

# Industrielle Immissionen und Forstwirtschaft

Autor(en): **Keller, T.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal  
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **115 (1964)**

Heft 4

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-765511>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Industrielle Immissionen und Forstwirtschaft

(Ein Überblick über die neuere Rauchschadenliteratur)

Von *Th. Keller*

(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf)

Oxf. 425.1

## 1. Einleitung

Die zunehmende Industrialisierung vor allem des schweizerischen Mittellandes bringt es mit sich, daß immer mehr Forstleute wirklichen oder vermeintlichen Rauchschäden gegenüberstehen. Diese Arbeit bezweckt daher, den Praktiker durch eine Übersicht über die neuere Literatur mit dem ganzen Problemkreis etwas vertraut zu machen<sup>1</sup> und ihn zu eigenen Beobachtungen anzuregen. An dieser Stelle sei aber auch in Erinnerung gerufen, daß sich die EAFV aus personellen und materiellen Gründen nicht mit der Rauchschadensforschung befaßt hat, um so mehr, als sich dieser mehrere ausländische Institute widmen, deren grundsätzliche Resultate auch für die Schweiz Gültigkeit haben.

Im Gegensatz zur Ansicht mancher Praktiker ist die Rauchschaden-diagnose — und noch mehr die Schadensschätzung — in den meisten Fällen sehr komplex. Die Symptome (Blattverfärbung, Entnadelung, Kurzadeligkeit, Absterben von Zweigen usw.) sind in der Regel nicht spezifisch, sondern können zum Teil ebensogut durch Frost, Hitze, Dürre, Pilzbefall oder Bodenverhältnisse hervorgerufen werden, so daß verschiedene Tests und Analysen für ein Beweisverfahren herangezogen werden müssen. Darin, daß Schaden und Aufwand zur Schadenermittlung in einem vernünftigen Verhältnis stehen sollen, liegt ein kritischer Punkt, denn gerade die beweiskräftige Erfassung relativ leichter Schäden bzw. deren Ursache ist schwierig und kostspielig.

Neuerdings wird der Ausdruck «Immission» dem geläufigeren «Rauchschaden» vorgezogen, weil er umfassender ist (Gase, Dämpfe, Rauch und Staub). Außerdem wird unterschieden zwischen Immission (das heißt Einwirkung auf die Pflanze, Ursache) und Immissionsschaden (Wirkung). Die Immissionen werden nach ihrer Intensität gegliedert in:

<sup>1</sup> Herrn Dr. K. F. Wentzel, Bochum, danke ich herzlich für wertvolle Hinweise und für die Vermittlung von Sonderdrucken.

- akute, das heißt solche gas-, rauch- und staubförmige Einwirkungen, welche äußere oder innere Pflanzenteile zerstören, und
- chronische, das heißt solche Einwirkungen, welche Funktionsstörungen und in der Folge unter Umständen Ertragsdepressionen bewirken.

Bei uns kommen vor allem folgende Immissionen vor, welche im nächsten Abschnitt gesondert besprochen werden:

Schwefeldioxyd, Fluor-Verbindungen, Chlorgas, Auspuffgase und Stäube von Zementfabriken.

## 2. Physiologische Wirkungen, Symptome und Testmethoden

### 2.1. Schwefeldioxyd ( $SO_2$ )

2.1.1. *Physiologische Wirkungen.* Dieses Gas hat wohl von allen industriellen Immissionen die ausgedehntesten Waldschäden verursacht. Es entsteht überall, wo Kohle oder Rohöl verbrannt oder schwefelhaltige Erze verarbeitet werden. Schadenquellen liegen daher vor allem bei Hochöfen, Kokereien, Dünger-, Soda-, Zellulose- und Schwefelsäurefabriken, Erdölraffinerien, thermischen Kraftwerken usw. (Abb. 1).



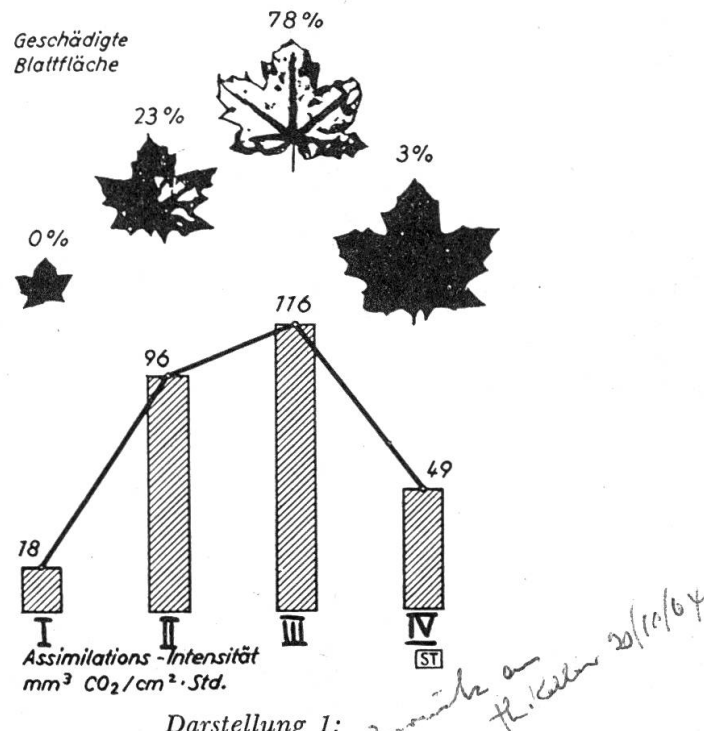
Abbildung 1:

Die von einer chemischen Fabrik emittierten  $SO_2$ -Gase führten zum Absterben des unmittelbar nach Westen angrenzenden Nadelholzbestandes. In einer Entfernung von 350 bis 450 m von der Emissionsquelle kam der Schlagrand einigermaßen zum Stillstand, doch fielen rund 10 ha (umrandet) den Abgasen zum Opfer.

(Photo und Reproduktionserlaubnis vom Luftaufklärungsdienst Dübendorf.)

Da  $\text{SO}_2$  in erster Linie durch die Stomata ins Innere der Assimilationsorgane eindringt, fördern alle jene Faktoren die  $\text{SO}_2$ -Aufnahme, die zur Öffnung der Spaltöffnungen beitragen (Jahnel, 1955), also hohe Luftfeuchtigkeit, gute Wasserversorgung der Pflanze, gute Belichtung usw. Aber auch Stomatahäufigkeit, Dicke der Cuticula, Größe der Interzellularen und ähnliche anatomische Gegebenheiten beeinflussen mit der Gasdiffusion auch die Schadenintensität.

Schon in den dreißiger Jahren war bekannt, daß sich die Widerstandsfähigkeit gegenüber  $\text{SO}_2$  mit dem Blatt- bzw. Nadelalter ändert. Begasungsversuche von van Haut und Stratmann (1960) an Birke, Ahorn und verschiedenen Nadelhölzern zeigten diesen Zusammenhang sehr schön: Die gerade voll entfalteten, physiologisch aktivsten Blätter wurden stets am stärksten, die jüngsten Blätter am schwächsten geschädigt. Eine Gegenüberstellung von Assimilationsintensität und Schädigungsgrad (geschädigte Blattfläche in Prozenten) bei verschiedenem physiologischem Blattalter ergab eine sehr gute Übereinstimmung für Spitzahorn (Darstellung 1).



Darstellung 1:

Parallelität von Assimilationsintensität und Schädigungsgrad durch  $\text{SO}_2$  bei Ahornblättern verschiedenen Alters (I ganz jung, noch hellgrün bis rötlich; II halb entfaltet; III voll entfaltet, reif; IV voll entfaltet, alt (aus van Haut, 1961).

Gleicherweise fanden Rohmeder et al. (1962) in Begasungsversuchen, daß  $\text{SO}_2$  um so schädlicher ist, je intensiver die  $\text{CO}_2$ -Assimilation vor sich geht, und Wentzel (1963a) beobachtete im Ruhrgebiet, daß frohwüchsige Bäume mit lebhaftem Gasaustausch rauchempfindlicher sind als langsamwüchsige. Dies zeigte sich nicht nur im Vergleich Fichte—Eibe, sondern

auch an Vorwüchsen und vor allem an Stangenhölzern, das heißt in dem Bestandesalter, in dem der Zuwachs kulminiert (Wentzel, 1964).

Dies will aber nicht heißen, daß schwach assimilierende Pflanzen absolut widerstandsfähig seien. Kürzlich haben Materna und Kohout (1963) mit Hilfe von radioaktiv markiertem  $\text{SO}_2$  den Nachweis erbracht, daß Fichten auch während der Winterruhe bei  $-6^\circ\text{C}$  (wenn sie nicht photosynthetisch tätig sind)  $\text{SO}_2$  absorbieren!

Diese Befunde deuten darauf hin, daß neben der Gaskonzentration auch die tatsächlich absorbierte  $\text{SO}_2$ -Menge das Schadenausmaß stark beeinflußt. Die Konzentration ist ja für alle Blätter gleich, nur die  $\text{CO}_2$ - und damit wohl auch die  $\text{SO}_2$ -Aufnahme ist für die verschieden alten Blätter verschieden. Deshalb sind nicht immer die ältesten Nadeln am schwefelhaltigsten, sondern manchmal die jüngsten. Bei anhaltenden, chronischen Immissionen steigt der Schwefelgehalt der Nadeln mit dem Alter, da erstens Speicherung eintritt und zweitens ältere Nadeln die Stomata oft nicht mehr völlig schließen und damit dem  $\text{SO}_2$ -Einfluß stärker ausgesetzt sind. Bei vereinzelt, stoßweisen, akuten Immissionen dagegen nehmen eben die aktivsten Nadeln am meisten  $\text{SO}_2$  auf, und das sind, je nach Entwicklung, die diesjährigen oder vorjährigen. Nach van Haut und Stratmann (1960) und van Haut (1961) wurden bei Begasungen von Fichten und Tannen im Frühjahr nicht die hellgrünen Neutriebe, sondern die vorjährigen Nadeln geschädigt, während sich im Sommer die Neutriebe als empfindlicher erwiesen (Abb. 2). Der Grund liegt wiederum wie beim Ahorn in der unterschiedlichen Intensität der Photosynthese, deren Jahresverlauf Darstellung 2 zeigt. An Kiefer dagegen erleiden schon die ganz jungen Nadeln Verfärbungen, und bei Lärche sind zuerst die Kurztriebe empfindlich, später dagegen die sich entwickelnden Langtriebe.

