

**MITTEILUNGEN  
DER FORSTLICHEN BUNDES-VERSUCHSANSTALT  
WIEN**

(früher „Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs“)

**97. Heft**

**1972**

---

**WIRKUNGEN VON LUFTVERUNREINIGUNGEN AUF WALDBÄUME**

**VII. Internationale Arbeitstagung Forstlicher Rauchsachverständiger**

**ODC 425.1**

**Effects of Air Pollutants on Forest Trees**

**VII. International Symposium of Forest Fume Damage Experts**

**Effets des pollutions de l'air aux arbres de forêts**

**VII. Congrès internationale de travail des experts des dégâts de fumée**

**Влияние загрязнений воздуха на лесные деревья**

**УП. Международное рабочее совещание экспертов по повреждению  
лесных деревьев дымом**

**Essen - BRD**

**7. bis 11. September 1970**

**Herausgegeben  
von der**

**Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien**

Copyright by  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Wien.

Copyright by  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Wien.

Printed in Austria

Herstellung und Druck:  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
A - 1131 Wien

# I N H A L T

## 1. B a n d

Vorwort .....	9
Tagungsprogramm .....	12
Teilnehmerverzeichnis .....	26
Begrüßungsansprachen .....	34
HARTKAMP, H.: Immissionsmessungen zur Luftüberwachung im Lande Nordrhein-Westfalen .....	45
KNABE, W.: Immissionsbelastung und Immissionsgefährdung der Wälder im Ruhrgebiet ..	53
DREYHAUPT, F.J.: Grundsätze des Luftreinhalteprogramms des Landes Nordrhein-Westfalen .....	89
ROST, F.: Maßnahmen des Landes Nordrhein-Westfalen zur Walderhaltung in immissionsbelasteten Gebieten .....	99
FRORIEP, S.: Die Bedeutung der Grünflächen im immissionsbelasteten Ruhrgebiet und Folgerungen für die Landesplanung ...	107
WENTZEL, K.F.: Forderungen des Umweltschutzes an die Luftreinhaltung .....	117
KERIN, D.: Waldrauchschäden der Blei- und Stahlindustrie im Voralpengebiet Jugoslawiens	129
BOHNE, H.: Klärung eines Rauchschadensfalles bei Kiefernbeständen im Ruhrgebiet .....	141
DONAUBAUER, E. und K. STEFAN: Nachweis der Vergrößerung von Immissionswirkungen nach Errichtung eines kalorischen Kraftwerkes .....	151

GRESZTA, J. und J. OISZOWSKI: Einfluß der chemischen Industrieemissionen auf den Zuwachs von Kiefernbeständen .....	163
VINS, B. und R. MRKVA: Zuwachsuntersuchungen in Kiefernbeständen in der Umgebung einer Düngerfabrik .....	173
ELLERTSEN, B.W., C.J. POWELL & Ch. L. MASSEY: Report on study of diseased white pine in East Tennessee .....	195
WARTERESIEWICZ, M. & I. SZALONEK: Untersuchungen über die Schäden an Kulturpflanzen in der Nähe eines metallurgischen Kombi-nates .....	209
MATERNA, J.: Einfluß niedriger Schwefeldioxyd-konzentrationen auf die Fichte .....	219
WOOD, F.A. & J.B. COPPOLINO: The influence of ozone on deciduous forest tree species	233
SCHOLL, G.: Ein biologisches Verfahren zum Nachweis von Fluorverbindungen in Immissionen .....	255
KELLER, Th.: Über die Überwachung der Immissionen von Kehrriechverbrennungsanstalten mit Hilfe von Nadelanalysen auf Chloride .....	271
WERT, S.L.: Detecting and evaluating air pollution damage to forest stands in the United States by using large-scale color aerial photography .....	281
KENNEWEG, H.: Zur Frage der Erkennung und Abgrenzung von Rauchsäden aus Luftbildern .....	295

2. B a n d

GODZIK, S.:	Vergleichende Untersuchungen über die Aufnahme von Schwefeldioxyd aus der Atmosphäre durch einige Pinus-Arten	319
HORVATH, I.:	Einfluß von Fluorverbindungen auf die Trockensubstanzproduktion von Buchweizen .....	335
DÄSSLER, H.G.:	Zur Wirkungsweise der Schadstoffe. Der Einfluß von SO <sub>2</sub> auf Blattfarbstoffe .....	353
GRILL, D. & O. HÄRTEL:	Zellphysiologische und biochemische Untersuchungen an SO <sub>2</sub> -begasteten Fichtennadeln - Resistenz und Pufferkapazität .....	367
HOUSTON, D.B. & G.R. STAIRS:	Physiological and genetic response of Pinus strobus L. clones to sulfurdioxide and ozone exposures .....	387
SCHÜTT, P. & H.J. SCHUCK:	Zusammenhänge zwischen Rauchhärte und Cuticularwachsen bei Koniferen .....	399
STEINHÜBEL, G.:	Die Beeinflussung der Translokationen organischer Stoffe in den wachsenden Trieb durch feste Immissionen bei Koniferen .....	419
GRESZTA, J.:	Die Beschädigung des Assimilationsapparates der Kiefer sowie die dadurch entstandenen Verluste der Holzmasse ..	431
MAMAJEW, S.A. & O.D. SHKARLET:	Effects of air and soil pollution by industrial waste on the fructification of Scotch Pine in the Urals .....	443

