

C H E M I C A L N E E D L E A N A L Y S I S  
D E T E R M I N A T I O N O F D A M A G I N G S U B S T A N C E S

By

Klaus STEFAN

Institut für Forstschutz der Forstlichen Bundesversuchsanstalt  
Wien - Austria

ABSTRACT

The fact that damaging substances may accumulate in needles has been used for the diagnosis of the effect of air pollutants on forest trees for 120 years. The results of the chemical needle analysis, however, can only give an indication of the effect but not of the actual damage (loss of increment). The effort to establish a functional correlation between the contents of damaging substances and the damage temporarily discredited the chemical needle analysis as a method of diagnosis. The damage to the tree can be determined only by means of surveys on the loss of increment. This paper will deal with the contents of S, F and Cl in needles from regions with and without air pollutants, the factors influencing the accumulation of S, F and Cl in needles and the possibilities for the application of the needle analysis as a method of diagnosis.

C H E M I S C H E N A D E L A N A L Y S E  
SCHADSTOFFBESTIMMUNG

Von

Klaus STEFAN

Institut für Forstschutz der Forstlichen Bundesversuchsanstalt  
Wien - Österreich

Die chemische Pflanzenanalyse zum Nachweis von Schadstoffanreicherungen in den Assimilationsorganen zählt zu den ältesten Methoden der Rauchscheidungsdiagnose und wird seit mehr als 120 Jahren angewendet (STÖCKHARDT 1850).

Trotz der Entwicklung moderner Luftanalysenverfahren zur Feststellung von Umfang und Art schädigender Immissionen wird die Nadelanalyse, der im Laufe der Zeit eine unterschiedliche Beurteilung zuteil wurde (2 - 4, 9 - 10, 14 - 15, 17, 19, 21, 23 - 31, 38 - 42, 44 - 49), weiterhin angewendet, weil sie Informationen zu liefern vermag, die durch Luftanalysen nicht oder nur mit größerem Aufwand erhalten werden könnten. Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Nadelanalyse als Diagnosemethode ist, daß die einzelnen Elemente, deren Verbindungen als Schadstoffe erkannt wurden, in den Nadeln aus immissionsfreien Gebieten einen nur in bestimmten Grenzen schwankenden natürlichen Gehalt aufweisen und dieser durch Immissionen deutlich verändert wird. Um Schlüsse auf eine Einwirkung von Immissionen aus dem Vergleich der Daten von Proben aus einem Rauchscheidungsgebiet gegen Nullproben (oder den natürlichen Gehalt) ziehen zu können, ist eine Reihe von Faktoren, die den Schadstoffgehalt beeinflussen können, bei der Probenahme

zu berücksichtigen. Im vorliegenden Beitrag werden daher folgende Fragen behandelt:

1. In welcher Größenordnung liegen die natürlichen Schadstoffgehalte von Schwefel, Fluor und Chlor, und wie groß sind ihre Veränderungen unter Immissionseinfluß?
2. Welche Faktoren können auf die Schadstoffgehalte einen Einfluß ausüben und wie ist dieser zu berücksichtigen?
3. Anwendungsmöglichkeiten der Nadelanalyse.

#### NORMALWERTE UND IHRE VERÄNDERUNGEN DURCH IMMISSIONEN

Auch heute wird noch vielfach die Möglichkeit der Diagnose mit Hilfe von Nadelanalysen bestritten. Die Einwände gegen die Nadelanalyse beziehen sich vor allem darauf, daß die einzelnen als Schadstoffe vorkommenden Elemente auch in den Nadeln aus immissionsfreien Lagen in stark unterschiedlicher Höhe vorkommen könnten. Um die Stichhaltigkeit dieser Einwände zu prüfen, wurden in den letzten Jahren in einer Reihe von Arbeiten sowohl Untersuchungen der Nadeln aus immissionsfreien Gebieten als auch Untersuchungen der Nadeln in Kombination mit Bodenanalysen vorgenommen. Die Resultate dieser Untersuchungen konnten die wesentlichen Einwände gegen die Nadelanalyse entkräften.

#### F l u o r

Nach den neuesten Untersuchungen von DANIELSEN (1960), DÄSSLER (1969), GARBER (1967 a), PAVLIK (1965), SHAW et al. (1951) und TRESHOW et al. (1967) liegen die Fluorgehalte von einjährigen Koniferennadeln aus immissionsfreien Gebieten im Bereich bis 2,7 mg % F.

Durch Immissionen können diese Werte auf 20 - 60 mg % F erhöht werden (PAVLIK 1965).

Daß derartige Erhöhungen auf Immissionen zurückzuführen sind und nicht durch Fluoraufnahmen aus dem Boden verursacht werden können, geht aus den Untersuchungen von GARBER (1967 a) und

DÄSSLER (1969) hervor, die keinen Einfluß des Bodenfluorgehaltes auf den Nadelfluorgehalt feststellen konnten (TAB. 1).