Wie wirkt sich das  $\text{SO}_2$  nun aber auf die Lebensäußerungen der Pflanzen aus? Schon längere Zeit ist bekannt, daß das  $\text{SO}_2$  die Photosynthese, Atmung und Transpiration beeinflußt (Jahnel, 1955). So ergaben auch URAS-Messungen  $\text{SO}_2$ -geschädigter Fichten, Kiefern und Tannen, daß die Assimilation wesentlich herabgesetzt war; der Quotient Assimilation/Transpiration (A/T) erwies sich als empfindlicher Indikator für  $\text{SO}_2$ -Rauchschäden (Koch, 1957; Keller und Müller, 1958). Es zeigte sich, daß eine schädliche  $\text{SO}_2$ -Konzentration die Regulation der Spaltöffnungen lahmlegt, worauf die Transpiration nur noch durch die Licht- und Wärmestrahlung «gesteuert» wird; das heißt die Transpiration verläuft bei praller Mittagssonne ungehemmt (Darstellung 3) und führt bald zu Trockenschäden, während gesunde Pflanzen dem durch rechtzeitigen Spaltenschluß vorbeugen. Die anhaltend hohe Transpiration wird vermutlich durch die Freisetzung gebundenen Wassers des Zellplasmas ermöglicht (Keller und Müller, 1958), was andererseits rascher zur Vertrocknung führt, um so mehr, als in  $\text{SO}_2$ -geschädigten Pflanzen der Wassernachschub gestört wird (Jahnel,

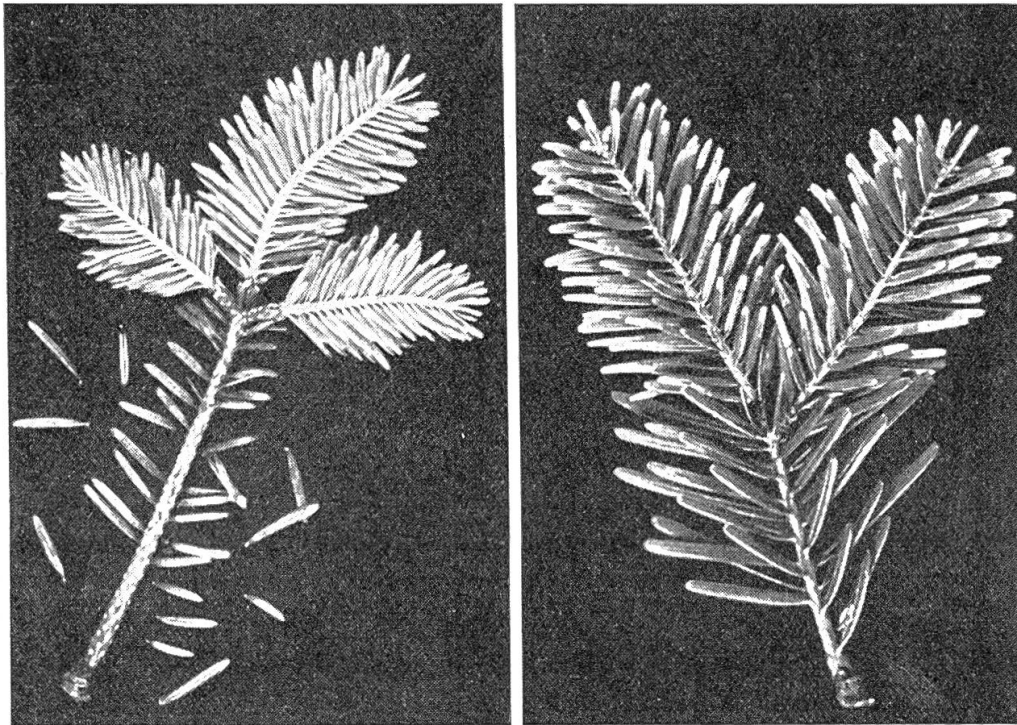
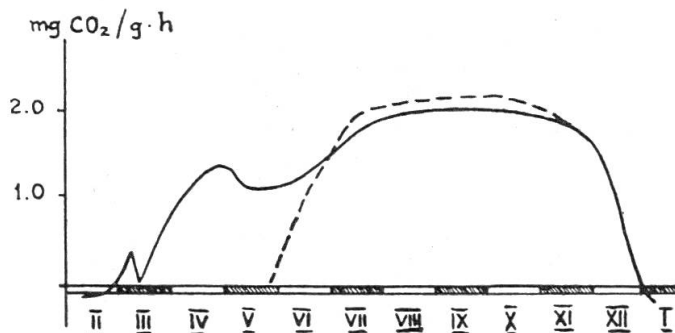


Abbildung 2:

SO<sub>2</sub>-Schäden an Nordmannstanne. Die Raucheinwirkung im Frühjahr schädigte die vorjährigen Nadeln (links), während im Sommer die diesjährigen Triebe (rechts) Schaden erlitten (aus van Haut, 1961).

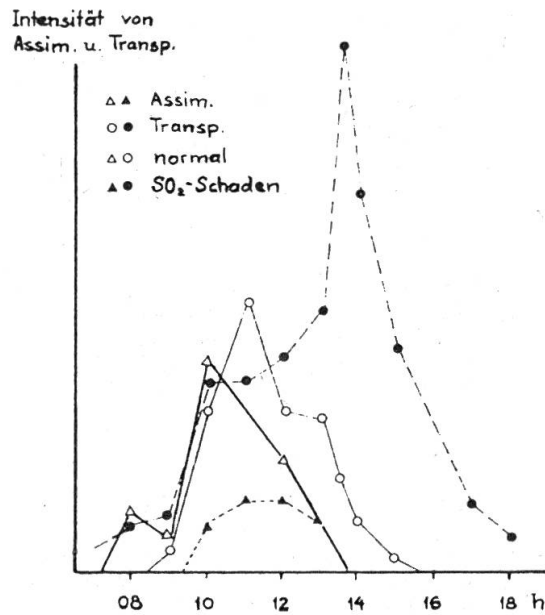


Darstellung 2:

Jahresverlauf der Assimilationsintensität von Fichtentrieben (— vorjährige Nadeln, --- diesjährige Nadeln) (nach Pisek und Winkler, 1958).

1955). Unter dem Einfluß von SO<sub>2</sub> wird aber auch die Atmung (CO<sub>2</sub>-Abgabe) gesteigert, wodurch Nettoassimilation und A/T-Wert verringert werden.

Die Beeinträchtigungen des Gasstoffwechsels sind aber nur ein Aspekt der SO<sub>2</sub>-Schädigung. Das Gas verursacht auch mannigfaltige plasmatische Störungen, wie die blattverfärbende Zerstörung des Chlorophylls, vor allem von Chlorophyll a (Müller, 1957), Umwandlung von Chlorophyll in braunes Phaeophytin (Grüll, 1954), Gerbstoffausfällungen und Veränderung



Darstellung 3:

Tagesverlauf der Intensität von CO<sub>2</sub>-Assimilation und Transpiration normaler und SO<sub>2</sub>-geschädigter Fichtenzweige (nach Koch, 1957, umgezeichnet).

der Plasmastruktur. Diese Wirkungen beruhen zum Teil auf den reduzierenden und säuernden Eigenschaften des SO<sub>2</sub>. Durch den Chlorophyllzerfall und vermutlich auch durch die Zerstörung eisenhaltiger Fermente wird Eisen frei, weshalb der Anteil wasserlöslichen Eisens am Gesamteisen zunimmt (Jahnel, 1955).

Der Schädigung wirkt das SO<sub>2</sub>-Speicherungs- und Entgiftungsvermögen der Zellen entgegen, das unter anderem vom Ernährungszustand der Pflanze abhängt. Bei guter Basenversorgung ist die Gewebepufferung beachtlich, und in geschädigten Geweben fand Themnitz (1960) die Tendenz eines Anstiegs der K- und Mg-Gehalte, womit offenbar der durch SO<sub>2</sub> erhöhte Anionenanteil teilweise neutralisiert werden kann. Materna (1961, 1962a) berichtet, daß SO<sub>2</sub>-beeinflusste Fichtennadeln mit zunehmendem Schwefelgehalt auch den K- oder Ca- und Mg-Spiegel erhöhten. Ebenso stieg der Gehalt an Kieselsäure (SiO<sub>2</sub>) parallel zur Intensität der Schadenssymptome. Rohmeder et al. (1962) fanden in 1- bis 2jährigen Nadeln gesunder aussehender Fichten erheblich weniger Schwefel als in gleich alten Nadeln kränkelder Bäume.

Werden geschädigte Fichtennadeln in Wasser kurz aufgekocht, so stellt sich eine mit der Schädigung gleichlaufende Zunahme der Trübung des Wassers ein (Härtel, 1953). Zuerst wurde vermutet, daß die Trübung durch Wachs verursacht werde und daß die Fichtennadeln auf SO<sub>2</sub> mit der Ausscheidung von Wachsöpfchen reagierten, womit die Stomata verstopft würden. Nach neueren Untersuchungen (Härtel, 1960b) handelt es sich

aber bei der Trübungsursache eher um ein Gemisch lipoid- und terpenartiger Extraktstoffe. Biochemische Untersuchungen von Cvrkal (1959) ergaben nämlich Übereinstimmungen zwischen Beschädigungsgrad der Nadeln und deren qualitativen und quantitativen Terpenanalysen.



Abbildung 3:

SO<sub>2</sub>-geschädigter Fichtenbestand im Ruhrgebiet mit Laubholzverjüngung. Die meisten Fichten tragen nur noch wenige Nadeljahrgänge oder sind bereits dürr.

(Photo Dr. Wentzel, Bochum)

2.1.2. *Symptome* (Van Haut [1961], Guderian und Stratmann [1962] und Wentzel [1963a] geben Farabbildungen.)

An Koniferen äußern sich SO<sub>2</sub>-Schäden durch eine von der Nadelspitze her fortschreitende Verfärbung, die scharf vom gesunden Gewebe abgesetzt ist. Es kann sich aber — besonders bei Fichte — auch unterhalb der Spitze ein Streifen einstellen, der sich nach oben und unten ausdehnt. Die Verfärbungsskala reicht von fahlgrün bis rotbraun. Bei chronischen Schäden beobachtet man eine zunehmende Verkürzung der Nadeln, vorzeitigen Nadelabfall und Dürrastigkeit (Abb. 3 und 4).

Die meisten Laubbäume zeigen nekrotische, braunrote Flecken am Rande und auf der ganzen Spreite, wobei längs der Blattrippen die größte Resistenz gefunden wird. Häufig treten neben Randnekrosen auch Kräuselungen auf. Birkenblätter weisen bei akuten Schäden ebenfalls Blattrand- und Intercostalnekrosen (in den Feldern zwischen Blattnerven) auf; wenn



die Schädigung bei der Blattentfaltung erfolgt, so bleiben die Blätter klein (Wentzel, 1963a).

Härtel (1958) gibt für Fichte die Dimitz-Skala wieder, die auszugsweise hier aufgenommen wird, da sie grobe Anhaltspunkte zu geben vermag:

Tabelle 1:

| Schad-Klasse | Schadenszeichen            |                             |                                    |            |  |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------|--|
|              | Höhenzuwachs               | Nadellänge                  | Entnadelung                        | Nadelmenge | Habitus                                      |
| I            | —                          | —                           | An Ästen schwach                   | 80–90 %    | —  |
| II           | Schwacher Rückgang         | Jüngste Nadeln verkürzt     | Nur an Ästen stark                 | 60–80 %    | Beginn der Dürrastigkeit                     |
| III          | Starker Rückgang           | Die Hälfte kürzer           | An Ästen stark, an Zweigen schwach | 40–60 %    | Starke Dürrastigkeit, vereinzelte Dürrstämme |
| IV           | Sehr starker Rückgang      | Fast alle kürzer als normal | An Ästen und Zweigen sehr stark    | 20–40 %    | Viel wipfeldürre Stämme                      |
| V            | (Fast) völliger Stillstand | Alle sehr kurz              | Wie IV                             | — 20 %     | Alle Stämme weitgehend dürr!                 |

Diese Symptome sind jedoch unspezifisch, und die Diagnose von SO<sub>2</sub>-Schäden sollte durch verschiedene Testmethoden erhärtet werden.