LAMPADIUS, F.: Schädigung des Waldes durch Waschmittelstaub .....	451
CHROSCIEL, S., J. JUDA & J. PALUCH: Methodik der Beurteilung des Gefährdungsgrades von Waldkomplexen durch bestimmte Emissionsquellen .....	473
TESAR, V.: Immissionssituation, forstliche Lage und Auswirkung von Gegenmaßnahmen im Rauchschadensgebiet Trutnov/Riesengebirge .....	481
FER, F., E. PELZ, A. PFEFFER & V. TOLLINGER: Die Bewertung des Wachstums von Fichtenpropflingen aus rauchhärteren Klonen im Rauchschadensgebiet des Erzgebirges .....	493
GERHOLD, H.D., E.H. PALPANT, W.M. CHANG & M.E. DEMERITT Jr.: Tubing fumigation method for selection of pines resistant to air pollutants .....	511
STEFAN, K.: Nadelanalytische Ergebnisse von einem Düngungsversuch in einem rauchgeschädigten Fichtenbestand .....	521
MEURERS, H.: Lärminderungen durch Anpflanzungen	535
BERINDAN, C.: Öffentliche Grünflächen in Städten mit Luftverunreinigung - augenblicklicher und zukünftiger Stand .....	541
KALETA, M.: Die Wirkung von Magnesit-Immissionen auf die Änderung der Pflanzengesellschaften .....	569
MILLER, P.R., M.H. McCUTSCHAN & B.C. RYAN: Influence of climate and topography on oxidant air pollution concentrations that	

damage conifer forests in Southern California .....	585
SIERPINSKI, Z.: Die Bedeutung der sekundären Kieferschädlinge in Gebieten chronischer Einwirkung industrieller Luftverunreinigungen .....	609
GÜNTHER, K.H.: Schädigung von Waldbäumen durch Grundwasserentzug in Immissionsgebieten	617
HANOVER, J.W.: Factors affecting the release of volatile chemicals by forest trees ....	625
Schlußresolution .....	645



# VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE AUFNAHME VON SCHWEFELDIOXYD AUS DER ATMOSPHERE DURCH EINIGE ARTEN DER GATTUNG PINUS

von

Stefan GODZIK

Forschungsinstitut für den oberschlesischen Industriebezirk  
der polnischen Akademie der Wissenschaften - Zabrze

## EINLEITUNG

Pflanzen derselben Art, welche einer gleichen  $\text{SO}_2$ -Konzentration ausgesetzt werden, weisen wesentliche Empfindlichkeitsunterschiede auf. Außer den Umweltverhältnissen spielt das Entwicklungsstadium der Pflanzen sowie die Tageszeit eine wichtige Rolle (Katz 1949, Katz und Mitarbeiter 1939, Katz und Mc Callum 1952, Thomas 1951, 1961, Thomas und Hendricks 1956, Van Haut 1961). Man weist darauf hin, daß die Pflanzen die größte  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit in der Zeit ihrer stärksten  $\text{SO}_2$ -Assimilation und bei Verhältnissen, welche diese Assimilation begünstigen, aufweisen (Thomas, Hendricks und Hill 1949, Zimmermann 1949, Thomas und Hendricks 1956, Zahn 1963). Am stärksten reagieren gewöhnlich auf  $\text{SO}_2$  die mittelalten Blätter. Die ältesten Blätter sind etwas rauchhärter, dagegen besitzen die allerjüngsten die stärkere Resistenz (Setterstrom und Zimmermann 1939, Zimmermann 1949). Im Falle von Kiefernadeln sind die sehr jungen empfindlicher als die vorjährigen. Die Nadeln der Kiefern sind schon in einem relativ frühen Stadium sehr anfällig, und zwar schon bald nach dem Verlassen der Nadelhaut, wobei die vorjährigen Nadeln nicht selten ohne Schadsymptome bleiben. Im allgemeinen ist für die  $\text{SO}_2$ -Resistenz das aktuelle Alter der Blätter weniger ausschlaggebend als das physiologische (Van Haut 1961). Untersuchungen an der Fichte ermöglichen die Feststellung, daß  $\text{SO}_2$  auch im Winter aufgenommen werden kann (Materna und Kohout 1963, Materna 1964). Ein Teil der Schwefelverbindungen wird in andere Teile des Baumes und auch

in andere Nadeln verlagert (Materna 1964). Gleichfalls wurde eine Verlagerung des Schwefels gegen den Blattrand festgestellt, (Kohout und Materna 1966), was die früheren Ergebnisse von Halbwachs (1963) bestätigt. In anderen Untersuchungen an verschiedenen Baumarten (Godzik 1968) wurde festgelegt, daß der Schwefel, der als  $\text{SO}_2$  aufgenommen wurde, schwach beweglich ist und relativ langsam in andere Blatteile verlagert wird.

Die Ergebnisse weisen scheinbar darauf hin, daß die durch einzelne Pflanzenarten aufgenommenen  $\text{SO}_2$ -Mengen unabhängig von der Resistenz gegenüber diesem phytotoxischen Faktor sind. Das Grundziel dieser Arbeit ist die Erlangung weiterer Informationen über den Einwirkungsmechanismus auf Pflanzen und deshalb wurde auf folgende Probleme die größte Aufmerksamkeit gerichtet:

- a Aufnahme von  $\text{SO}_2$  aus der Außenluft durch Nadeln von verschiedenem Alter der ausgewählten Pinusarten.
- b Gehalt des aufgenommenen  $\text{SO}_2$  in verschiedenen Nadelteilen.

#### MATERIAL UND METHODE

Untersucht wurden folgende Arten der Gattung Pinus: *P. silvestris*, *P. montana*, *P. nigra*, *P. rigida* und *Pinus strobus*, die aus einer Gegend mit schwacher Luftverunreinigung stammten. Alle Versuche wurden an abgeschnittenen Zweigen durchgeführt. Unmittelbar nach dem Schnitt kamen die Zweige ins Wasser, nachher ins Labor und wurden für die Markierung vorbereitet. Sie erfolgte am Tag nach der Zweigabnahme und wurde in einer gasdichten Kammer mit einer Kapazität 280 l durchgeführt (Godzik 1968).