TABELLE 1: Nadel- und Bodenfluorgehalte aus immissionsfreien Gebieten.

| Autor            | mg % F                   |                               |                            | im Boden  |
|------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------|
|                  | in den Nadeln von        |                               |                            |           |
|                  | Fichte<br>Picea<br>abies | Kiefer<br>Pinus<br>sylvestris | Lärche<br>Larix<br>decidua |           |
| GARBER<br>1967 a | 0,43-0,81                | -                             | 1,03                       | 5,2       |
|                  | 0,67                     | 0,59                          | -                          | 8,3       |
|                  | 0,56                     | 0,78                          | -                          | 11,2      |
|                  | 0,61 *                   | -                             | -                          | 15,8      |
|                  | 0,79                     | 0,53                          | -                          | 26,5      |
| DÄSSLER<br>1969  | 0,63                     | 0,58                          | -                          | 9,1-13,0  |
|                  | 0,61                     | 0,62                          | 0,77                       | 10,6-10,9 |
|                  | 0,83                     | 0,96                          | 0,71                       | 14,9-16,8 |
|                  | 0,71                     | 0,82                          | 0,97                       | 16,9-17,9 |
|                  | 0,77                     | 0,74                          | 0,90                       | 29,43     |

\* Picea sitchensis

Für die Beurteilung des Bodeneinflusses können auch die Ergebnisse von PAVLIK (1965), der die Fluorgehalte einjähriger Fichten- und Kiefernadeln auf zehn verschiedenen Standorten Bayerns untersuchte, herangezogen werden. Die Fluorgehalte der einjährigen Fichtennadeln (*Picea abies*) lagen zwischen 0,2 und 0,7 mg % F, die der einjährigen Kiefernadeln (*Pinus sylvestris*) zwischen 0,3 und 0,9 mg % F, bei einem Mittel von 0,45 beziehungsweise 0,53 mg % F.

#### S c h w e f e l

Die Angaben über den natürlichen Schwefelgehalt von Nadeln differieren in weiteren Grenzen als die des natürlichen Fluor-

gehaltenes, was seinen Grund in den unterschiedlichen Analysemethoden hat. Angaben über den natürlichen Schwefelgehalt liegen von THEMLITZ (1960), PAVLIK (1965), STEFAN (1968) und GUDERIAN (1970) vor (TAB. 2).

TABELLE 2: Natürliche Schwefelgehalte einjähriger Fichten- und Kiefernnadeln aus immissionsfreien Gebieten.

| Autor           | % S in den einjährigen Nadeln von |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                 | Fichte<br><i>Picea abies</i>      | Kiefer<br><i>Pinus sylvestris</i> |
| THEMLITZ (1960) | -                                 | 0,11 - 0,18                       |
| PAVLIK (1965)   | 0,02 - 0,06                       | 0,03 - 0,09                       |
| STEFAN (1968)   | 0,03 - 0,08                       | -                                 |
| GUDERIAN (1970) | 0,11                              | -                                 |

Angaben über die Schwefelversorgung des Bodens liegen zu diesen Werten nicht vor. Für die Beurteilung des Bodeneinflusses können jedoch die Ergebnisse von THEMLITZ (1960), PAVLIK (1965) und STEFAN (1968), welche die Schwefelgehalte einjähriger Fichten- und/oder Kiefernnadeln auf jeweils verschiedenen Standorten untersuchten, herangezogen werden. Nach den Ergebnissen von THEMLITZ (1960) lagen die vier Mittelwerte der Schwefelgehalte einjähriger Kiefernnadeln von vier Standorten im Bereich von 0,13 - 0,17 % S. Die Schwefelgehalte einjähriger Fichtennadeln von 10 verschiedenen Standorten Bayerns lagen nach PAVLIK (1965) zwischen 0,02 und 0,06 % S, bei einem Mittel von 0,04 % S. Die Werte der einjährigen Kiefernnadeln lagen im Bereich von 0,04 - 0,08 % S, bei einem Mittel von 0,065 % S. Von STEFAN (1968) wurden während fünf Jahren die Schwefelgehalte einjähriger Fichtennadeln von fünf Versuchsflächen untersucht. In diesen fünf Jahren lagen die Flächenmittelwerte in folgenden Bereichen: 0,04 - 0,06; 0,05 - 0,06; 0,05 - 0,07; 0,04 - 0,06 und 0,04 - 0,06 % S.

Mit Ausnahme von Extremfällen mit erheblichen Sulfatgehalten des Bodens ist also auch beim Schadstoff Schwefel mit keiner wesentlichen Beeinflussung des Nadelschwefelgehaltes zu rechnen.