2.1.3. *Testmethoden.* Ein einzelner Test wird auch bei Vorliegen von Schadenssymptomen in der Regel nicht als beweiskräftig angesehen. Je nach den Verhältnissen wird man zu folgenden Methoden greifen, wobei auf streng vergleichbare Probeentnahmen unbedingt geachtet werden muß:

— Luftanalysen. Von der mutmaßlichen Immissionsquelle bis über das Schadengebiet hinaus ist die Luft auf den SO<sub>2</sub>-Gehalt hin zu untersuchen, und zwar bei verschiedenen Wetterlagen und Windrichtungen. Die Industrie hat registrierende, automatische Analysatoren gebaut (Ionoflux, Wösthoff-Gerät usw.), doch sind auch Methoden bekannt, die mit geringem apparativem Aufwand zum Ziel führen, dafür arbeitsaufwendiger sind (zum Beispiel Anon., 1953; Buck, 1960). Bei chronischen Immissionen geben auch Summationsmethoden guten Aufschluß, während bei akuten, kurzzeitigen Immissionen nur kurzfristige (maximal 15 Minuten) Methoden richtigen Aufschluß geben (vgl. Abschnitt 3 «Rauchhärte und toxische Schwellen»).



*Abbildung 4:*

SO<sub>2</sub>-Immissionsschaden in einem Kiefernbestand. Die überlebenden Kiefern haben das Höhenwachstum eingestellt (Bildung von «Storchennestern»). Man beachte auch hier die schütterere Benadelung. (Photo Dr. Wentzel, Bochum)

- Blattanalysen (Chlorophyllverhältnis a/b [Müller, 1957]; wasserlösliches und gesamtes Eisen; Schwefel [Garber, 1960a]; SiO<sub>2</sub>; Terpene). Eisen- und Schwefelanalysen geben jedoch nicht in allen Fällen die gewünschte Auskunft.
- Bodenanalysen (pH, S-Gehalt). Die aus dem SO<sub>2</sub> entstehende schweflige Säure gelangt mit den Niederschlägen, abfallenden Blättern usw. auf den Boden. Daß es sich dabei um erhebliche Mengen handeln kann, hat Materna (1963) nachgewiesen, der im Erzgebirge feststellte, daß in einem Bestand mit den Niederschlägen 133 kg Schwefel/ha und Jahr und durch abfallende Assimilationsorgane zusätzliche 10 bis 20 kg Schwefel/ha und Jahr auf den Boden gelangten. Dieser Schwefelregen entsprach somit ungefähr 7 Prozent des Gewichtes der jährlich abfallenden Blatt- und Nadelmasse, so daß sich im Laufe der Jahre eine Erhöhung des Schwefelgehaltes im Boden einstellen muß (Materna, 1960). Als Begleiterscheinungen können eintreten: Bildung bzw. Versauerung der Rohhumusdecke und des mineralischen Oberbodens (Nemec, 1958) mit pH-Werten bis zu 3 und darunter (Wentzel, 1959a; Materna, 1960), wobei eine Verarmung des Edaphons und Hemmung der biologischen Aktivität parallel gehen und zur Verhagerung führen können (Wentzel, 1963b).
- Messung von Photosynthese, Transpiration (A/T-Wert) und Respiration mit dem Gasanalysator URAS (Koch, 1957; Keller und Müller, 1958).

- Trübungstest nach Härtel (1955, 1960b), der für Fichte recht gute Resultate ergibt bei relativ geringem Aufwand. Besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn bei der Auswertung der Proben Windrichtungsregistrierungen mitberücksichtigt werden (Härtel, 1960a). Die Beziehungen zwischen den Schadkriterien und der «physiologischen Windverteilung» sind sehr eng, wie Tabelle 2 zeigt. (Bei der physiolo-

Tabelle 2:

Vergleich des Härteltestes unter Berücksichtigung der physiologisch wirksamen Winde mit andern Tests (nach Härtel, 1960a)

| Windrichtung                                | S    | SW   | SE   | N    |
|---|------|------|------|------|
| Phys. wirksame Winde in % des Durchschnitts | 160  | 112  | 53   | 50   |
| Trübungstest, %                             | 35   | 30   | 22   | 19   |
| SO <sub>3</sub> -Gehalt der Nadeln, %       | 0,78 | 0,66 | 0,53 | 0,28 |
| Jahrringbreite, mm                          | 3,0  | 3,3  | 3,8  | 4,8  |

gischen Windverteilung wird der Tagesgang der Photosynthese als Grundlage genommen; nur die Häufigkeit der Winde zu den Zeiten aktivster Assimilation, das heißt weit geöffneter Stomata, wird berücksichtigt.)

- Mikroskopische Untersuchung kranker Assimilationsorgane (insbesondere Palisadengewebe; Feststellung, ob Zerstörung der Chloroplasten usw.).

Wentzel (1960) gibt ein Modellbeispiel für ein Gutachten bei SO<sub>2</sub>-Rauchschäden und analysiert die Verwendbarkeit einiger Diagnosemethoden (1962). Ein Überblick über letztere findet sich auch bei Pelz (1959).

## 2.2. Fluorhaltige Verbindungen

2.2.1. *Physiologische Wirkungen.* Fluorschäden treten vor allem bei Aluminiumhütten, Ziegeleien, Düngerfabriken (insbesondere Superphosphatwerke), Glashütten, evtl. Waschmittelfabriken usw. auf. In den meisten Fällen handelt es sich bei F-Immissionen um den äußerst giftigen, schon in minimsten Mengen schädlichen Fluorwasserstoff (HF).

Wie beim SO<sub>2</sub> führen wiederum all jene äußeren Bedingungen, die einer intensiven Photosynthese günstig sind, zu den stärksten Schäden, wobei besonders hohe Luftfeuchtigkeit und Benetzung der Blattoberfläche der F-Aufnahme förderlich sind, um so mehr, als bei Nebel der F-Gehalt der Luft ansteigen und dafür zu örtlich enger begrenzten Schäden führen kann (Hölte, 1960).

Anzahl und Größe der Stomata und die Ausbildung der Cuticula sind

wie beim  $\text{SO}_2$  anatomische Eigenschaften, welche die F-Aufnahme mitbeeinflussen. Im Blatt- bzw. Zellinnern greift F in Enzymsysteme ein, zum Beispiel Phosphatase, Amylase, indem es mit deren Metallanteil blockierende Komplexe eingeht. Die F-bedingte Chlorose (Ausbleichung) soll nach Reckendorfer (zitiert von Kloke, 1962) durch eine Störung im Aufbau des Cofaktors der Katalase verursacht werden, welche vermutlich die Chlorophyllsynthese steuert. Außerdem steigt die Atmung unter dem Einfluß von Fluor.

Bei höhern Konzentrationen, bzw. längerer Einwirkung, kommt es zur Zerstörung des Chlorophylls und des übrigen Zellinhalts, zur Faltung der Zellwände und Vertrocknung, wodurch die nekrotischen Stellen entstehen. Die Pflanze wirkt dem übermäßigen F-Angebot aus der Luft dadurch entgegen, daß möglichst schwerlösliche F-Verbindungen gebildet werden. Die Versorgung der Pflanzen bzw. Zellen mit Calcium spielt dabei eine wichtige Rolle.

2.2.2. *Symptome.* Immissionen können sich äußern in Marmorierungen der Blattoberfläche oder Verfärbung, später Nekrosen, von Blattspitze und Rand (Abb. 5). Oft kann nur noch an der Basis und längs der Mittelrippe ein grüner Mittelstreifen übrig bleiben (Bredemann, 1956). Laubblätter können ein zerfranstes Aussehen annehmen, weil die nekrotischen Blattränder leicht abbrechen. Oft wölbt sich die Spreite löffel- oder schiffchenartig (Abb. 6) oder kräuselt sich. In akuterer Fällen sterben die Triebe ab.

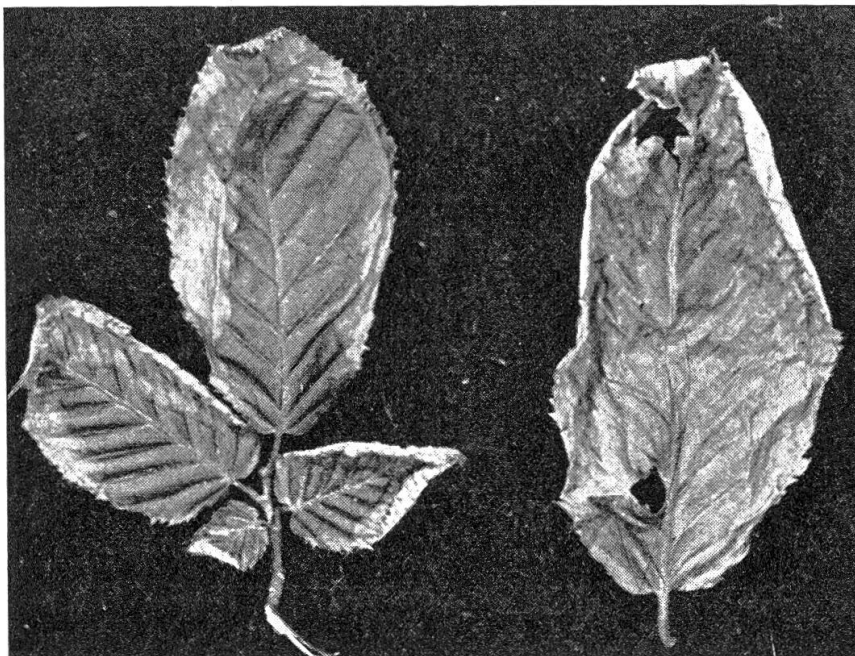


Abbildung 5:  
F-geschädigte Hagebuchenblätter mit Blattrandnekrosen.  
(Photo Dr. Gisiger, Bern)

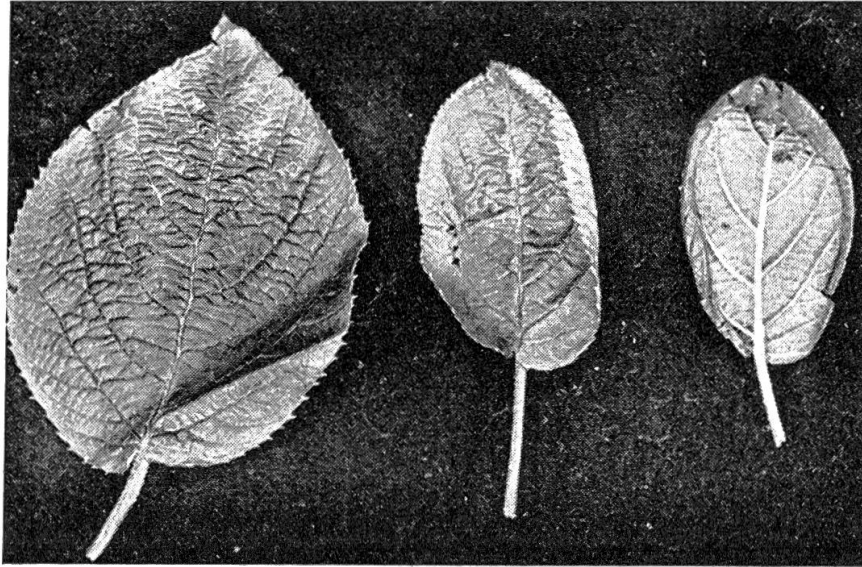


Abbildung 6:

F-geschädigte Schneeballblätter mit schiffchenförmiger Blattverkrümmung und Randnekrosen. (Photo Dr. Gisiger, Bern)

Bei Koniferen verfärbt sich die Nadel von der Spitze her fahlgrau bis gelb, schließlich schlägt die Farbe in rotbraune Töne um (Bredemann, 1956; Gisiger, 1955).