Die Einführung des  $^{35}\text{SO}_2$  mit einer Aktivität von ca. 0,5 m Ci erfolgte nach der Luftdurchflußstabilisierung. In den ersten 10 Minuten betrug sie etwa 50 l/ha und später stieg sie auf 1500 bis 1700 l/ha an. Die errechneten  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen haben 0,2 ppm nicht überschritten. Um eine bessere Luftmischung zu erreichen, wurde in der Kammer ein kleiner Ventilator eingebaut. Die Kammer wurde eine Stunde nach der  $^{35}\text{SO}_2$

Einführung geöffnet. Bei jeder Markierung befanden sich in der Kammer Zweige aller untersuchten Arten. Für Radioaktivitätsbestimmungen benutzte man dünnwändige Geiger-Müller Fensterzählrohre. Die Nadeln des untersuchten Jahrganges wurden von verschiedenen Zweigstellen entnommen, auf kleinere Teile zerschnitten, getrocknet und nach den Radioaktivitätsmessungen gewogen. Es wurde immer mit gleichen Nadelmengen gearbeitet. Von jeder Markierungsserie wurden 10 Proben für Impulsratmessungen entnommen. Für Nadeln des Jahrganges 1969 wurden auch Messungen in unendlich dicken Schichten ausgeführt. Die Nadeln wurden im Mörser zerkleinert, getrocknet und zusammengepreßt.  $^{35}\text{S}$  - Verteilungsbestimmungen wurden an Nadeln durchgeführt, die auf einen Klebstreifen so aufgebracht wurden, daß die Nadelspitzen in einer Linie lagen. Man benutzte etwa 10 ähnliche Nadeln jeder Art. Die Vorschubgeschwindigkeit der Nadeln über dem G-M Zählrohr war mit Registrierpapiervorschub synchronisiert. Für diese Messungen benutzte man den Radiochromatograph ZRC-1 der Firma BUTJ (Polen).

Standardabweichungen von Maßratenbestimmungen wurden nach Angaben von Wang und Willis (1965) errechnet.

Chlorophyllgehaltmessungen wurden in 80 % Azetonauszug (Halden 1965) mit Hilfe des Spektrophotometers Unicam SP-700 durchgeführt.

Atmungsintensitäten wurden im Warburg-Gerät bei  $25^{\circ}\text{C}$  gemessen und begannen 3 Stunden nach der Nadelzerkleinerung. Die Ergebnisse wurden in Mikroliter  $\text{O}_2$ -Verbrauch von 0,1 g frischer Masse/Stunde angegehen.

Die hier dargestellten Versuche stützten sich auf Pflanzenmaterial, welches in den Monaten April - Juni 1970 entnommen wurde.

## ERGEBNISSE

Aufnahme von  $\text{SO}_2$  durch einjährige Nadeln:

Radioaktivitätsmessungen, die nach der Methode der unendlich

dicken Schichten ausgeführt wurden, zeigten wesentliche Unterschiede in den durch verschiedene Pinus-Arten, jedoch bei denselben Untersuchungsverhältnissen, aufgenommenen  $\text{SO}_2$  Mengen (Tab.1).

Die Untersuchungsergebnisse des Pflanzenmaterials, die sich aus zwei verschiedenen Versuchen ergeben, sind im absoluten Wert nicht gleich. Das ist verständlich, wenn berücksichtigt wird, daß die Menge des Pflanzenmaterials die für die einzelnen Markierungsserien verwendet wurde, ebenfalls nicht gleich war. Die in den Mengen des aufgenommenen  $\text{SO}_2$  festgestellten Differenzen können sowohl von den verschiedenen  $\text{SO}_2$  - Mengen, welche den Pflanzen in der Kammer zur Verfügung standen, als auch von anderen Faktoren abhängen. Schwefeldioxyd wurde von *Pinus strobus* und *P.silvestris* am stärksten aufgenommen. Wenn man aber für den Nadeljahrgang 1969 (Tab.2) andere Versuchsergebnisse berücksichtigt, so kann folgende Reihenfolge aufgestellt werden: *Pinus rigida*, *Pinus montana* und *Pinus nigra*. Eine deutliche Differenz besteht bei der prozentualen Umrechnung der aufgenommenen Schwefeldioxydmenge zwischen den beiden Markierungsserien, die bei *Pinus strobus* 18% und bei *Pinus nigra* fast 16% beträgt. Für *Pinus rigida* beträgt sie 1,3 % und für *Pinus montana* 3,8 %. Wenn für *Pinus silvestris* ein Wert von 100 angenommen wird, so erhält man als Mittel für *Pinus strobus* 142,7, *Pinus rigida* 73,9, *Pinus nigra* 70,6 und *Pinus montana* 61,6.

Ein Vergleich zwischen der aufgenommenen  $\text{SO}_2$ -Menge und dem Chlorophyllgehalt oder /und der Atmungsintensität, erlaubt keine Feststellung einer Beziehung zwischen diesen drei Arten von Ergebnissen. Ausschließlich im Falle der *Pinus strobus* konnte ein sehr hoher Chlorophyllgehalt festgestellt werden. Bei den übrigen konnte eine solche Beziehung nicht nachgewiesen werden. Die Photosynthese und ihre Intensität wurden bei den erwähnten Arten nicht untersucht und infolgedessen ist keine Aussage möglich, ob in dieser Hinsicht derartige Beziehungen bestehen.

Tab. 1: Radioaktivität, Chlorophyllgehalt und Atmungsintensität und Atmungsintensität einjähriger Nadeln der untersuchten Pinus-Arten

Art	Impulsrate, Imp/min <sup>x</sup>	Chlorophyllgehalt mg/g frische Masse	Atmungsintensität ul O <sub>2</sub> Verbrauch 100 mg frische Masse pro Stunde
<i>P. silvestris</i>	1372,3 ± 9.6	1.5892	53,7
<i>P. montana</i>	881,9 ± 7.8	1.6144	34.5
<i>P. nigra</i>	853,0 ± 7.7	1.0050	49,9
<i>P. rigida</i>	1008,7 ± 8.4	1.1992	36.2
<i>P. strobus</i>	1840,8 ± 11.2	2.3986	48,9

<sup>x</sup>In unendlich dicken Schichten gemessen.

