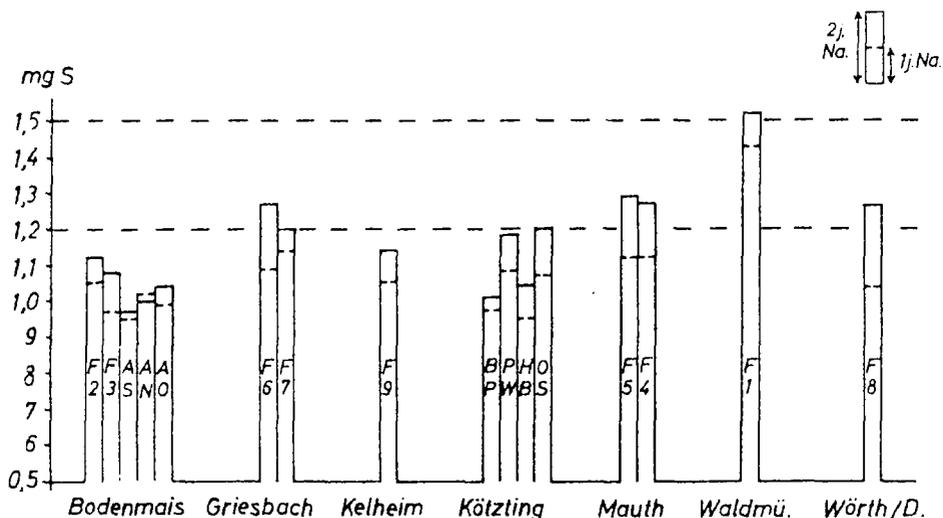


Abb. 2. Mittlere Nadel-Gesamtschwefelgehalte (mg S/1g Tr.S.) für verschiedene Probenahmeorte in 7 ostbayerischen Forstämtern

Fig. 2. Mean total sulphur contents of needles (mg S per 1 gram dry weight) from different locations in seven forest districts of eastern Bavaria

Werte in ihrer Mehrzahl mehr oder weniger deutlich unter dieser Grenze bleiben bzw. nur zum Teil an sie heranreichen. Ein deutliches Überschreiten der natürlichen Nadelgehalte ist nur in Einzelfällen feststellbar.

Aus den Nadelanalysen ergibt sich demnach kein Hinweis auf stärkere Schwefelimmis-sionen. Vorläufig wird man eher von einer nicht übermäßigen Belastung durch relativ niedrige Konzentrationen schwefeliger Luftverunreinigungen auszugehen haben. Die Möglichkeit der indirekten Schädigung über den Boden bleibt bei dieser Aussage jedoch bewußt unberücksichtigt.

Falls nennenswerte Schadeinflüsse von  $\text{SO}_2$  und anderen Schwefelverbindungen auf die Assimilationsorgane auftreten sollten, müßten diese — nach unseren vorläufigen Ergebnissen zu schließen — allenfalls auf relativ geringe, aber sehr langfristig einwirkende Schadstoffkonzentrationen zurückzuführen sein.

Ganz ohne Zweifel bedarf es noch mehrerer Wiederholungen von Probenahmen und Analysen, um hier fundiertere Aussagen machen zu können.

## Staubniederschlag

Zur Ergänzung dieser Untersuchungen haben wir im Sommer 1980 mit der Erfassung der Staubniederschläge nach dem sogenannten Bergerhoff-Verfahren begonnen, wie es in der „TA Luft“ verankert ist. Damit können zunächst die Feststoff-Immissionen als monatliche Rückstands-Quantitäten erfaßt werden, es sind aber auch gewisse Aufschlüsse über die Qualität der Rückstände (z. B. Schwermetalle) zu gewinnen. Darüber hinaus lassen sich u. a. auch Sulfat-Fluoridgehalt, Leitfähigkeit und pH-Wert der aufgefangenen Flüssigkeitsmengen testen.

In den Bayerwald-Forstämtern Bodenmais, Mauth und Waldmünchen sind insgesamt 60 Bergerhoff-Geräte ausgebracht, weitere Meßstellen sind im Bereich der Forstämter Kelheim und Immenstadt installiert.

Bei dieser Staubniederschlag-Erfassung, die sich möglichst über einen Zeitraum von mehreren Jahren erstrecken soll, werden weit überwiegend die Feinstaub-Partikel erfaßt, die als Schwebstoffe durch die Niederschläge ausgewaschen werden. Größere Stäube, die infolge höherer Sinkgeschwindigkeit quasi „von selbst“ ausfallen, sind kaum enthalten; sie setzen sich weitgehend bereits im näheren Bereich von entsprechenden Emissionsquellen ab. So gesehen stellt die Anwendung dieses zusätzlichen Verfahrens eine Maßnahme dar, um vor allem den Einfluß weiter entfernt liegender Emissionsquellen nachzuweisen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können erst zu einem späteren Zeitpunkt bekanntgegeben werden.

### **Vermutungen und Hypothesen**

In letzter Zeit sind verschiedentlich Vermutungen und Hypothesen geäußert worden, die eine gravierende Immissionsbelastung des Bayerischen Waldes als wesentliche Ursache des „Tannensterbens“ unterstellt haben, ohne hierfür konkrete Befunde oder zumindest plausible Zusammenhänge aufzuzeigen, die zu einer solchen Schlußfolgerung berechtigen würden. Sicherlich gibt es Aspekte, welche in diese Richtung weisen, z. B. zunehmende Luftverunreinigung in Nord- und Ostbayern, verringerte pH-Werte des Niederschlagswassers auf der Beobachtungsstation des Umweltbundesamtes am Brodjackkriegel und allgemein zunehmende „Versauerung“ der Niederschläge. Es ist aber wohl nicht so, daß die variierenden Immissionshypothesen hinreichend erhärtet sind.