### 2.2.3. Testmethoden.

- Luftanalysen (Buck, 1960) kombiniert mit Messungen der Windverteilung.
- Blattanalysen: F wird in den Blättern gespeichert, v. a. nekrotische Stellen enthalten sehr viel mehr F als gesunde Blätter (Hölte, 1960; Bredemann, 1956).
- Rindenanalysen: F wird stark in der Rinde gespeichert (Bredemann, 1956). Es ergeben sich oft sehr starke Unterschiede im F-Gehalt von Rindenproben eines Baumes von der werkzugewandten und werkabgewandten Seite (Hölte, 1960; Lampadius, 1960b)!
- Holzanalysen: Hölte fand auch im Holzkörper eines jungen Zwetschenbaumes einen 5fachen Unterschied des F-Gehaltes mit der Exposition in bezug auf F-Quelle.
- Bodenanalysen: in der Nähe starker Emissionsquellen reichert sich der Oberboden mit F an.
- Evtl. mikroskopische Untersuchung geschädigter Assimilationsorgane.
- Testpflanzenmethode: Anbau F-empfindlicher Arten in Gefäßen mit guter Erde in der Schadenzone. Gleiche Arten werden in einer ungefährdeten Gegend in Töpfen mit Erde des Schadengebietes angebaut. Alle diese Pflanzen werden auf das Auftreten von F-Schadenssymptomen hin

beobachtet und nach der Ernte auf ihren F-Gehalt analysiert. Nach Borsdorf (1960) erwiesen sich in Mitteldeutschland als

hochempfindlich: Hagebuche, Weinrebe, Knaulgras, Glatthafer u. a.

empfindlich: Spitzahorn, Bergahorn, Luzerne, *Lolium perenne*,  
*Poa pratensis* u. a.

wenig empfindlich: schwarzer Holunder, Hängebirke, Stiel- und Traubeneiche.

(Es wurden insgesamt 59 Arten untersucht.)

Wentzel (1958a) gibt ein Beispiel für die Regelung eines F-Schadensfalles in der Praxis.

### 2.3. Chlor

2.3.1. *Physiologische Wirkungen.* Über Chlorschäden liegt sehr wenig Literatur vor, auch wenn Cl<sub>2</sub>-verwendende Industrien gelegentlich zu Immissionsquellen werden.

Chlorgas dringt ebenfalls durch die Stomata ein und greift die Chloroplasten an. Der Zellinhalt verteilt sich nach anfänglicher Ballung auf die Zellwände. Schon relativ geringe chronische Immissionen vermögen die Chlorophyllsynthese zu hemmen. Chlor wirkt stark auf den Wasserhaushalt ein, so daß die Pflanzen rasch abdorren oder das Laubwerk abwerfen.

2.3.2. *Symptome.* Nach Garber (1960b) verfärben sich die Blattspreiten hellgrau bis hellbraun, und zwar vom Rand aus. Die Ränder können auch gelbe oder schwärzliche Töne annehmen. Bei höheren Chlorkonzentrationen stellen sich Nekrosen der Intercostalfelder ein.

Bei Nadelhölzern zeigen sich die Symptome wiederum zuerst an den Nadelspitzen.

#### 2.3.3. Testmethoden.

- Luftanalysen mit Gasspürgeräten (sofern es sich nicht um eine einmalige, unfallartige Immission handelt);
- Blattanalysen für Chlorgehalt (auch bei einmaliger akuter Immission, die zum Tod der Assimilationsorgane führt, sollen die Blätter soviel Chlor aufnehmen, daß sich der Chlorgehalt meßbar erhöht);
- mikroskopische Untersuchungen;
- Testpflanzenversuche (Buchweizen soll chlorempfindlich sein).

### 2.4. Auspuffgase und dergleichen

Auch über derartige Immissionen ist die forstlich interessante Literatur äußerst kärglich. Sie könnten jedoch unter besonderen Umständen im Zusammenhang mit dem Nationalstraßenbau lokal eine gewisse Bedeutung erlangen. Primault (1958) hat auf Schäden an Alleebäumen in Zürich hingewiesen, die er auf den Bleigehalt des Benzins zurückführte (bis zu 400 mg/l Benzin). Diese Bleivergiftungen bewirken an Roßkastanie, Linde und Platane vom Blattrand fortschreitende Verfärbungen von hellgrün über

gelb zu braun mit Blattrandnekrosen. An Buche wurde auch eine zunehmende Kräuselung (ohne Verfärbung) beobachtet und ein plötzliches Braunwerden innert 2 bis 3 Tagen (Primault, 1960, mündliche Mitteilung).

Ein an einem Waldrand stehender Prüfstand für Automotoren verursachte 1959 ebenfalls einen lokalen Schaden, indem eine Buche sehr rasch abstarb. Sie erholte sich vom völligen Blattverlust im August nicht mehr und das im Saft stehende Holz «erstickte». Einige daneben stehende Tannen wiesen auf der der Emissionsquelle zugewandten Seite Nadeln auf, die von der Spitze her gelb wurden und eintrockneten. An einigen Ästen waren die Nadeln goldgelb verfärbt, und einige Zweige bildeten kurze Johannistriebe mit lockerer, kurzer Benadelung. Analysen des zürcherischen Kantonschemikers ergaben einen zunehmenden Bleigehalt:

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| normale, dunkelgrüne Nadeln       | nicht meßbar            |
| teilweise leicht vergilbte Nadeln | 2 mg/kg trockene Nadeln |
| goldgelbe Nadeln                  | 5 mg/kg trockene Nadeln |

so daß vermutlich eine Bleivergiftung mit im Spiele war.

### 2.5. Stäube und Ruß

Im Schweizer Wald steht heute vermutlich eine größere Fläche unter dem Einfluß staubförmiger Immissionen aus Zementwerken, als unter dem Einfluß der übrigen Immissionen zusammengenommen. Glücklicherweise kam es bisher jedoch nur selten zu akuten Schäden, so daß das Moment der Belästigung und der Verunstaltung des Landschaftsbildes in der Regel rein materielle Verluste überwog. Auf jeden Fall ist aber sehr zu begrüßen, daß durch den Einbau besserer Filter der Staubausstoß bestehender Anlagen innert 10 Jahren auf maximal 150 mg/m<sup>3</sup> verringert werden soll, während bei Neuanlagen nur noch maximal 100 mg/m<sup>3</sup> geduldet werden sollen. Diese Maßnahmen dürften den Staubregen merklich eindämmen, sofern die Verbesserungen nicht durch Produktionssteigerungen illusorisch gemacht werden.

Gerade im Falle von Ruß und Staub kommt dem Wald als Filter der Luft eine wichtige Rolle zu (Wentzel, 1960b). Die in den Bestand eindringende, mit Schmutz beladene Luft wird abgebremst, und die Geschwindigkeitsabnahme bewirkt die Sedimentation der Verunreinigungen. Bei den Rauchgasen tritt an die Stelle der Sedimentation ein Verteileffekt, indem die Stämme, Zweige und Blätter eine gewisse Luftturbulenz verursachen, die eine Luftvermischung und Konzentrationsverdünnung nach sich ziehen. Dazu kommt, daß bis zu einem gewissen Grade die Gase durch die Stomata auch in die Blätter aufgenommen werden. Die Niederschläge spülen die Staubablagerungen wieder von den Blättern, so daß man im Ruhrgebiet unter alten Bäumen Flugasche-Ansammlungen von mehreren Zentimetern Dicke auf dem Boden vorfinden kann! Wentzel vermutet eine optimale Filterwirkung in lockeren Beständen mit Schlußgraden von 0,4 bis 0,6,

stufigem Aufbau und üppiger Bodenvegetation. Ein derartiger Bestandaufbau wäre daher in solchen Waldungen anzustreben, deren Hauptaufgabe die Pflege der Lufthygiene darstellt. Sie müßten aber aus Baumarten aufgebaut werden, die sich am betreffenden Standort im Optimum befinden und dadurch möglichst rauchhart sind, denn die praktisch allseitigeerspülung der gesamten Krone mit verunreinigter Luft stellt eine starke Belastung des pflanzlichen Organismus dar.

Diese Filterwirkung kommt in der Arbeit von Materna (1963) sehr deutlich zum Ausdruck, welcher unter anderem die chemische Zusammensetzung des Niederschlagswassers in Waldbeständen und im angrenzenden Freiland untersuchte. Er fand im Jahresdurchschnitt folgende Schwefelkonzentrationen (mg/l):

| Lokalität                     | Freifläche | Bestand |
|-------------------------------|------------|---------|
| Strnady (bei Prag)            | 2,72       | 27,35   |
| Erzgebirge                    | 4,90       | 23,76   |
| Böhmerwald (keine Industrie!) | 3,42       | 8,09    |

Nach langer Trockenheit waren die Unterschiede zwischen Wald und Freiland noch größer, da sich S-haltiger Staub auf den Nadeln anhäufte und auch der Gehalt an wasserlöslichen Schwefelverbindungen angestiegen war, welche durch das Regenwasser zum Teil aus den Nadeln herausgelöst wurden.

2.5.1. *Physiologische Wirkungen.* Die physiologische Wirkung der Stäube von Zementwerken dürfte unter unseren Verhältnissen in erster Linie neben einer teilweisen Porenverstopfung mit einem gewissen Lichtenzug zusammenhängen. Steinhübel (1963) fand in mit Kohlenstaub verschmutzten Blatthälften immergrüner Arten geringere Stärkegehalte als in den saubergehaltenen Hälften und führte den Unterschied auf eine Verminderung des Lichtgenusses zurück. Ähnliches berichtete Kisser (1961) für Zementstaubimmissionen. Dementsprechend ergaben Photosynthesemessungen an Linde und Ulme durch Kohlenflugstaub (2–2,5 g/m<sup>2</sup>) Einbußen von 34 bzw. 21 Prozent (Ersov, 1957), die sich auf die Holzproduktion auswirkten. Rohmeder (1960) hat zum Beispiel bei künstlicher Bestäubung von Jungfichten mit kalkreichem Straßenstaub, Düngekalk oder Ruß folgende eindeutige Verminderung des Höhenzuwachses und der Trockensubstanzproduktion festgestellt:

Tabelle 3:

|                         | Unbeh. | Str. staub<br>25 g/Pfl. | Kalk<br>15 g | Ruß<br>10 g |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------------|-------------|
| Frischgewicht, Trieb 56 | 35,0   | 36,2                    | 34,8         | 28,9        |
| Frischgewicht, Trieb 57 | 33,1   | 23,8                    | 17,8         | 10,6        |
| Höhentrieb 57, cm       | 10,9   | 5,6                     | 6,5          | 1,9         |



Bei Stäuben mit hohem pH-Wert (Ätzkalk und dergleichen) kann es allerdings auch zu Verätzungen der Blattspreite (plasmolytische Störungen) kommen (Czaja, 1962; Bohne, 1963). Gleiches gilt für Ruß (Rohmeder, 1960).