Durch Immissionen kommt es in einjährigen Fichtennadeln nach PAVLIK (1965) zu Steigerungen des Schwefelgehaltes bis zu 0,33 % S; in einjährigen Kiefernadeln durch Immissionen zu Werten bis 0,35 % S. THEMLITZ (1960) fand in einjährigen Kiefernadeln immissionsbeeinflusster Bestände Werte bis 0,29 % S. Bei ertragskundlich nachgewiesenen Immissionsschädigungen wurden in Österreich Werte von 0,10 - 0,30 % S in einjährigen Fichtennadeln gefunden (ANDRE 1961; DONAUBAUER et al. 1965).

Im Vergleich zu den Fluoranreicherungen durch Immissionen sind die Steigerungen im Schwefelgehalt zwar wesentlich geringer, Immissionseinwirkungen lassen sich aber auch für diesen Schadstoff feststellen.

#### C h l o r i d

Angaben über den natürlichen Chloridgehalt von Koniferennadeln liegen von GARBNER (1964 und 1965), KOTHEIMER (1967), DÄSSLER und EWERT (1969), STEFAN (1970 a) und KELLER (1970) vor. Demnach liegen die natürlichen Gehalte im Bereich von 0,03 bis 0,31 % Cl. Die Untersuchungen über den natürlichen Chloridgehalt von Koniferennadeln wurden aber nicht nur für die Erstellung von Rauchschadensdiagnosen vorgenommen, sondern wurden zum Teil auch in Zusammenhang mit der Untersuchung von Schäden an Koniferen durch Straßensalzung und Salzaerosole. Im Falle des Chlorids kann es auch zu einer verstärkten Aufnahme aus dem Boden und schädigender Anreicherung in den Nadeln kommen, was bei Straßensalzsäure beobachtet und durch erhöhte Chloridgehalte der Nadeln nachgewiesen werden konnte. Wie von DÄSSLER und EWERT (1969) festgestellt wurde, ergaben sich aber auch durch gasförmige HCl-Immissionen eindeutige Erhöhungen des natürlichen Chloridgehaltes der Nadeln.

Bei der Anwendung der Pflanzenanalyse zum Nachweis von HCl-Schäden ist daher einer möglichen Beeinflussung des Nadelchloridgehaltes durch den Boden besonderes Augenmerk zu schenken.

#### FAKTOREN, DIE EINEN EINFLUSS AUF DEN SCHADSTOFFGEGHALT HABEN

Selbst bei Kenntnis von Normalwerten der einzelnen Schadstoffe bei bestimmten Baumarten sind brauchbare Aussagen an Hand der Daten von Nadelanalysen aber nur dann möglich, wenn eine Reihe von Fakten, die einen Einfluß auf den Schadstoffgehalt haben, bei der Probenahme und Probenvorbereitung beachtet wird und nur gleichwertiges Probenmaterial untersucht wird. Folgenden Punkten ist bei der Gewinnung und Vorbereitung des Probenmaterials und bei der Interpretation des Datenmaterials größte Aufmerksamkeit zu schenken:

1. Auswahl der Probefläche
2. Zeitpunkt der Probenahme
3. Festlegung der Entnahmestelle am Baum
4. Trennung in Nadeljahrgänge
5. Anzahl der zu untersuchenden Probestämme pro Untersuchungsfläche
6. Standortverhältnisse
7. Witterung, Niederschläge, Zuwehung

Die Auswahl von Probepunkten beziehungsweise Probeflächen sollte in für das Untersuchungsgebiet repräsentativen Beständen, die den Anforderungen ertragskundlicher Erhebungen zur Feststellung des Zuwachsverlustes entsprechen, erfolgen. Je besser die als Probeflächen gewählten Bestandesteile hinsichtlich Alter, Baumartenmischung, Bestandesaufbau, Bestandesdichte und Bestandesbehandlung einander entsprechen, umso eindeutiger werden die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse ausfallen. Während das Alter der Bäume nach THEMLITZ (1960) keinen Einfluß auf den Schadstoffgehalt der Nadeln hat, ist

durch die anderen angeführten Fakten sehr wohl eine mehr oder minder starke Beeinflussung des Schadstoffgehaltes möglich, die zu einer falschen Beurteilung der Situation führen könnte.

Wie u.a. von ZINKERNAGEL (1958) und GUDERIAN (1970) mitgeteilt wurde, ist im Verlauf der Vegetationsperiode mit unterschiedlichen Schadstoffgehalten, entsprechend dem Entwicklungsstadium der Assimilationsorgane, zu rechnen. Auf Grund der Forderung nach Vergleichbarkeit der Proben ist daher für die Probenahme möglichst ein Zeitpunkt zu wählen, zu dem nur geringe Veränderungen in den Nadeln stattfinden. Aus den Ergebnissen von Untersuchungen des Ernährungszustandes mit Hilfe von Nadelanalysen ergibt sich, daß ab Mitte September/Anfang Oktober bis Dezember nur mit geringen Schwankungen des Mineralstoffgehaltes der Nadeln zu rechnen ist. Als günstigster Zeitpunkt für die Probenahme ergibt sich somit das Ende der Vegetationsperiode. Zu diesem Termin ist dann auch in den meisten Rauchsadensfällen mit den höchsten Speicherwerten in den Nadeln zu rechnen. Bei Untersuchungen zu anderen Zeitpunkten sind hinsichtlich der Höhe der Werte andere Normal- und Speicherwerte, als im vorangegangenen Kapitel angeführt wurden, anzunehmen. Nach eigenen Untersuchungen lag der Schwefelgehalt des jüngsten Nadeljahrganges bei Fichten in immissionsfreien Gebieten im Mittel im Mai bei 0,08 % S, im Juli bei 0,04 % S, im September bei 0,05 % S und im Oktober gleichfalls bei 0,05 % S in der Trockensubstanz.