## Aufnahme von $\text{SO}_2$ durch einzelne Nadeljahrgänge:

Die Untersuchungsergebnisse (Tab.2) deuten auf stärkere  $\text{SO}_2$ -Aufnahme durch die jüngsten Nadeln hin, die sich am Anfang ihres Entwicklungsstadiums und häufig bis zur Hälfte in der Nadelhaut befinden.

Die durchschnittlichen Längen betragen: *Pinus silvestris* 13 mm, *Pinus montana* 30 mm, *Pinus nigra* 35 mm, *Pinus rigida* ungefähr 32 mm und *Pinus strobus* 14 mm. Andersartig verhält sich *Pinus strobus*, bei der die jüngsten Nadeln nicht die höchsten  $\text{SO}_2$ -Mengen aufnehmen. Alle Jahrgänge haben ungefähr, in Umrechnung auf die Einheit der Trockensubstanz, die gleichen Mengen aufgenommen, aber am meisten der Jahrgang 1969. Die anderen Arten zeigen eine gewisse Verminderung der Menge des aufgenommenen  $\text{SO}_2$  durch Nadeln, die grundsätzlich ihren Wuchs und ihre Entwicklung beendet haben. Die Unterschiede zwischen älteren Nadeljahrgängen sind für dieselbe Art kleiner als zwischen ihnen und der vom laufenden Jahr. Ein verhältnismäßig schwacher Entwicklungsstand im Zeitpunkt der Untersuchung zeigte *Pinus silvestris* und *Pinus strobus*. Die Nadeln von *Pinus nigra*, *Pinus montana* und *Pinus rigida* waren im Entwicklungsstadium etwas weiter fortgeschritten. Es ist wenig wahrscheinlich, daß gerade die allerjüngsten, nicht entwickelten Nadeln die größte Intensität der  $\text{CO}_2$ -Assimilation aufweisen. Man müßte annehmen, daß im Prozeß der  $\text{SO}_2$ -Aufnahme durch Pflanzen ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften eine große Rolle spielen. Dies deuten die Ergebnisse von Materna (1964) an, der feststellte, daß  $\text{SO}_2$  intensiver aufgenommen wird als dies es aus normalem Gaswechsel folgt. Godzik (1968) stellte fest, daß die Nadelscheiden der Kiefer um ein Vielfaches mehr  $\text{SO}_2$  aufgenommen haben, als die Nadeln selbst. Die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Messungen zeigen, daß die vor dem Versuch verdorrten Nadeln oder Nadelteile noch im Stande waren, bis über 50 % dieser Schwefelmengen aufzunehmen, die normalerweise der Nadeljahrgang 1969 aufnahm. Zur Zeit ist es noch schwierig, die festgestellten Be-

Tabelle 2: Radioaktivität der Nadeln einiger Arten der Gattung Pinus  
 Markiert am 19. Juni 1970

		P i n u s		r i g i d a		s t r o b u s				
		m o n t a n a		n i g r a		p r o:				
		I m p u l s a t e		I n g / m l n						
Nadel-		100 mg	100 mg	100 mg	100 mg	100 mg	100 mg			
jahr-	Nadel	TS	TS	Nadel	Nadel	Nadel	Nadel			
gang										
1970	236,7±4,2	26305,5±41,9	254,7±4,3	8087,3±23,2	546, ±6,2	5432,0±19,1	303,3±4,7	12907,6±29,4	44,4±2,1	7040,6±22,6
1969	557,9±6,23	4937,2±18,2	292,2±4,6	2171,7±12,1	1144,0±8,7	1261,7± 9,2	1970,0±10,3	4757,6±17,8	590,1±6,9	8923,3±24,4
1968	685,0±6,9	5930,7±19,9	475,9±5,8	2614,8±13,3	967,0±8,1	1279,1± 9,2	-	-	503,3±5,9	7475,2±22,4