Durch die Staubaufgabe (ganz besonders wenn sie verkrustet) werden künstliche Verhältnisse geschaffen, welche die Transpiration und den CO<sub>2</sub>-Gaswechsel beeinflussen und eine physiologische Störung verursachen, die der Vitalität der Pflanzen abträglich ist. So berichtet zum Beispiel Schönbeck (1960) über einen erhöhten Pilzbefall bestäubter Zuckerrüben.

Eine indirekte Beeinflussung kann darin liegen, daß der Boden ständig mit alkalischem Staub überdeckt wird, wodurch das pH des Oberbodens erhöht werden kann. In einem von Klocke (1962) angeführten Fall stieg der pH-Wert der Bodenoberfläche in 2 Jahren von 5.7 auf 7.1! Der Staubregen kann sich unter extremen Verhältnissen nach Jahrzehnten wie eine leichte Überkalkung auswirken, die besonders den Koniferen zusetzt (erhöhter Befall durch Wurzelfäulepilze).

*2.5.2. Symptome.* Normalerweise äußern sich diese Immissionen durch mehr oder weniger intensive Staubbeläge, die vom Regen gelegentlich abgewaschen werden. Unter speziellen Bedingungen vermögen sich Krusten zu bilden, nämlich wenn unter bestimmten meteorologischen Verhältnissen staubförmiger Zement abbindungsbereit auf die Pflanzen sedimentiert (Czaja, 1962). Dabei entstehendes Ca(OH)<sub>2</sub> kann ins Mesophyll eindringen, Chloroplasten zerstören und Gerbstoffe fällen.

*2.5.3. Testmethoden.* Über das Ausmaß des Staubregens geben Staubniederschlagsmessungen Auskunft (Gessner und Bühler, 1960; Kirste, 1961). Gessner und Bühler maßen in einer Zone bis zu 1 km vom Kamin im Gebiet Holderbank-Wildegg 200–300 mg Staub/m<sup>2</sup>/Tag, während Bohne (1963) im Rheinland Monatsmittel zwischen 500 und 1700 mg/m<sup>2</sup>/Tag mit Tagesextremwerten (Windverhältnisse!) von bis zu 3800 mg/m<sup>2</sup>/Tag feststellte. Derartige Staubmengen wirkten sich auch auf den Zuwachs aus, und es ergab sich ein Absinken der Jahringbreiten parallel zum Produktionsanstieg des emittierenden Zementwerkes!

Über den Verschmutzungsgrad der Blattoberfläche gibt ein einfaches Abklatschverfahren mit Klebeband Auskunft, mit dessen Hilfe zum Beispiel die Verminderung des Lichtzutritts durch den Belag ermittelt werden kann (Kisser und Lehnert, 1957).

Bei Verätzungen sind mikroskopische und chemische Methoden heranzuziehen. Auch Porenverstopfungen sind unter dem Mikroskop gut erkennbar.

### **3. Das Problem der Rauchhärte und toxischen Schwellenwerte**

Schon sehr früh wurde in den «klassischen» Rauchschaengebieten (Sachsen, Ruhrgebiet, Erzgebirge) beobachtet, daß nicht alle Baumarten gleich empfindlich auf Immissionen reagieren, und man begann, sogenannte

Resistenzreihen aufzustellen. Es fehlt nicht an Versuchen bis in die neueste Zeit, diese Reihen zu verbessern. Dennoch mußte man bald erkennen, daß diese Reihen nicht absolute Gültigkeit besitzen (zum Beispiel Pelz, 1956), ja daß sie sich — wenn in verschiedenen Gebieten erarbeitet — oft widersprechen. Beispielsweise sei auf Bredemann (1956) hingewiesen, der Arbeiten zitiert, wonach die Eibe im Wallis F gut erträgt, im Aargau dagegen F-empfindlich ist. Immerhin zeigte sich, daß im großen Überblick die Laubhölzer (vor allem Eichen) gegen SO<sub>2</sub> widerstandsfähiger sind als die Nadelhölzer, von welchen sich die Schwarzkiefern meist als am härtesten erweisen. Aber absolut rauchharte Baumarten gibt es nicht (Wentzel, 1964).

Im folgenden Abschnitt sei auf eine Reihe von Faktoren hingewiesen, welche in vielfältigen Kombinationen die Rauchhärte beeinflussen.

### 3.1. Immissionsbedingte Faktoren

In zahlreichen Versuchen und durch Feldmessungen war man bestrebt, für verschiedene Pflanzenarten toxische Schwellenwerte der SO<sub>2</sub>-Konzentration auszuarbeiten. Der Arbeit Wentzels (1959b) entnehmen wir für Waldbäume folgende Richtwerte, wobei die bei konkreten Rauchschadensfällen in der Freilandpraxis vorherrschende Einwirkungsdauer vorausgesetzt ist:

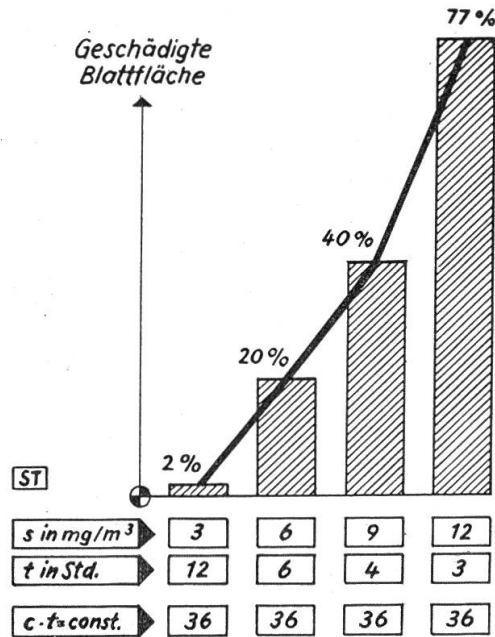
|                               |  |
|-------------------------------|--|
| über 2 ppm *) SO <sub>2</sub> | akute Schäden bis Tod                      |
| 0,7–2,0 ppm                   | chronische Schäden bis Tod                 |
| 0,3–0,7 ppm                   | chronische Schäden bei empfindlichen Arten |

\*) ppm = parts per million = 1 : 1 Million = 1 cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> Luft

Die Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI-Richtlinien) von 1961 schlagen sogar vor, die SO<sub>2</sub>-Konzentrationen jederzeit unterhalb von etwa 0,15 ppm zu halten, um auch empfindlichste Pflanzen vor Schäden zu bewahren, wobei kurzfristig bis zu 0,3 ppm toleriert werden sollen.

Guderian und Stratmann (1962) führen Widersprüche in den Resistenzreihen zum Teil gerade auf unterschiedliche Immissionshöhen zurück. Sie zeigen an in Freilandversuchen gewonnenen Erfahrungen mit Lärche, daß die Immissionshöhe den Schaden wesentlich beeinflußt. Die Lärche ist im akuten Bereich außerordentlich stark, im chronischen Bereich dagegen wenig anfällig, auch wenn bei langanhaltenden chronischen Immissionen mit Ertragseinbußen zu rechnen ist. Fichte und Kiefer ertrugen die akuten Immissionen besser, die chronischen schlechter als die Lärche.

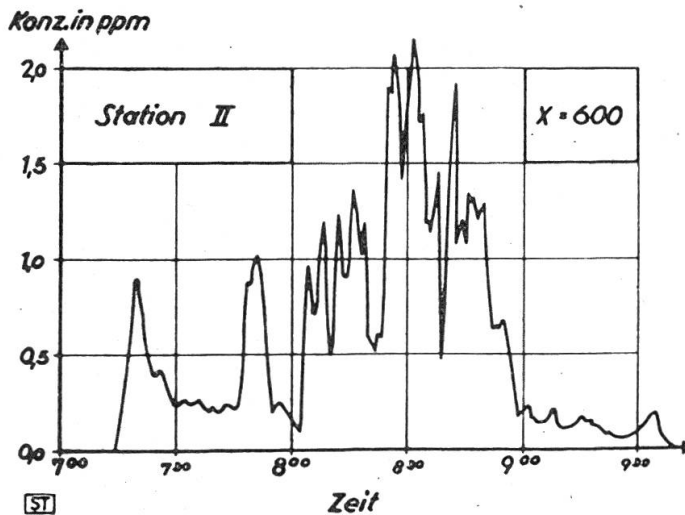
Während einiger Zeit wurde vermutet, daß ein Schaden dann eintrete, wenn das Produkt «Gaskonzentration (c) × Einwirkungsdauer (t)» einen bestimmten Wert überschreite. Neuere Untersuchungen von van Haut und Stratmann (1960) und van Haut (1961) ergaben jedoch, «daß es nicht gleichgültig ist, ob eine hohe Konzentration kurze Zeit oder eine niedrigere Konzentration entsprechend länger einwirkt. Insbesondere Be-



Darstellung 4:

Progressiver Anstieg des Schädigungsgrades mit der Konzentration bei konstantem Produkt  $c \times t$  (aus v a n H a u t, 1961).

*Zusatz  
am 20.10.64*



Darstellung 5:

Schwankungen der  $\text{SO}_2$ -Konzentration in 600 m Entfernung von einer Emissionsquelle (aus v a n H a u t, 1961).

gasungen mit konstanten Produkten aus  $c$  und  $t$  zeigten, daß der Schadfumfang progressiv mit der Konzentration ansteigt». Dies wird durch Darstellung 4 veranschaulicht: 3 mg  $\text{SO}_2/\text{m}^3$  Luft brachten nur 2 Prozent der Blattfläche zum Absterben, 12 mg dagegen 77 Prozent, obwohl das Produkt  $c \times t$  in allen Fällen konstant blieb. Dieser Befund zwingt zur Schlußfolgerung, daß die unter bestimmten meteorologischen Verhältnissen auftretenden Konzentrationsspitzen der Vegetation besonders gefährlich

werden können, weil sie eben schon kurzfristig Schäden zu verursachen vermögen. Außerdem fand van Haut (1961), daß kurz aufeinanderfolgende Konzentrationsspitzen auch dann verstärkte Schäden hervorriefen, wenn sie auf Immissionen folgten, die für sich allein unschädlich waren. Dabei sind die Konzentrationsspitzen um so wirksamer, je rascher sie aufeinanderfolgen. Die ständige Reizung wirkt sich somit nicht abhärtend aus, sondern steigert eher noch die Empfindlichkeit.

Je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Gaskonzentration beim Kaminaustritt usw. dürfte es aber in der näheren oder weiteren Umgebung starker SO<sub>2</sub>-Quellen immer früher oder später zu schädlichen SO<sub>2</sub>-Konzentrationen kommen (vgl. auch Darstellung 5). Dies nicht zuletzt auch wegen des sehr wichtigen, aber vielleicht allzu oft nicht beachteten Umstandes, daß mehrere für sich allein völlig harmlose Emissionen kombiniert zu katastrophalen Immissionen führen können. In verstärktem Maße gilt dies für verschiedenartige Immissionen. So weisen Lampadius und Häussler (1962) darauf hin, daß «... die gleichzeitige direkte und indirekte Einwirkung von As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> neben SO<sub>2</sub> zu einer Erhöhung der Toxizität des SO<sub>2</sub> für die Fichten führt». Ähnliche additive Wirkungen sind ja auch aus Schadfällen in der Tierwelt bekannt geworden, die durch harmlos scheinende Insektizidmischungen verursacht wurden.