Bei der Entnahme steile am Baum ist einerseits die Richtung und andererseits der Kronenteil, wo die Probe entnommen wird, für alle Untersuchungspunkte eines Gebietes einheitlich festzulegen. Neben einer differierenden Schadstoffeinwirkung könnten sich sonst auch noch Unterschiede in der physiologischen Aktivität auf den Schadstoffgehalt auswirken. Nach den Untersuchungen von ANDRE (1961) ist mit unterschiedlichen Schadstoffgehalten in den Nadeln der verschiedenen Kronenpartien zu rechnen. Die Schwefelgehalte



einjähriger Fichtennadeln aus dem oberen und unteren Kronenbereich differierten bis zu 40 rel. Prozent. Da im unteren Kronenbereich mit stärkeren Schwankungen der auf die Schadstoffaufnahme einflußnehmenden Faktoren (Licht, Temperatur, Luftfeuchtigkeit) zwischen den einzelnen Probeflächen zu rechnen ist, hat die Probenahme bei Rauchschadensuntersuchungen zweckmäßigerweise in der Höhe des 6./7. Quirls zu erfolgen.

Die Analysierung nach N a d e l j a h r g ä n g e n getrennter Proben ist eine unbedingte Notwendigkeit, um brauchbare Aussagen mit Hilfe der Nadelanalyse treffen zu können. Bei langfristigen Immissionen hebt sich die Anreicherung von Schwefel und Fluor in den älteren Nadeljahrgängen von Rauchschadensproben deutlich vom Schadstoffgehalt von Nadeln aus immissionsfreien Lagen ab. Aus dem geänderten Verlauf der Nadeljahrgangswerte kann neben den Veränderungen des absoluten Schadstoffgehaltes auf Immissionseinwirkungen geschlossen werden. Diesbezügliche Angaben liegen für den Schadstoff Schwefel von GUDERIAN (1970), DONAUBAUER et al. (1965) und STEFAN (1968, 1970 b) vor. Die Schwefelgehalte in verschiedenen Nadeljahrgängen von Fichte aus Gebieten mit und ohne Immissionen sind in TABELLE 3 enthalten. Angaben über den Fluorgehalt verschieden alter Nadeln werden von SHAW et al. (1951) und DONAUBAUER et al. (1965) gemacht. Die Fluorgehalte älterer Nadeljahrgänge aus immissionsfreien Gebieten sind gegenüber den Normalwerten einjähriger Nadeln nicht erhöht. Unter dauerndem Immissionseinfluß kommt es aber auch bei diesem Schadstoff zu einem stetigen Anstieg der Werte in aufeinanderfolgenden Nadeljahrgängen.

Die Werte von Mischproben würden die Immissionseinwirkung nur unvollkommen widerspiegeln; nur bei hohen Werten würden sie einen Hinweis geben, daß Immissionen vorliegen. Eine Differenzierung zwischen den einzelnen Untersuchungspunkten wäre dagegen mit den Daten von Mischproben kaum beweiskräftig möglich. Unterschiede in der Immissionseinwirkung zwischen

zwei Punkten sind dagegen bei Untersuchung einzelner Nadeljahrgänge erfaßbar; bei mehrjährigen Immissionen ist diese Differenzierung bei den älteren Nadeljahrgängen besonders deutlich.

TABELLE 3: Schwefelgehalte verschiedener Nadeljahrgänge von Fichte (*Picea abies*) in Gebieten mit und ohne Immissionen

| Autor                      | Immission | % S in den Nadeljahrgängen |       |       |      |      |
|----------------------------|-----------|----------------------------|-------|-------|------|------|
|                            |           | 1                          | 2     | 3     | 4    | 5    |
| GUDERIAN<br>(1970)         | 0         | 0,11                       | 0,11  | 0,13  | 0,13 | 0,13 |
|                            | 1         | 0,15                       | 0,15  | 0,22  | 0,23 | 0,23 |
|                            | 2         | 0,30                       | 0,41  | 0,42  | 0,42 | -    |
| DONAUBAUER<br>et al.(1965) | 0         | 0,05                       | 0,05  | 0,07  | 0,06 | 0,07 |
|                            | 1         | 0,13                       | 0,16  | 0,16  | 0,19 | 0,22 |
|                            | 2         | 0,29                       | 0,42  | 0,49  | 0,48 | 0,45 |
| STEFAN(1968)<br>(1970 b)   | 0         | -0,08                      | -0,11 | -0,13 | -    | -    |
|                            | 2         | 0,19*                      | 0,29* | 0,32* | -    | -    |