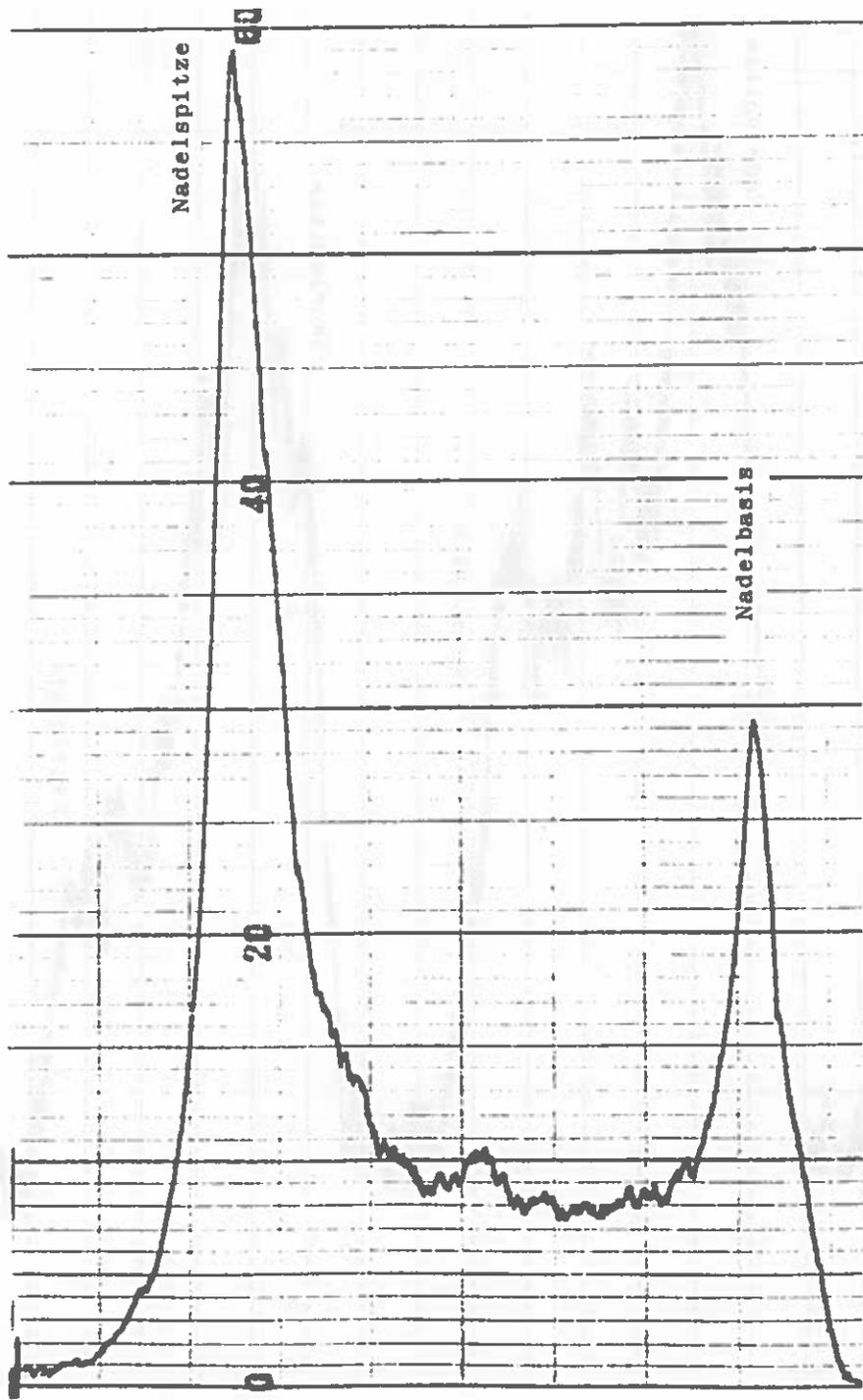
obachtungen irgendwie zu erklären außer einem allgemeinen Hinweis daß:

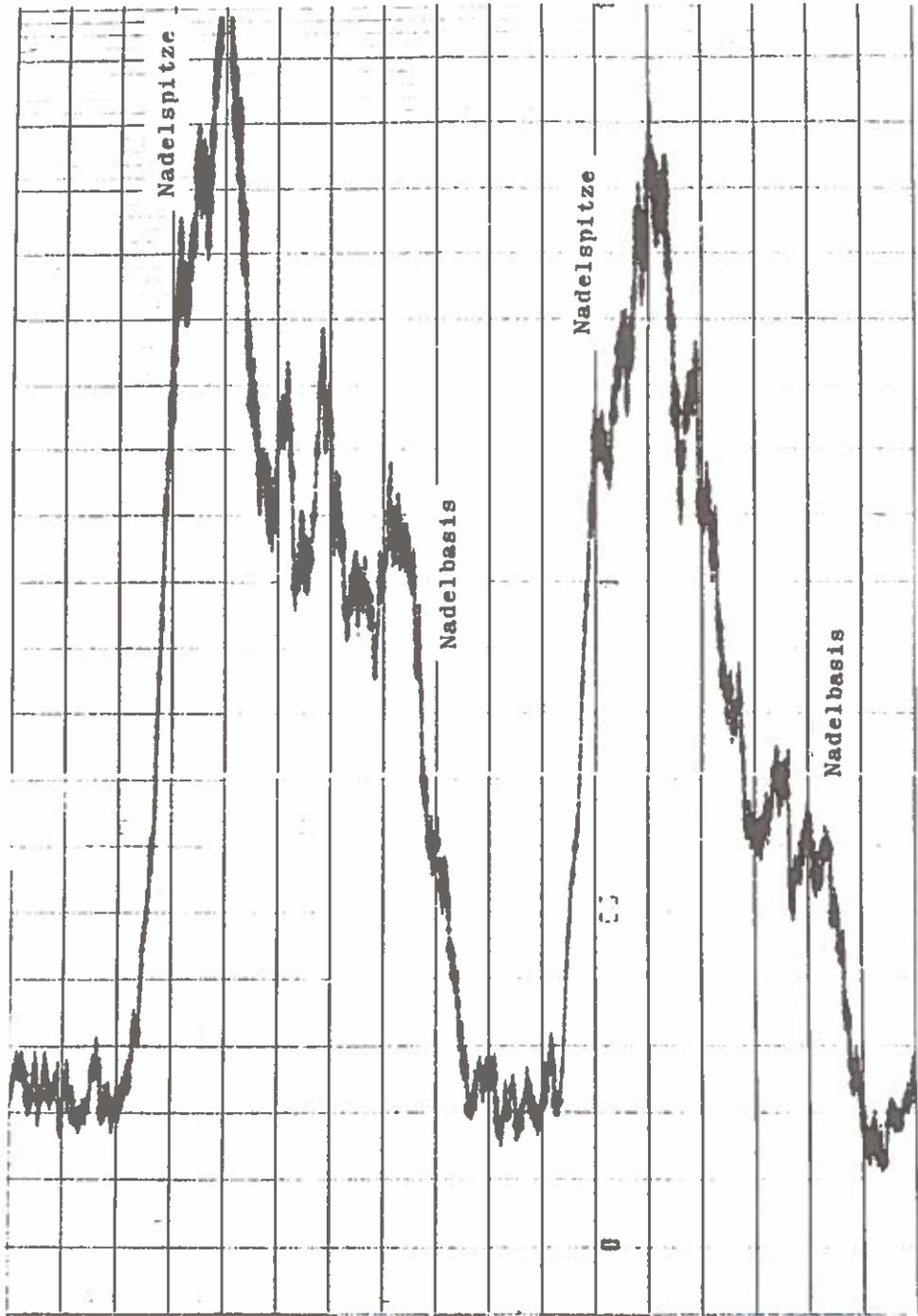
a nicht in allen Fällen zwischen der durch Nadeln bestimmten Art aufgenommenen Schwefelmenge und ihrer Empfindlichkeit gegen diesen Faktor eine Beziehung besteht. Dies betrifft sowohl Geländebeobachtungen im oberschlesischen Industriegebiet, wie auch Versuche in Gaskammern (Enderlein und Vogl 1966).