### *3.2. Faktoren, die über den Gasstoffwechsel der Pflanze wirken*

In den Abschnitten 2.1.1. und 2.2.1. wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Schadenintensität mit der Assimilationsintensität korreliert sein kann. Somit beeinflussen Tages- und Jahreszeit, Pflanzen- und Blattalter, Lichtstärke, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Wasserversorgung, Wind usw. die Möglichkeit einer Schädigung, je nachdem, ob sie zu offenen oder geschlossenen Stomata führen und die Intensität der Photosynthese herauf- oder herabsetzen. Eine allfällige Resistenz infolge einer günstigen Faktorenkonstellation (geschlossene Stomata wegen Trockenheit, Bodenfrost, Dunkelheit usw.) ist daher zufällig und nur sehr begrenzt wirksam!

### *3.3. Faktoren, welche die Resistenz physiologisch aktiv verändern*

Hierzu gehört einmal die Standortstauglichkeit der Baumart. Standortsgemäße, das heißt den ökologischen Gegebenheiten kongruente Arten oder Rassen sind rauchfester als Arten, deren standörtliche Ansprüche nur unvollkommen erfüllt werden und dementsprechend eine allgemein geringere Vitalität besitzen. In diesem Zusammenhang ist die mineralische Ernährung, vor allem mit Basenbildnern, nochmals zu erwähnen, welche den Pflanzen erlaubt, die Säure-Ionen zu neutralisieren.

Zu dieser Kategorie gehört aber auch die genetisch bedingte Rauchhärte, die leider noch wenig auf ihre Ursachen hin untersucht ist.

#### 4. Folgen der Immissionen

An dieser Stelle seien die Folgen zusammengestellt, die möglicherweise im Zusammenhang mit akuten oder chronischen Immissionen auftreten können. Letztere bedeuten für den Organismus eine Belastung, so daß es unter Umständen zu einer Schwächung der Vitalität kommen kann, die sich in einer vermehrten Anfälligkeit gegen Schädlinge äußert. Im Abschnitt 2.5.1. wurde bereits auf diese Möglichkeit hingewiesen. Auch nach Schwerdtfeger (1957) begünstigen Rauchschiäden sekundäre Schädlinge, zum Beispiel Hallimasch, Borken- und Rüsselkäfer oder Tannenläuse. Wentzel und Ohnesorge (1961) berichteten über einen Schadenfall, bei dem Indizien dafür sprechen, daß sogar ein primärer Schädling — die kleine Fichtenblattwespe — mit vermehrtem Auftreten reagierte. Unter anderem wurde mit abnehmender Entfernung von der Immissionsquelle eine geringere Parasitierung der Blattwespenkokons gefunden. Auch der relativ starke Befall der Eiche durch Lepidopteren im Ruhrgebiet dürfte mit einer Schädigung der Biocoenose zusammenhängen.

Besonders 1956 häuften sich Beobachtungen, die darauf hindeuten, daß ein Zusammenhang zwischen Frosthärte und Immissionen besteht. So meldete Wentzel (1956) starke Frostschäden an Fichte in Rauchschiadengebieten. Er wies darauf hin, daß wohl des öfteren Rauchschiäden als Frostschäden verkannt würden. Vor allem in chronischen Rauchgebieten wirkt sich ein Nadelverlust durch Frost stark aus, da ohnehin weniger Nadeljahrgänge vorhanden sind, im Ruhrgebiet zum Beispiel an Fichte 1—3 statt 5—7, an Kiefer 1—2 statt 3—4. Auch Huber (1956) stellte fest: «Ein an sich geringfügiger Rauchschiaden hat die Winterreife von Tanne und Fichte beeinträchtigt, so daß es in Kombination mit dem ungewöhnlich strengen Frost zu den Schäden kam.» Meyer (1957, zitiert bei Pelz, 1958b) macht unter anderem Rauchschiäden für die geringe Frostresistenz der Tanne am Nordrand ihres sächsischen Areals verantwortlich.

Als weiteren Nachteil von SO<sub>2</sub>-Immissionen sind gestörte Fruktifikationsverhältnisse aufzuführen. Bei anhaltenden Immissionen kann die Samenbildung von Laub- und Nadelbäumen mangelhaft bleiben oder überhaupt aussetzen (Jahnel, 1955). Die Samen sind während ihrer Entwicklung vielfach wesentlich empfindlicher als die Assimilationsorgane. Andererseits kann eine schockartige, akute Immission ausnahmsweise ein verstärktes Fruchten bewirken. Pelz (1963) hat die Fruktifikation rauchgeschädigter und rauchfreier Fichtenbestände eingehend verglichen und dabei gefunden, daß in geschädigten Beständen 17,8 Prozent der Bäume fruchteten gegen 68,7 Prozent mit einem durchschnittlichen Zapfenbehang von 3,7 Stück gegenüber 28,5 Stück/Baum. Das Tausendkorngewicht betrug 5,6 g und 7,9 g bei einer Keimfähigkeit von 42 Prozent bzw. 78 Prozent, und das Saatgut geschädigter Bestände enthielt dreimal mehr Kümmerkörner. Phänotypisch rauchharte

und rauchempfindliche Fichten unterschieden sich in gleicher Weise (wenn auch nicht so stark) wie die Bestände.

Von landwirtschaftlich oder gärtnerisch wichtigen Arten ist bekannt, daß SO<sub>2</sub>-Immissionen die Samenproduktion zu verschiedenen Zeiten auf verschiedenem Wege beeinflussen. Abgesehen davon, daß SO<sub>2</sub>-Immissionsgebiete von Bienen und Hummeln gemieden werden, können bereits die Staubblätter derart geschädigt werden, daß die Pollenbildung vorzeitig aufhört, daß der Pollen auf der Narbe nur kümmerlich auskeimt oder so geschwächt ist, daß er die Eizelle nicht zu befruchten vermag. Entsprechende Schädigungen können an den Fruchtblättern (Samenanlagen) vorkommen. Es kann aber auch die Blütezeit um Wochen verzögert (und dadurch die Samenreife bedroht), die Samenzahl vermindert und insbesondere der Anteil zu leichter Samen infolge mangelnder Zufuhr von Reservestoffen aus den geschädigten Assimilationsorganen erhöht werden (van Haut und Strattmann, 1960). All diese Wirkungen dürften auch für Waldbäume gelten und mithelfen, Naturverjüngungsschwierigkeiten in Immissionsgebieten zu erklären, zusammen mit der Störung der Bodengare und Humusbildung, worauf in Abschnitt 2.1.3. bereits hingewiesen wurde.

## 5. Waldbauliche Gegenmaßnahmen

Windrichtung und Topographie können zu ausgesprochenen «Prallhängen» führen, an welchen die Rauchgase aufprallen. Deren Lage wird von der Kaminhöhe mitbestimmt und ist durch Geländequerschnitte mit Hilfe der Karte relativ leicht zu eruieren. Derartige Prallhänge, wie auch Waldränder, Kuppenlagen usw., sollen in der waldbaulichen Planung berücksichtigt und vorzugsweise mit rauchharten Laubbaumarten ausgepflanzt werden. Wenn möglich, sollten größere Waldkomplexe durch Rauchriegel unterteilt werden, die möglichst 100 m breit und quer zur Hauptwindrichtung angelegt werden sollten. In deren Schutz könnten auch empfindlichere Arten nachgezogen werden (Wentzel, 1963a; Lampadius, 1960a).

Derartige Schutzzonen sollten möglichst dicht belassen werden (Filterwirkung), da bei Lichtwuchsdurchforstung die Kronen stärker umspült werden und durch die Aufnahme erhöhter Rauchgasmengen geschädigt werden können.

### 5.1. Baumartenwahl

In allen älteren Rauchgebieten sind sich die Forstleute seit langem einig, daß in Industrienähe die Forstwirtschaft mit dem Bestockungswechsel auf resistenteren Arten steht oder fällt. Auf den Einbau besserer Filter und dergleichen ist kein absoluter Verlaß, einmal weil er oft durch eine Produktionssteigerung mit erhöhten Emissionsmengen illusorisch gemacht wird, zum andern weil keine Gewähr besteht, daß nicht einmal ein Filter ausfällt und Anlaß zu akuten Immissionen gibt. Daher bestehen in Deutschland, Österreich, der Tschechoslowakei und Polen großflächige Umwandlungen,

die zum Beispiel in Sachsen und im Ruhrgebiet zum Teil schon Baum- oder Stangenholzalter erreicht haben (Wentzel, 1963a). Je stärker der Raucheinfluß, desto resistenter Arten werden gewählt.

Im Verlaufe der Zeit hat sich dabei die Erfahrung ergeben, daß der Standort ein sehr wichtiger Variabilitätsfaktor ist, der unter Umständen arteigene Empfindlichkeitsunterschiede nahezu verwischen kann. Das heißt: die bodenbedingte Amplitude der Empfindlichkeit ist bei Laubhölzern breiter als die Unterschiede arteigener Spannen der Empfindlichkeit (Wentzel, 1963a). Daher schlagen neben Wentzel auch Pelz sowie Lampadius (1960a) vor, bei der Baumartenwahl in Umwandlungen den Standortverhältnissen vollstes Augenmerk zu schenken und jene Arten zu bevorzugen, deren Standortansprüche (oder ökologisches Optimum) möglichst mit dem betreffenden Standort übereinstimmen. Für das Ruhrgebiet kommen je nach den Bodenverhältnissen in Frage (keine Resistenzreihe innerhalb der Kategorie; Wentzel, 1963a):

bei starkem Raucheinfluß: Roteiche, Eiche, Ahorn, Pappel, Erle, Weide, Buche, Ulme, Platane, Robinie;  
bei schwachem Raucheinfluß: Schwarzkiefer, japanische Lärche, Thuja und Chamaecyparis (zusätzlich)

Das Rauchschadenproblem ist in den Augen dieser Kreise im Falle von SO<sub>2</sub> praktisch überwiegend ein Koniferenproblem; mindestens im Bereiche chronischer Immissionen.

## 5.2. Düngung

Schon im letzten Jahrhundert wurde beobachtet, daß die Rauchhärte der Arten auf guten Bonitäten besser war als auf schlechten Standorten. Eine erhöhte Vitalität läßt sich auf armen Böden durch eine auf den Standort abgestimmte Düngung erreichen, wobei sich vor allem auf oberflächlich versauerten Böden eine Basenzufuhr (Ca, Mg, K) günstig auswirkt (anders liegen die Verhältnisse, wo durch alkalische Stäube der pH-Wert stark angestiegen ist).