Immission: 0 - keine Immission  
1 - Immissionen  
2 - starke Immissionen

\*: Mittelwert von 6 Bäumen einer Fläche

Wie die Untersuchungen von THEMLITZ (1960), PAVLIK (1965) und STEFAN (1968, 1970 b) zeigten, sind zwischen den Nadelproben von Einzelbäumen sowohl beim Fluor- als auch beim Schwefelgehalt genetisch bedingte, starke Unterschiede auf einer Fläche mit und ohne Immissionen möglich; um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wären auf jeder Probefläche von einer größeren Anzahl von Bäumen Nadelproben zu entnehmen und getrennt zu analysieren.

In einem immissionsfreien Gebiet fand PAVLIK (1965) für Fichte eine Streubreite der Einzelwerte von 0,02 bis 0,045 % S und

von 0,2 bis 0,5 mg % F; für Kiefer eine Streubreite von 0,03 bis 0,05 % S und von 0,4 bis 1,3 mg % F in einjährigen Nadeln. Aus den Ergebnissen von PAVLIK (1965) ergibt sich ferner, daß relativ rauchresistente Fichten in den ein- und zweijährigen Nadeln einen geringeren Schwefelgehalt aufwiesen als rauchkranke. In immissionsfreien Lagen fand STEFAN (1968) Unterschiede zwischen den einjährigen Nadeln verschiedener Individuen eines Bestandes bis zu 0,03 % S. Zwischen dem höchsten und niedrigsten einjährigen Nadelwert einer Immissionen ausgesetzten Fläche betrug die Differenz dagegen 0,11 % S (1970 b). In derselben Arbeit konnte auch gezeigt werden, in welchem Umfang sich diese Ungenauigkeit der Nadelanalyse verringert, sobald man nicht nur eine Probe pro Kleinprobenfläche untersucht. In den einjährigen Nadeln kamen für die Einzelwerte maximale Abweichungen vom Gesamtmittelwert der Untersuchungsfläche von 0,06 % S vor; die Maximalabweichungen der Teilflächenmittelwerte ( $n = 2$ ) lagen dagegen nur bei 0,02 % S. Um mit Hilfe der Nadelanalyse eine Zonierung von Immissionseinwirkungen vornehmen zu können, scheint es auf Grund dieser Ergebnisse notwendig, die Nadeln von mindestens zwei Bäumen pro Kleinprobenfläche bei Rauchschadensuntersuchungen zu analysieren.

Da die Standortsverhältnisse einen wesentlichen Einfluß auf die Stoffwechselaktivität und damit auf die Schadstoffaufnahme auszuüben imstande sind, ist danach zu trachten, die einzelnen Probenflächen auf gleichen Standorten einzurichten. Sollte dies nicht möglich sein, so sind derartige Unterschiede bei der Interpretation zu berücksichtigen. Wie bereits im Kapitel "Normalwerte" ausgeführt wurde, ist mit Ausnahme von Extremstandorten hinsichtlich des Schadstoffs Schwefel nicht anzunehmen, daß Normalwerte von Fluor und Schwefel durch Bodeneinflüsse auf "Immissionswerte" angehoben werden. Eine unterschiedliche Nährstoffversorgung kann dagegen den Schwefelgehalt beeinflussen; bei Düngungsver-

suchen in Gebieten mit und ohne Immissionen konnte eine Absenkung des Schwefelgehaltes bei einem gleichzeitigen Anstieg des Stickstoffgehaltes festgestellt werden (STEFAN 1969, 1970b).

Wie in Laborversuchen und bei Freilanduntersuchungen festgestellt wurde, hat auch der Immissionszeitpunkt großen Einfluß auf die Schadstoffaufnahme (ZAHN 1963, STEFAN und POLLANSCHÜTZ 1967). Bei im Verlaufe der Vegetationsperiode weitgehend konstanten Zuwehungsverhältnissen bewirkten geringere Immissionen zum Zeitpunkt der Assimilationsspitze eine stärkere Schadstoffaufnahme als länger dauernde und höhere Immissionen während des Nachmittags (STEFAN und POLLANSCHÜTZ 1967). Andere W i t t e r u n g s-faktoren, die die Schadstoffaufnahme beeinflussen, wurden bereits bei der Frage der Entnahmestelle angeführt.