Da alle Anzeigen darauf hindeuten, daß es sich nicht um eine aktuelle (kürzfristige) Belastung und Schädigung durch erhebliche Schadstoffkonzentrationen handelt, kommt möglicherweise eine allmähliche, nach und nach zunehmende Sensibilisierung der Bäume durch langjährige, schwache, aber sich allmählich in ihrer Wirkung summierende Immissionseinflüsse in Frage. Dabei könnte u. U. auch der Ferntransport von Schadstoffen durch weiträumige Verfrachtung in der Atmosphäre eine größere Rolle spielen. Dies wäre der nach bisheriger Erfahrung erstmalige Fall einer besonders ausgeprägten „chronischen Schädigung“, in dem nach langzeitigen Einwirkungen die Schädigung zuletzt sehr rasch evident wird und zum schnellen Absterben von Bäumen führt. Insbesondere dann, wenn noch gesundheitsbedrohende Einflüsse anderer Art hinzukommen, könnte das Phänomen des „Sterbens“ der als besonders empfindlich geltenden Tanne dadurch zumindest eine zusätzliche Erklärung finden.

Anzusprechen ist hier vor allem auch die Wechselwirkung von Immissionen mit Frost und Trocknis, da als erwiesen gilt, daß Immissionsbelastung die Empfindlichkeit der Bäume gegenüber Frost und Trocknis beträchtlich erhöht und umgekehrt. Eine solche Vermutung oder Hypothese würde auch in den Teufelskreis des „Fichtensterbens“ passen, das in allerletzter Zeit in besorgniserregender Weise um sich greift.

Andererseits aber würde auch verständlicher, warum es so schwierig ist, die Immissionseinwirkung zu erfassen und nachzuweisen. Auf alle Fälle müssen noch geeignete Schritte unternommen werden, um die möglicherweise relativ geringen Schadstoffkonzentrationen zu dokumentieren und in ihrer Auswirkung zu erklären.

In das Konzept der im Rahmen der Untersuchungen über das „Tannensterben“ entwickelten Hypothesen paßt diese Immissionstheorie recht gut, insbesondere auch dann, wenn man davon ausgeht, daß Immissionen einen weiteren Faktor darstellen, welcher den Wasserstreß der Bäume zu intensivieren vermag. Aus unseren Forschungsarbeiten wissen wir nämlich auch, daß der Spaltöffnungsmechanismus der Assimilationsorgane bei zunehmender Schadstoffbelastung gelähmt werden kann, so daß bei dauernd geöffneten Stomata ungehemmte Dauertranspiration die zwangsläufige Folgeerscheinung wäre. Ob auch geringere Schadstoffkonzentrationen in Langzeitwirkung eine solche Störung des Schließzellenmechanismus bewirken können, wissen wir derzeit allerdings noch nicht.

### Zusammenfassung

Zur Überprüfung der Immissionsbelastung im Bereich des Bayerischen Waldes wurden Untersuchungen über den Fluor- und Schwefelgehalt von Tannen- und Fichtennadeln sowie über den Staubbiederschlag (Schwebstoffgehalt der Niederschläge) in diesem Gebiet durchgeführt. Weder bei Fluor noch bei Gesamtschwefel konnte eine gravierende Anreicherung gegenüber den Vergleichswerten von nichtbelasteten Standorten festgestellt werden. Das Ergebnis der Niederschlagsanalysen liegt noch nicht vor. Das Phänomen des „Tannensterbens“ ist demnach nicht durch Schadstoffanreicherung in den Assimilationsorganen zu erklären. Möglicherweise spielt aber zunehmende Sensibilisierung der Bäume durch langanhaltenden Immissionseinfluß im Zusammenhang mit Ferntransport von Schadstoffen und in Wechselwirkung mit Frost und Trockenis eine Rolle.

### Summary

*Investigations on the contamination of fir and spruce needles by air pollution in the area „Bayerischer Wald“ (Eastern Bavaria)*

In order to check the influence of air pollution, investigations on the fluorine and sulphur contents of fir and spruce needles, and in addition also on the deposition of particulates were conducted in that area. Neither fluorine nor total amount of sulphur showed an alarming increase when data were compared with such from non-affected locations. Results of the analyses concerning deposition of particulates can not be reported yet.

Thus, the phenomena of rapidly dying firs within several forest areas of Bavaria can not be explained by an enormous accumulation of injurious agents in the assimilating organs. It is possible, however, that an increased sensibility of the trees caused by a prolonged influence of air contaminants from faraway sources, interacting with frost and drought is important.

*Anschrift der Verfasser:* Prof. Dr. ALEXANDER VON SCHÖNBORN und Akademischer Direktor Dr. EBERHARD WEBER, Lehrstuhl für Saatgut, Genetik und Züchtung der Waldbäume, Amalienstr. 52, D-8000 München 40

*Lehrstuhl für angewandte Zoologie der Universität München*

## Zoologische Aspekte des Tannensterbens

VON O. EICHHORN

### 1 Einleitung

Die derzeitige Welle des Tannensterbens zeichnet sich durch bemerkenswerte Intensität, Ausdehnung und Dauer aus und durch die Tatsache, daß tierische Schädlinge bisher von keiner Seite als wichtiger Faktor im Ablauf der Komplexkrankheit angesehen werden. Dies