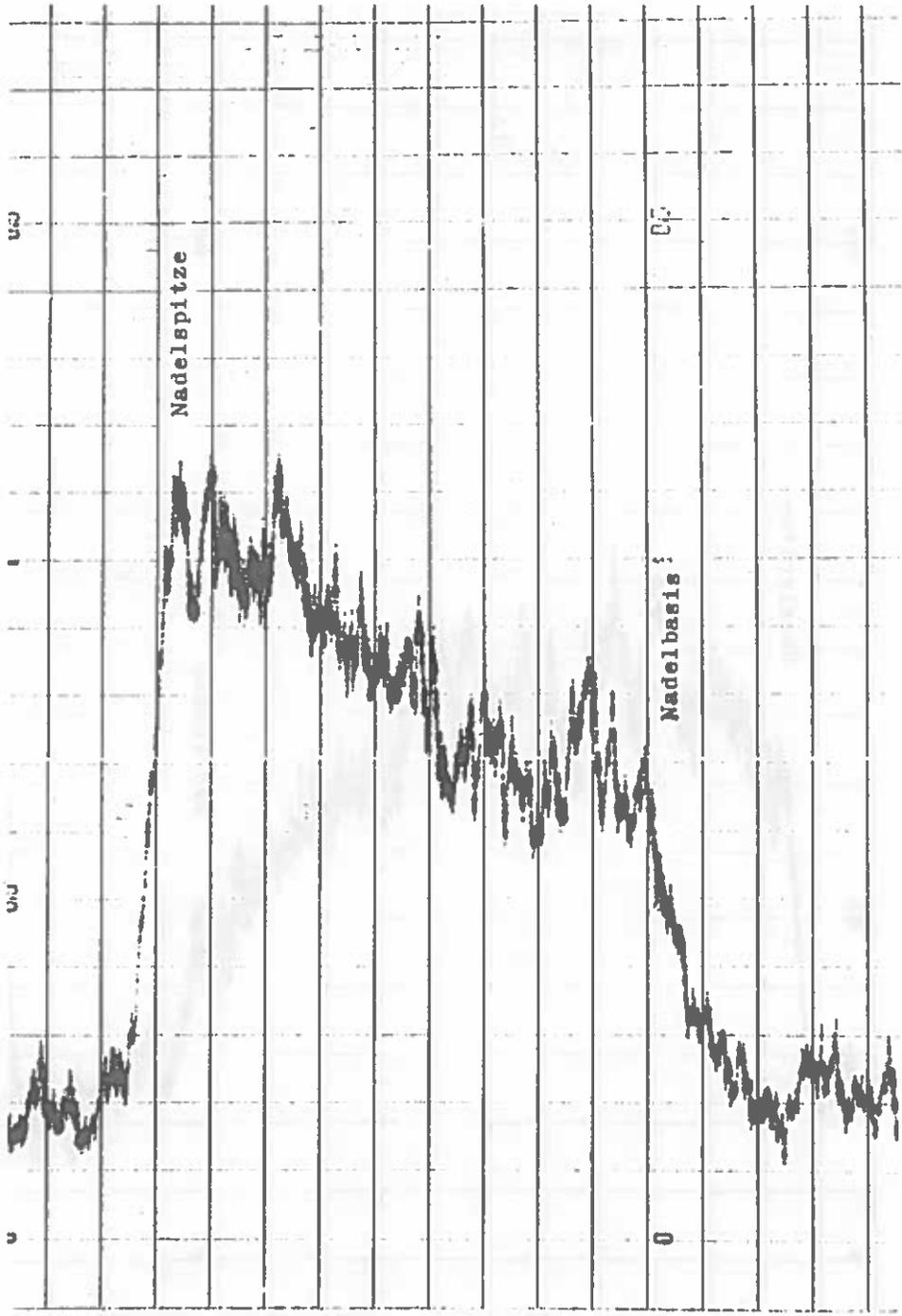
b Es scheint, daß im Prozeß der  $\text{SO}_2$ -Aufnahme durch Pflanzen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Assimilationsorgane eine bedeutende Rolle spielen.