Im Rahmen dieses Kapitels, das die Einflußfaktoren und die Standardisierung der Probenahme behandelte, soll auch auf offene Fragen hingewiesen werden. Mit Hilfe der Nadelanalyse könnte die Einwirkung verschiedener Schadstoffe nachgewiesen werden. Es wäre aber noch zu klären, ob sich beim gemeinsamen Auftreten von Schadstoffen nicht eine Beeinflussung bei der Aufnahme und damit eine Verzerrung bei der Beurteilung der Immissionsverhältnisse ergibt. In diesem Beitrag wurde NUR die Nadelanalyse behandelt und darauf hingewiesen, daß eine standardisierte Probenahme eine der Voraussetzungen für brauchbare Aussagen ist. In der Praxis wird aber unter Umständen auch die Schadstoffbestimmung in Laubproben notwendig sein. Es erhebt sich aber nun die Frage, wie die Entnahme von Laubproben bei Rauchschadensuntersuchungen zu standardisieren wäre. Wie aus Untersuchungen über den Nährstoffbedarf mit Hilfe von Blattanalysen bekannt ist, besteht eine starke Beeinflussung der Blattinhaltsstoffe durch die Blattposition. Außerdem wäre noch ins Kalkül zu ziehen, daß die Blätter ihrem Entwicklungsstadium entsprechend Immissionen verschieden lang ausgesetzt sein können.

## ANWENDUNGSMÖGLICHKEIT DER NADELANALYSE

Bei Beachtung der angeführten Einflußfaktoren und bei Kenntnis der Schadstoffgehalte unbeeinflusster Nullproben ist mit Hilfe der Nadelanalyse die Immissionseinwirkung schwefel-, fluor- und chlorhaltiger Verbindungen nachweisbar. Vorteile der Nadelanalyse gegenüber der Luftanalyse ergeben sich daraus, daß mit Hilfe der Nadelanalyse auch zurückliegende Immissions- einwirkungen nachgewiesen und unterschiedliche Einwirkungen in größeren, geschlossenen Waldkomplexen sowie in topographisch stark gegliederten Gebieten festgestellt werden können, was mit Hilfe der Luftanalyse nicht oder nur mit großem Aufwand erreicht werden könnte. Schließlich erlauben die Daten der Nadelanalyse auch Rückschlüsse darauf, ob ein Schadstoff, der mit Luftanalysen festgestellt wurde, tatsächlich zur Ein- wirkung gelangte. Bei nadeljahrgangswiseer Untersuchung können auch die Ursachen für Veränderungen der Immissionssituation erfaßt werden (z.B. das Hinzukommen eines weiteren Schadstof- fes). Mit Hilfe der Nadelanalyse können aber nicht nur beste- hende Rauchschadensfälle bearbeitet werden, sondern die Nadel- analyse kann auch als Beweissicherungsmethode, vor der Errichtung von Emissionsquellen, verwendet werden. Da die Normalgehalte nur in bestimmten Bereichen von Jahr zu Jahr schwanken, lassen sich aus Überschreitungen dieser Bereiche bereits Schlüsse auf geringe Immissionseinwirkungen ziehen. Die Veränderungen im Schadstoffgehalt gegenüber Nullproben müssen aber in einer räumlichen Beziehung zur Schadensquelle stehen, wenn aus den Daten der Nadelanalysen der Beweis für schädigende Immissionseinwirkungen erbracht werden soll.

Bei der Interpretation der Daten von Nadelanalysen hat man sich aber auf jeden Fall lediglich auf den Nachweis der Immissionseinwirkung zu beschränken. Die Feststellung der Wirkung (z.B. Zuwachsverluste) hat mit anderen Methoden zu erfolgen.

## LITERATUR

- (1) ANDRE F.(1961): Untersuchungen über die Schwefelaufnahme der Fichtennadeln im Verhältnis zum Schwefelgehalt der Luft im Raum Leoben-Donawitz. Exkursionsführer "Forstschutz", XIII. IUFRO - Kongreß - Wien, 43 - 46
- (2) BREDEMANN G. und H. RADELOFF(1933): Rauchschäden durch schwefligsaure Abgase und ihre Erkennung. Phytopath. Z. 5, 179 - 194
- (3) BREDEMANN G. und H. RADELOFF(1933): Zur Diagnose von Fluor-Rauchschäden. Phytopath. Z. 5, 195 - 206
- (4) BREDEMANN G. und H. RADELOFF(1937): Gang und Methoden der Rauchschadenerhebung. Angew. Chemie 50, 331 - 341
- (5) DANIELSEN M. E.(1960): Fluorine content of plants, water and soil profiles in Western Norway. Arbok for Univ. Bergen, Mat. Naturv. Ser. 19, 1 - 21
- (6) DÄSSLER H.G.(1969): Der Fluorgehalt von Pflanzen in immissionsbeeinflussten und immissionsfreien Gebieten. Flora, Abt. A, 159, 471 - 476
- (7) DÄSSLER H.G. und E. EWERT(1969): Zum Nachweis von Chlorwasserstoffschäden an Pflanzen. Biol. Zbl. 88, 209 - 213
- (8) DONAUBAUER E., H. MANSCHINGER, J. POLLANSCHÜTZ, K. STEFAN und J. ZAWORKA(1965): Forstschäden durch Industrieabgase. Exkursionsführer Nr. 4 f.d. Österr. Forsttagung 1965, 1 - 28