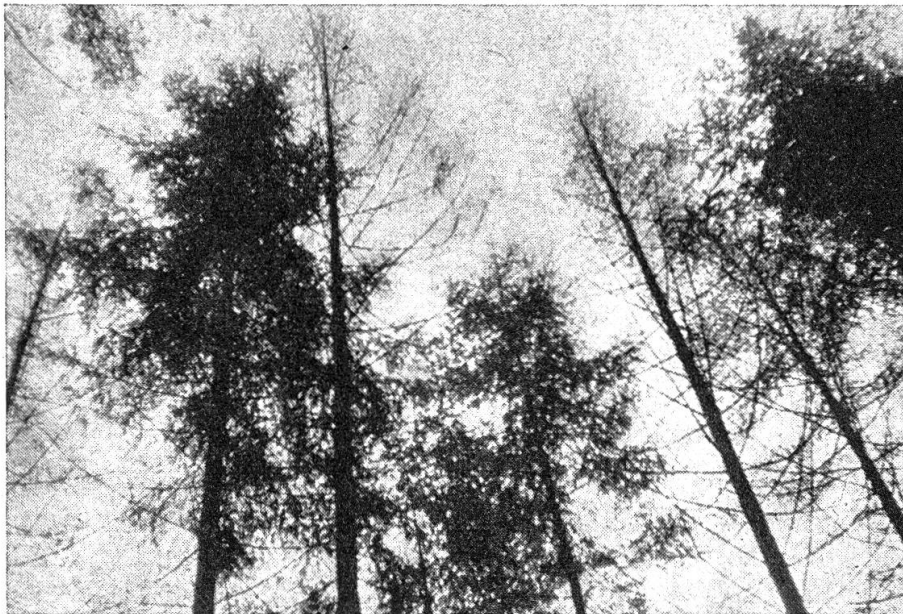
Nemec (1957, zitiert in Pelz, 1958b) und Materna (1959, 1962b, 1963) berichten über gute Erfahrungen mit Basaltmehldüngungen ins Pflanzloch von Laubbaumarten und Fichte. Auch Kalkung und Harnstoffbeidüngung (Reaktivierung des Rohhumus) soll sich günstig ausgewirkt haben, so daß auf armen, nicht zu trockenen Standorten durch Düngung eine gewisse Erhöhung der Widerstandskraft erreicht werden kann (Wentzel, 1959a). Auf diesem Gebiet sind aber noch systematische Versuche notwendig, denn in gewissem Gegensatz zu dieser Verbesserung der Resistenz stehen die Erfahrungen, daß gerade die wuchskräftigsten Fichten am empfindlichsten sind (vgl. 2.1.1.). Dabei wird durch eine Standortverbesserung in der Regel doch eine Erhöhung der Wuchsleistung erreicht. Immerhin ergab eine Startdüngung aus Kalk, Thomasmehl und Patentkali zu Fichten eine nach-

haltige Wirkung, die nach 20 Jahren noch immer als überlegener Höhen- und Dickenzuwachs sowie erhöhte SO<sub>2</sub>-Resistenz in Erscheinung trat (Lampadius und Häussler, 1962). So ergab der Härtel-Test folgende Mittelwerte der Absorptionsprozente:

|            |       |       |      |
|------------|-------|-------|------|
| ungedüngt: | 14,0; | 31,2; | 36,3 |
| gedüngt:   | 7,6;  | 8,6;  | 8,0  |

### 5.3. Züchtung und Selektion

In den klassischen Industriegebieten wurde immer wieder beobachtet, daß innerhalb der Fichten- und Kiefernpopulationen selbst auf homogenen Standorten individuelle Unterschiede in der Rauchhärte bestehen (Abb. 7).



*Abbildung 7:*

Individuelle Unterschiede in der Rauchhärte der Fichte im Ruhrgebiet.  
(Photo Dr. Wentzel, Bochum)

Nach Pelz (1958a) besitzt die Kiefer in dieser Beziehung eine große Plastizität und ist rauchhärter als die Fichte. Bei letzterer wurden dagegen größere Unterschiede der individuellen Resistenz gefunden (Rohmeder et al., 1962). Insbesondere soll die Kammfichte rauchhärter sein als die Plattenfichte (Materna, 1960; Wentzel, 1963b). Da aber selbst resistenterer Fichten nirgends die Widerstandskraft anderer Arten (zum Beispiel Schwarzkiefer) erreichen, darf von der Selektion nicht zu viel erwartet werden (Wentzel, 1963a). Die von Rohmeder et al. phänotypisch ausgelesenen und vegetativ vermehrten Fichten erwiesen in Begasungsversuchen aber erhöhte, genetisch bedingte Resistenz und wurden im Ruhrgebiet versuchsweise ausgepflanzt. Sie dürften vor allem für Übergangsbereiche mit nur leichteren Schäden geeignet sein. Es gelang bereits, F- oder SO<sub>2</sub>-resistentere



Klone zu selektionieren. Bei der Selektion dürften unter Umständen der verbesserte Trübungstest (Härtel, 1960b) und die Terpenanalyse (Crvka l, 1959) wertvolle Dienste leisten.

Rohmeder (1954) wies auch auf die Möglichkeit hin, durch die Kreuzung von *Picea omorica* mit der *Picea Abies* zu rauchhärteren Individuen zu gelangen.

Auf Grund der Literaturübersicht darf und muß der Schluß gezogen werden, daß auch der Forstwirtschaft aktive Mittel in die Hand gegeben sind, um den Rauchschäden in gewissem Maße zu begegnen. Diese Maßnahmen bedingen aber in jedem Falle eine eindeutige Herabsetzung der Wirtschaftlichkeit, sei es infolge erhöhter Produktionskosten (zum Beispiel Düngung, die aus wasserwirtschaftlichen Gründen aber auf manchen Standorten nicht in Frage kommt) oder infolge des notwendigen Verzichts auf die Produktion von beehrtem Wertholz. Bei einer weiteren Industrialisierung durch emittierende Werke wird man nämlich je nach der Intensität der Immissionen unter Umständen zu Baumarten Zuflucht nehmen müssen, welche keinen finanziellen Reinertrag mehr abzuwerfen imstande sind. Es ist daher denkbar, daß selbst auf produktivsten Waldböden Wirtschaftswälder in reine Schutzwälder umgewandelt werden müssen, die in ihrer extremsten Form niederwaldartiges Aussehen annehmen könnten! Noch schwerwiegender wären jedoch die Folgen, sollten sich Industrien mit starken Emissionen in Gebieten ansiedeln, deren Hanglagen durch natürliche Nadelwälder bestockt sind und standortsbedingt nicht in Laubwald umgewandelt werden könnten. Es ist daher ein Gebot der Vernunft, die Emissionen auf ein unschädliches Ausmaß zu beschränken, so daß es gar nicht zu Immissionsschäden kommen kann.

## Résumé

### Les émissions de gaz et de fumées industriels et la forêt

Le présent travail — en donnant un aperçu des publications parues à ce sujet — a pour but de renseigner les forestiers de la pratique sur les nouvelles connaissances acquises dans le domaine des dommages causés aux forêts par les émissions de gaz industriels.

Le dioxyde de soufre provoque certainement les dégâts les plus étendus. Ce gaz pénètre à l'intérieur de la feuille par les stomates, de sorte que tous les facteurs favorisant leur ouverture provoquent également une absorption de  $\text{SO}_2$ . Plus le processus de la photosynthèse se déroule d'une façon intensive, plus l'action du  $\text{SO}_2$  est forte. C'est ainsi que l'humidité de l'air, le ravitaillement en eau, l'intensité de la lumière, l'état de nutrition, l'âge physiologique, la saison etc., sont les principaux facteurs qui influencent la résistance à la fumée. L'attaque du  $\text{SO}_2$  augmente la transpiration et gêne le transport interne de l'eau. La plante cherche jusqu'à un certain point à neutraliser l'action du  $\text{SO}_2$  en absorbant plus de sels minéraux. Les végétaux attaqués présentent une chlorose des organes de l'assimilation avec des parties nécrosées. Les résineux perdent une partie de leurs aiguilles. On peut

décèler les dommages causés par le SO<sub>2</sub> en procédant à des analyses de l'air, des feuilles et du sol, ainsi qu'à des examens physiologiques et microscopiques.

Avec le fluor, c'est aussi sous les conditions les plus favorables à la photosynthèse qu'on rencontre les plus grands dégâts. La destruction de la chlorophylle, la sécheresse, etc. provoquent une chlorose et une nécrose des organes assimilateurs. Pour décèler la présence du fluor on recourt également à des analyses de l'air, des feuilles, de l'écorce et du sol, comme aussi à la plantation d'arbres-témoins.

Les poussières de ciment, de suie ou d'autres produits entraînent un blocage de pores et une diminution de l'intensité de la lumière, ce qui gêne la photosynthèse. Dans certains cas on peut même constater des effets de corrosion à la surface des organes.

La résistance aux gaz d'une espèce dépend de différents facteurs. La concentration des gaz et la durée de leur action ont une grande influence pour autant que le dommage croisse avec la concentration. De fortes concentrations, même de courte durée, peuvent provoquer de gros dégâts. Il arrive aussi que la combinaison de gaz différents émis en petite quantité entraîne des dommages importantes. Mais là aussi les facteurs qui ont une influence sur la photosynthèse modifient le degré de résistance dans le temps.

Toutes ces émissions de gaz ou de fumées chargent les organes végétaux et en conséquence affaiblissent leur vitalité. Les dégâts secondaires causés par les champignons ou les insectes peuvent être ainsi favorisés; la résistance au froid diminue et la fructification est entravée.

On a observé dans les régions se trouvant à proximité d'industries où les émissions de gaz sévissent déjà depuis un certain nombre d'années, qu'une modification du genre du peuplement devient nécessaire, généralement au détriment des résineux. Lors de telles transformations il importe de vouer une attention particulière aux conditions de la station. On donnera la préférence aux essences dont les exigences correspondront le mieux aux conditions locales. Sur des sols pauvres, l'emploi d'engrais peut augmenter la résistance aux gaz. Il faut aussi prendre en considération l'éventualité de sélectionner et de cultiver des races plus résistantes, quoique les possibilités dans ce domaine soient assez réduites.

(Traduction *F. Roten*)

#### *Literatur:*

##### *Bücher, Monographien*

*Anon.*: 1953. Eine Methode zur Bestimmung von Schwefeldioxyd und Schwefelwasserstoff in Rauchgasen und in der Atmosphäre. Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, Nr. 33. Westdeutscher Verlag, Köln-Opladen; 23 pp.

*Bredemann G.*: 1956. Biochemie und Physiologie des Fluors. 2. Aufl. Akademie-Verlag, Berlin. 299 pp.

*Guderian R. und Stratmann H.*: 1962. Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxydwirkungen auf die Vegetation. Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1118. Westdeutscher Verlag Köln—Opladen. 102 pp.

*van Haut H. und Stratmann H.*: 1960. Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Schwefeldioxyd auf die Vegetation. Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 884. Westdeutscher Verlag Köln—Opladen. 63 pp.

*VDI*: 1961. VDI-Richtlinien. Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK). Schwefeldioxyd. Nr. 2108. Beuth GmbH, Berlin-Köln. 7 pp.

Zeitschriftenartikel, Einzelkapitel aus Handbüchern usw.