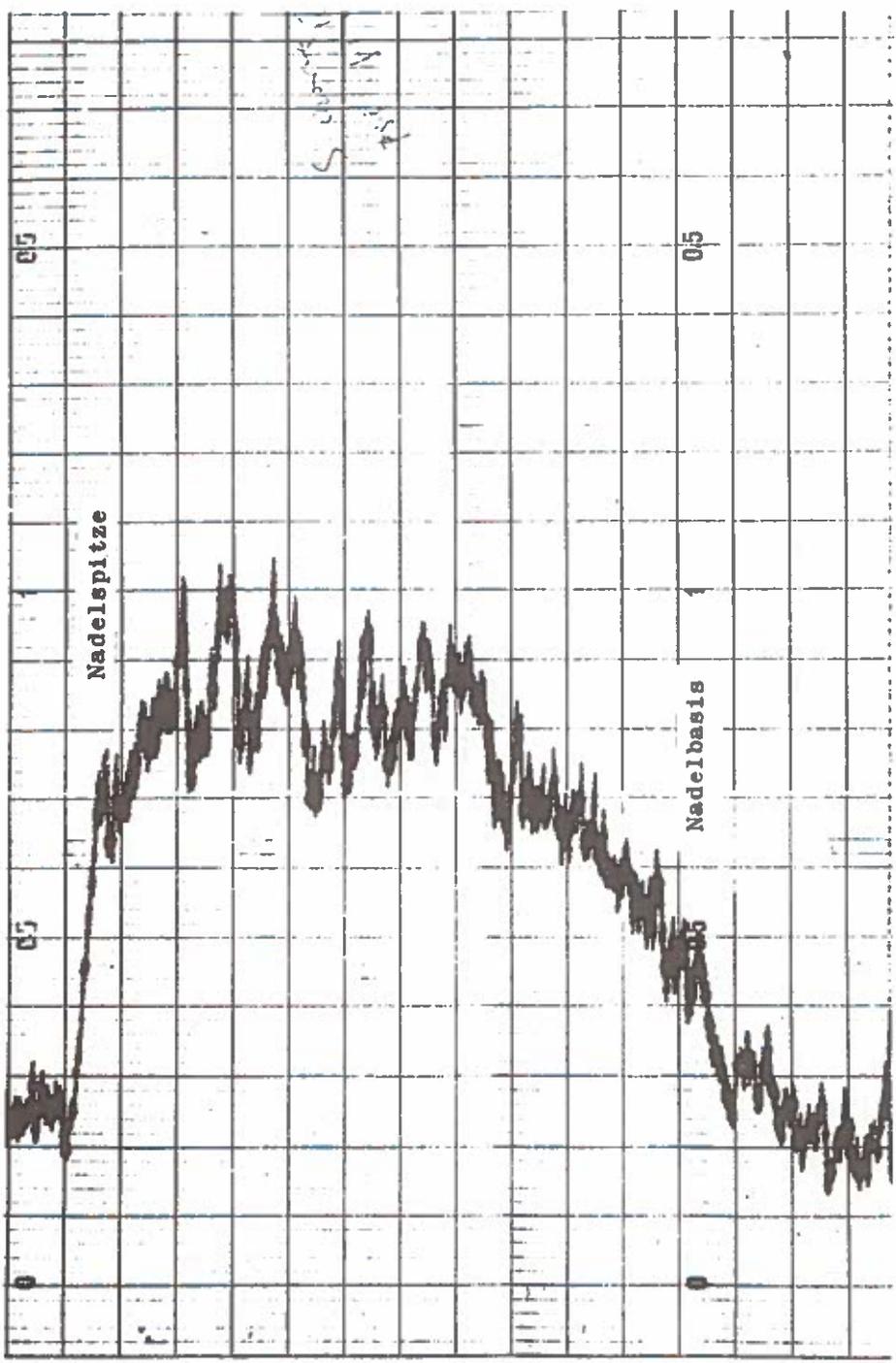
Schwefelgehalt der verschiedenen Nadelabschnitte:

Das ziemlich charakteristische Absterben der Nadelspitzen bei  $\text{SO}_2$ -Einwirkungen bei nicht festgestellter Schwefelanreicherung (Guderian 1961) sowie die Feststellung von Kohout und Materna (1966), daß der Schwefel innerhalb der Blätter einer Translokation, ähnlich wie andere phytotoxische Faktoren (Halbwachs 1963) unterliegen kann, bewegten den Autor zur Durchführung dieser Versuche. Es konnte festgestellt werden (Abb.1-4) - außer bei *Pinus nigra* -, daß in den Spitzenregionen der Nadeln (Spitze selbst oder etwas niederliegende Teile) sich mehr  $^{35}\text{S}$  befindet als in den Teilen, die näher der Nadelbasis liegen. Dieses Phänomen kommt sehr klar im Falle der Nadeln von *Pinus silvestris* zum Ausdruck (Abb.1), bei den anderen Arten dagegen ist es nicht so charakteristisch. (Abb.2-3), aber sehr deutlich. Bei *Pinus nigra* treten im mittleren Teil der Nadeln ungefähr die gleichen Mengen  $^{35}\text{S}$  auf. In den extremen Teilen befindet sich dagegen weniger  $^{35}\text{S}$  (Abb.4). Diese Tatsachen scheinen darauf zu weisen, daß das Absterben der Kiefernadelspitzen das Ergebnis eines deutlichen höheren Schwefelgehaltes ist.









Nadelspitze

Nadelbasis

05

05

Handwritten notes:

- 5.10.1961
- 11

## FOLGERUNGEN

1. Die Intensität der  $\text{SO}_2$ -Aufnahme aus der Luft durch Nadeln verschiedener Pinus-Arten ist je nach Species und Nadelalter unterschiedlich.
2. Pinus strobus verhält sich in einigen Fällen anders als die übrigen Arten.
3. Man kann annehmen, daß die Aufnahme von  $\text{SO}_2$  aus der Luft im beträchtlichen Maße nicht von den Lebensvorgängen abhängig ist, sondern von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Pflanzengewebes bedingt ist.
4. Die festgestellten größeren  $^{35}\text{S}$ Schwefelmengen in den Spitzenregionen der Nadeln der untersuchten Pinusarten (außer Pinus nigra) tragen mindestens teilweise zum Absterben dieser Nadelteile bei.
5. Die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse erlauben die Annahme, daß bei Pflanzen einer Gattung die Mengen der aufgenommenen toxischen Substanz ( $\text{SO}_2$ ) nicht die einzige Ursache verschiedener Empfindlichkeit ist.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die an 5 Arten durchgeführten Untersuchungen weisen auf bedeutende Unterschiede in der Schwefeldioxydaufnahme aus der Luft innerhalb der Gattung Pinus hin. Je nach der Vorbereitungsmethode für die Radioaktivitätsbestimmung ist die Reihenfolge der einzelnen Arten auf Grund ihrer  $\text{SO}_2$ -Aufnahme verschieden.