- (9) GARBER K.(1960): Erfahrungen mit der Blattanalyse bei Rauchsadensuntersuchungen.  
Angew. Bot. 34, 33 - 37
- (10) GARBER K.(1961): Untersuchung und Begutachtung von Rauchsäden.  
Jber. 76 - 78, Jg. 1958 - 1960, Staatsinst. Angew. Bot. Hamburg, 119 - 127
- (11) GARBER K.(1964): Über die Bedeutung der Salzaerosole in der Luft für die Pflanze.  
Z. biol. Aerosol Forschung 12, 24 - 33
- (12) GARBER K.(1965): Über die Einwirkung salzhaltiger Aerosole auf Pflanzen.  
Vortrag auf dem Rauchsadens - Symposium am 30. 10. 1965 in Tharandt.
- (13) GARBER K.(1967 a): Über den Fluorgehalt der Pflanzen.  
Qual. Plant. et Materiae Veget. XV, 29 - 36
- (14) GARBER K.(1967 b): Luftverunreinigungen und ihre Wirkungen.  
Verl. Gebr. Borntraeger - Berlin
- (15) GERLACH C.(1925): Über forstliche Versuche und Erfahrungen. XI. Aufnahme und Aufspeicherungs-fähigkeit von schwefliger Säure ( $SO_2$ ) und Schwefelsäure ( $SO_3$ , beziehentlich  $H_2SO_4$ ) in den Nadeln unserer gemeinen Fichte.  
Tharandt. Forstl. Jb. 76, 224 - 232
- (16) GUDERIAN R.(1970): Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt der Luft.  
Ztschr. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz 77, 200 - 220, 289 - 308, 387 - 399

- (17) HASELHOFF E., G. BREDEMANN und W. HASELHOFF(1932):  
Entstehung, Erkennung und Beurteilung von  
Rauchschäden.  
Verl. Gebr. Borntraeger - Berlin
- (18) KELLER Th.(1970): Über die Überwachung der Immissionen  
von Kehrlichtverbrennungsanstalten mit Hilfe von  
Nadelanalysen auf Chloride. ,  
Vortrag auf der VII. Intern. Arbeitstagung  
Forstl. Rauchschadenssachverständiger,  
7. bis 11. 9. 1970, in Essen.
- (19) KÖCK G.(1934): Über einige bei forstlichen Rauchscha=  
denerhebungen häufig begangene Fehler und ihre  
Vermeidung.  
Ztschr. Pflanzenkrankh.(Pflanzenpath.) Pflanzen=  
schutz 44, 81 - 91
- (20) KOTHEIMER J.(1967):Physiological factors in the  
etiology allevation of salt-induced decline  
of roadside maples and pines.  
Abstr. of thesis, in Dissert. Abstr. 28 B,  
760 - 761; For. Abstr. 29 (1968), Nr. 4014
- (21) KRUMBIEGEL(1923): Nachweis von Rauchschäden an den  
immergrünen Nadelhölzern.  
Tharandt. Forstl. Jb. 74, 135 - 140
- (22) PAVLIK A.(1965): Beiträge zur Resistenzzüchtung der  
Fichte und Kiefer gegenüber verunreinigter  
Luft.  
Diss. Univ. München
- (23) POLLANSCHÜTZ J.(1966): Methodik der Rauchschadensfest=  
stellung, wie sie gegenwärtig von der Forstli=  
chen Bundesversuchsanstalt angewandt wird.  
Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 73,  
129 - 144



- (24) SCHNEIDER W.(1966): Ist der Nachweis einer Fluorschädigung von Pflanzen aus Pflanzenaschenanalysen möglich?  
Staub, 26, 534 - 536
- (25) SCHROEDER J.v.(1872): Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanze.  
Tharandt. Forstl. Jb. 22, 185 - 239
- (26) SCHROEDER J.v.(1873): Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanze.  
Tharandt. Forstl. Jb. 23, 217 - 267
- (27) SCHROEDER J.v.(1874): Zur Kenntnis des Mineralstoffgehaltes der Fichte.  
Tharandt. Forstl. Jb. 24, 257 - 277
- (28) SCHROEDER J.v. und C. REUSS(1883): Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden.  
Verl. Parey - Berlin
- (29) SCHROEDER J.v. und W. SCHMITZ - DUMONT(1896): Neue Beiträge zur Rauchfrage.  
Tharandt. Forstl. Jb. 46, 1 - 50
- (30) SHAW C.G., G.W. FISCHER, D.F. ADAMS and M.F. ADAMS(1951):  
Fluorine injury to ponderosa pine.  
Phytopathology 41, 943
- (31) STEFAN K.(1966): Der Wert von Luft- und Nadelanalysen für die Rauchsadensfeststellung.  
Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 73,  
91 - 99
- (32) STEFAN K.(1968): Über den natürlichen Schwefelgehalt von Fichtennadeln und seine Bedeutung für die Rauchsadensdiagnose.  
Materialy VI. Miedzynarodowej Konferencji, Katowice(Referate d. VI. Intern. Arbeitstagung