- Bohne H.*: 1963. Schädlichkeit von Staub aus Zementwerken für Waldbestände. AFZ<sup>1</sup> 18 (7): 109–111 (mit drei Farbtafeln auf Seite 108).
- Borsdorf W.*: 1960. Beiträge zur Fluorschadendiagnostik. Phytopath. Z. 38: 309–315.
- Buck M.*: 1960. Methoden zur quantitativen Bestimmung kleinster Mengen Schwefeldioxyd und Fluorwasserstoff in der Außenluft. Bericht Landesanstalt für Bodennutzungsschutz Nordrhein-Westfalen. 1: 99–118.
- Čvrkal H.*: 1959. Biochemische Diagnose an Fichten in Rauchschaadgebieten. Referat in Forstl. Umschau 3: 154 (1960).
- Czaja A. Th.*: 1962. Zementstaubwirkungen auf Forstpflanzen. Forstarchiv 33: 89–93 (12 Abbildungen).
- Ersov M. F.*: 1957. Die Photosynthese sauberer und rußverschmutzter Blätter von *Tilia cordata* Mill. und *Ulmus pinnatoramosa* Dieck. Akad. Nauk SSSR 112: 1136–1138. Referat in Forstl. Umschau: 2: 158–159 (1959).
- Garber K.*: 1960 a. Erfahrungen mit der Blattanalyse bei Rauchschaad-Untersuchungen. Angew. Bot. 34: 33–37.
- 1960 b. Neuere Literatur über Rauch-, Staub- und Abgasschaad. Angew. Bot. 34: 65–103.
- Geßner H.* und *Bühler H.*: 1960. Staubniederschlagsmessungen im Raume der Jura-Cementfabriken Wildegg und der Cementfabrik Holderbank-Wildegg AG, Holderbank. 49. Jahresbericht Verein Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten (für 1959), p. 43–56.
- Grüll H.*: 1954. Rauch- und Flugstaubschaad. Cbl. f. d. ges. Forstwes. 73: 234–247.
- Härtel O.*: 1953. Eine neue Methode zur Erkennung von Raucheinwirkungen an Fichten. Cbl. f. d. ges. Forstwes. 72: 12–21.
- 1958. Zur Trennung der Schaadanteile gleichzeitig auf die Vegetation einwirkender Abgasquellen. AFZ 13: 598–600.
- 1960 a. Zur Auswertung von Windrichtungsregistrierungen bei Rauchschaaduntersuchungen. Wetter und Leben 12: 1–5.
- 1960 b. Über neuere Erfahrungen mit dem «Trübungstest», insbesondere seine Eignung zur fortlaufenden Kontrolle von Abgasschaad. Forst- und Holzwirt 15: 260–262.
- Hölte W.*: 1960. Über Fluorschaad an landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Gewächsen durch Düngemittelfabriken. Bericht Landesanstalt für Bodennutzungsschutz Nordrhein-Westfalen 1: 43–62.
- Huber B.*: 1956. Winterfrost und Rauchschaad. AFZ 11: 609–610.
- Jahnel H.*: 1955. Physiologisches über Einwirkung von Schwefeldioxyd auf die Pflanzen. Wiss. Z. Techn. Hochsch. Dresden 4, Heft 3.
- Keller H.* und *Müller J.*: 1958. Beiträge zur Erfassung der durch schweflige Säure hervorgerufenen Rauchschaad an Nadelhölzern. II. Untersuchungen über den Einfluß von Schwefeldioxyd auf den Gaswechsel von Forstpflanzen. Beih. Forstwiss. Cbl. 10: 38–63.
- Kirste H.*: 1961. Vergleichende Staubniederschlagsmessungen mit verschiedenen Methoden. Bericht Landesanstalt für Bodennutzungsschutz Nordrhein-Westfalen 2: 61–88.
- Kisser J.*: 1961. Industrieabgase und Forstwirtschaft. IUFRO, Berichte, 13. Kongreß (Wien), Bd. 1, 2. Teil, 24/20, 8 Seiten.
- Kisser J.* und *Lehnert: I.* 1957. Ein einfaches mikroskopisches Verfahren zur Feststellung des Verschmutzungsgrades von Blattoberflächen. Mikroskopie 12: 243–257. Ref. in Forstl. Umschau 1: 346 (1958/59).
- Kloke A.*: 1962. Nichtparasitäre Pflanzenkrankheiten. In «Fortschritte der Botanik», 24: 452–458. Springer Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Koch W.*: 1957. Der Tagesgang der «Produktivität der Transpiration». Planta 48, 418–452.

<sup>1</sup> AFZ = Allgemeine Forstzeitschrift (München).

- Lampadius F.*: 1960 a. Vorbeugung gegen Rauchschäden im Walde durch forstliche Maßnahmen. *Forst- und Holzwirt* 15: 255–259.
- 1960 b. Beiträge zur Fluorschadendiagnostik. *Phytopath. Z.* 38: 384–393.
- Lampadius F.* und *Häussler D.*: 1962. Therapie gegen Rauchschäden durch Düngung. Untersuchung der Düngerwirkung auf rauchbeeinflusste Fichten. *Wiss. Z. T. U. Dresden* 11: 1417–1424.
- Materna J.*: 1959. Kieselsäuregehalt in rauchgeschädigten Fichtennadeln. *Naturwissenschaften* 46: 270–271. Referat in *Forstl. Umschau* 2: 341 (1959).
- 1960. Forstliche Maßnahmen zur Erfassung und Verhütung von Waldrauchschäden im tschechischen Teil des Erzgebirges. *Forst- und Holzwirt* 15: 262–264.
- 1961. Einfluß des Schwefeldioxyds auf die mineralische Zusammensetzung der Fichtennadeln. *Naturwissenschaften* 48: 723–724.
- 1962 a. Schwefeldioxydeinwirkung auf die mineralische Zusammensetzung von Fichtennadeln (tschechisch). Referat in *Forstarchiv* 34, S. 16.
- 1962 b. Auswertung von Düngungsversuchen in rauchgeschädigten Fichtenbeständen (Autorreferat). *Archiv f. Forstwes.* 11: 738–739.
- 1963. Steigerung der Widerstandsfähigkeit von Holzarten gegen Rauchgaseinwirkungen durch Düngung (Tschechisch, deutsche Zusammenfassung). *Prace vyzkumnich ustavu lesnickych CSSR* 26: 209–235.
- Materna J.* und *Kohout R.*: 1963. Die Absorption des Schwefeldioxyds durch die Fichte. *Naturwissenschaften* 50: 407–408.
- Müller J.*: 1957. Spezifischer Nachweis von SO<sub>2</sub>-Rauchschäden an Pflanzen mit Hilfe von Blattpigmentanalysen. *Naturwissenschaften* 44: 453.
- Nemec A. et al.*: 1958. Die Verunreinigung der Luft durch Rauch und ihre Wirkung auf den Boden und auf die Forstgehölze im Erzgebirge (Tschech.) Referat in *Forstl. Umschau* 3: 254 (1960).
- Pelz E.*: 1956. Gasförmige Luftverunreinigungen und Holzartenwahl in Gebieten mit Industrierauchschäden. *Forst und Jagd (Berlin)* 6: 347–349.
- 1958 a. Beobachtungen zur Rauchhärte der Kiefer, *AFZ* 13: 603–606.
- 1958 b. Literatur-Übersicht zum Problem der Waldrauchschäden. *AFZ* 13: 614–616.
- 1959. Rauchschadendiagnose. *Archiv f. Forstwesen* 8: 750–759.
- 1963. Untersuchungen über die Fruktifikation rauchgeschädigter Fichtenbestände. *Arch. f. Forstwesen* 12: 1066–1077.
- Pisek A.* und *Winkler E.*: 1958. Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte (*Picea excelsa* Link) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. *Planta* 51: 518–543.
- Primault B.*: 1958. En marge des futures auto-routes. *Schweiz. Z. Forstwesen* 109: 37–43.
- Rohmeder E.*: 1954. Erreichtes und Erreichbares in der forstlichen Resistenzzüchtung. *AFZ* 9: 529–535.
- 1960. Die Wirkung von Staub und Ruß auf den Zuwachs der Fichte. *Forst- und Holzwirt* 15: 245–248.
- Rohmeder E., Merz W.* und *v. Schönborn A.*: 1962. Züchtung von gegen Industrieabgase relativ resistenten Fichten- und Kiefernarten. *Forstwiss. Cbl.* 81: 321–333.
- Schönbeck H.*: 1960. Beobachtungen zur Frage des Einflusses von industriellen Immissionen auf die Krankheitsbereitschaft der Pflanze. Bericht Landesanstalt für Bodennutzungsschutz Nordrhein-Westfalen 1: 89–98.
- Schwerdtfeger F.*: 1957. Die Waldkrankheiten. Parey Hamburg-Berlin. 485 pp.
- Steinhübel G.*: 1963. Zur Frage der Resistenz immergrüner Laubgehölze gegen schädliche Einwirkungen von festen Rauchemissionen. *Acta Bot. Acad. Sc. Hungaricae* 9: 433–445.

- Themlitz R.*: 1960. Die individuelle Schwankung des Schwefelgehaltes gesunder und rauchgeschädigter Kiefern und seine Beziehung zum Gehalt an den übrigen Hauptnährstoffen. Allg. Forst- und Jagd-Ztg. 131: 261–264.
- Van Haut H.*: 1961. Die Analyse von Schwefeldioxydwirkungen auf Pflanzen im Laboratoriumsversuch. Staub 21: 52–56.
- Wentzel K.F.*: 1956. Winterfrost 1956 und Rauchschäden. AFZ 11: 541–543.
- 1958. Über die Regelung eines Rauchsadenfalles in der Praxis. AFZ 13 (42), 606–613.
  - 1959 a. Zur Bodenbeeinflussung durch industrielle Luftverunreinigungen und Düngung in Rauchsadenlagen, insbesondere mit Kalk. Forst- und Holzwirt 14: 178–182.
  - 1959 b. Luftverunreinigungen als Standortsfaktor für industrienaher Forstwirtschaft. In «Grundlagen der Forstwirtschaft», S. 657–668. Schaper Verlag, Hannover.
  - 1960. Untersuchungen über die von einer Bleihütte ausgehenden Immissionen und das Ausmaß der durch sie während zweier Jahre verursachten Waldrauchschäden. Bericht Landesanstalt Bodennutzungsschutz Nordrhein-Westfalen 1: 63–87.
  - 1960 b. Wald und Luftverunreinigung. In: Die Wirkungen des Waldes auf Mensch und Umwelt. Landwirtschaft — Angew. Wissenschaft Nr. 107, pp. 140–168.
  - 1962. Rauchsadenkundliche Lehren der Untersuchungen von Wirkungen eines Ausfalles von Filter- und Absorptionsanlagen einer Bleihütte. Wiss. Z. T. U. Dresden 11: 581–588.
  - 1963 a. Waldbauliche Maßnahmen gegen Immissionen. AFZ 18 (7): 101–108 (mit Farbabbildungen).
  - 1963 b. Wirksame Rauchsadenverhütung durch Abgasreinigung. AFZ 18 (7), 114–117.
  - 1964. Gibt es immissionsfeste oder rauchharte Bäume? Forstarchiv 35: 49–51.
- Wentzel K.F. und Ohnesorge B.*: 1961. Zum Auftreten von Schadinsekten bei Luftverunreinigung. Forstarchiv 32: 177–186.

## **Etudes sur diverses provenances de mélèze européen (*Larix decidua* L.) et la variabilité de leur infection par le chancre du mélèze (*Dasyscypha willkommii* Hart.)**

Par *H. Leibundgut, S. Dafis et M. Bezençon*

(Institut de sylviculture de l'École polytechnique fédérale, Zurich)

Oxf. 232.12 : 443.3

### **Avant-propos**

En 1945 et 1946, un essai de provenances du mélèze d'Europe fut commencé dans la forêt d'enseignement d'Albisriederberg (ZH). Les expériences devaient porter en premier lieu sur des observations phénologiques et des études sur les caractères morphologiques de mélèzes d'origines différentes. De plus, ces plantations s'avérèrent par la suite propices à des recherches sur la sensibilité au chancre des diverses provenances. C'est pourquoi les arbres furent examinés dans ce sens une première fois en septembre 1958 par le garde forestier Rahm. Auparavant, une partie des mélèzes avaient été élagués durant les hivers 1954/55 et 1955/56. Pendant l'hiver 1958/59