Forstl. Rauchschadensachverständiger in Katto=  
witz), 297 - 312

- (33) STEFAN K.(1969): Die Beeinflussung des Gesamtschwefel=  
gehaltes von Fichtennadeln durch Düngung.  
Air Pollution. Proceedings of the 1. European  
Congress on the Influence of Air Pollution on  
Plants and Animals, Wageningen 1968, 337 - 340
- (34) STEFAN K.(1970 a): Über einen Schadensfall an Fichten  
durch Straßensalz.  
Allg. Forstztg. 81, Informationsdienst 128. Folge
- (35) STEFAN K.(1970 b):Nadelanalytische Ergebnisse von  
einem Düngungsversuch in einem rauchgeschädig=  
ten Fichtenbestand.  
Vortrag auf der VII. Intern. Arbeitstagung  
Forstl. Rauchschadenssachverständiger,  
7. bis 11. 9. 1970, in Essen.
- (36) STEFAN K. und J. POLLANSCHÜTZ(1967): Entstehung und  
Entwicklung eines Rauchschadengebietes in der  
Umgebung eines Magnesitwerkes.  
Allg. Forstztg. 78, 51 - 54
- (37) STÖCKHARDT J.A.(1850): Über die Einwirkung des Rauches  
von Silberhütten auf die benachbarte Vegetation.  
Polyt. Cbl., 257
- (38) STÖCKHARDT J.A.(1871): Untersuchungen über die schäd=  
liche Einwirkung des Hütten- und Steinkohlen=  
rauches auf das Wachstum der Pflanzen, insbe=  
sondere der Fichte und Tanne.  
Tharandt. Forstl. Jb. 21, 218 - 254
- (39) STOKLASA J.(1923): Die Beschädigung der Vegetation  
durch Rauchgase und Fabrikexhalationen.  
Verl. Urban und Schwarzenberg - Berlin und Wien

- (40) STRATMANN H.(1956): Staub- und Gasimmissionen von Kohlenfeuerungen, ihr Einfluß auf die Vegetation und ihre Messung.  
VDI - Berichte 15, 59 - 66
- (41) THEMLITZ R.(1960): Die individuelle Schwankung des Schwefelgehaltes gesunder und rauchgeschädigter Kiefern und seine Beziehung zum Gehalt an den übrigen Hauptnährstoffen.  
Allg. Forst- und Jagdztg. 131, 261 - 264
- (42) TIEGS E.(1934): Rauchschäden  
In Sorauer: Handbuch der Pflanzenkrankheiten.  
Verl. Parey - Berlin
- (43) TRESHOW M., F.K. ANDERSON and F. HARNER(1967):  
Responses of Douglas Fir to Elevated Atmospheric Fluorides.  
For. Sc. 13, 114 - 120
- (44) VATER H.(1897): Der Nachweis von Rauchschäden durch die chemische Analyse.  
Tharandt. Forstl. Jb. 47, 254 - 263
- (45) WIELER A.(1905): Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen.  
Verl. Gebr. Borntraeger - Berlin
- (46) WISLICENUS H.(1901): Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden.  
Z. f. angew. Chemie 28, 689 - 713
- (47) WISLICENUS H.(1931): Die bisherige Arbeit und die nächsten Ziele des Institutes für Pflanzenchemie und Holzforschung, Dresden - Tharandt.  
Tharandt. Forstl. Jb. 82, 221 - 250
- (48) WITTE H.(1936): Rauchschäden und chemische Industrie.  
Chem. Ztg. Köthen 60, 881 - 883

- (49) ZAHN R.(1963): Über den Einfluß verschiedener Umweltfaktoren auf die Pflanzenempfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxid.  
Ztschr. Pflanzenkrankh.(Pflanzenpath.) Pflanzenschutz 70, 81 - 95
- (50) ZINKERNAGEL H.(1958): Über den Wert der chemischen Bestimmung des Schwefelgehaltes in Blättern bei Rauchscheidendiagnosen.  
Schriftenreihe Ver. Wasser-, Boden- und Lufthygiene Berlin - Dahlem 13, 21 - 36

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1971

Band/Volume: [92\\_1971](#)

Autor(en)/Author(s): Stefan Klaus

Artikel/Article: [Chemical needle analysis. Determination of damaging substances. 83-102](#)