Die Umrechnung auf Masseeinheiten ergab, daß Nadeln von Pinus strobus am meisten  $\text{SO}_2$  aufgenommen haben, die Nadeln von Pinus nigra am wenigsten.

Gleichzeitig ausgeführte Chlorophyllbestimmungen ergaben, daß die größten Konzentrationen in Pinus strobus auftreten, die kleinsten dagegen in Pinus nigra. Bei den übrigen Pinus-

arten sind die Unterschiede gering und decken sich nicht mit den Differenzen in den aufgenommenen  $\text{SO}_2$ -Mengen. Radioaktivitätsmessungen der vertrockneten Nadeln von *Pinus silvestris* bewiesen, daß sie bedeutende  $^{35}\text{SO}_2$ -Mengen aufnehmen können, was auf eine wichtige Rolle der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Gewebes im Prozeß der  $\text{SO}_2$ -Aufnahme aus der Luft hindeutet. Diese Folgerungen scheinen auch durch die Aktivitätsmessungen verschieden alter Nadeln bestätigt zu werden. Es wurde festgestellt, daß sehr junge Nadeln die größten Mengen von  $^{35}\text{S}$  aufnehmen. In den Spitzenregionen der untersuchten Pinusarten (außer *P.nigra*) konnte man größere Mengen von  $^{35}\text{S}$  feststellen.

#### LITERATUR

- ENDERLEIN H., VOGL M., 1966: Experimentelle Untersuchungen über die  $\text{SO}_2$  Empfindlichkeit der Nadeln verschiedener Koniferen. Archiv.f.Forstw. 15, 1207-1224.
- GODZIK S., 1968: Absorption of  $^{35}\text{SO}_2$  and its localisation in the leaves of certain trees. Referate der VI. Internationalen Arbeitstagung Forstlicher Rauchschadensachverständiger, 63-77, Katowice.
- GUDERIAN R., 1961: Auswirkungen von Schwefeldioxyd Immissionen auf den Mineralstoffgehalt der Pflanze. Raucheinwirkungen im Gartenbau 42-47.
- HOLDEN M., 1965: Chlorophylls. In: Goodwin T.W.: Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments, 461-488. Academic Press.
- HALBWACHS G., 1963: Untersuchungen über gerichtete aktive Strömungen und Stofftransport im Blatt. Flora 153, 335-357.
- KATZ M., 1949: Sulfur Dioxide in the atmosphere and its relation to plant life. Ind.Eng.Chem. 41, 2450 - 2465.

- KATZ M. und Mitarbeiter, 1939: Effect of Sulfur Dioxide on Vegetation. National Research Council of Canada. Ottawa.
- KATZ M. & CALLUM Mc, 1952: The Effect of Sulfur Dioxide on Conifers. 84-96. Mc Cabe (ed): Air Pollution, Mc.Graw-Hill Book Comp. Inc. New York.
- KOHOUT R. & MATERNA J., 1966: Sorpce a sireni kyslieniku si-ricitehe w asimilacnich organach nekteryeh les-nich derevin. Janske Laznie 11. - 14.X.1966.
- MATERNA J. & KOHOUT R., 1963: Die Absorption des Schwefeldioxyds durch die Fichte. Naturwissenschaften 50, 407.
- MATERNA J., 1964: Aufnahme von SO<sub>2</sub> durch Fichtennadeln und Weiterleitung der Schwefelverbindungen. Zitt. nach: Kisser J. u. Halbwaehs G., 1965: Bericht über die IV Internationale Arbeitstagung Forstlicher Rauchsachverständiger, 14. - 17. September 1964 in Wien. Sonderdruck Allgem. Forstz. 76. Folge 1/1965.
- THOMAS M.D., HENDRICKS R.H., HILL G.R., 1949: The action of Sulphur Dioxide on vegetation. Proc. First Nat. Air Pollut. Symp. 142 - 147.
- THOMAS M.D., 1951: Gas damage to plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 2, 293-322.
- THOMAS M.D. & HENDRICKS R.H., 1956: Effect of air pollution on plants. In: Air Pollution Handbook, sec. 9, McGraw-Hill Book Comp. New York - Toronto - London.
- THOMAS M.D., 1961: Effects of air pollution on plants. 233-278, Air Pollution - World Health Organisation, Geneva.
- WANG C.H. & WILLIS D.L., 1965: Radiotracer Methodology in Biological Science. Prentice - Hall Inc., Engl. Cliffs.

ZAHN R., 1963: Über den Einfluß verschiedener Umweltfaktoren auf die Pflanzenempfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxyd. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz 70, 81-95.

ZIMMERMANN P.W., 1949: Impurities in the air and their influence on plant life. Proc. First Nat. Air Pollut. Symp. 135 - 141.

## COMPARATIVE INVESTIGATIONS ON THE UPTAKE OF SULPHUR DIOXIDE FROM THE ATMOSPHERE BY SOME PINUS SPECIES

BY S. GODZIK

*Research Institute for the Upper Silesian Industrial Region, Polish Academy of Sciences.*

The investigations were made in a hermetically sealed chamber on detached shoots of the following species: *Pinus sylvestris*, *P. rigida*, *P. nigra*, *P. strobus* and *P. mughus*. The plant material came from a place with slight air pollution by dust and sulphur compounds. The detached shoots were treated with low concentrations of  $\text{SO}_2$  (about 0.2 ppm) labelled with radioactive sulphur, with continuous air through-flow. The degree of radioactivity of the one-year needles was the measure for the  $\text{SO}_2$  uptake. The results were expressed by reference to the dry matter, respiration rate and chlorophyll content of the individual species.

Differences were found in the amount of  $\text{SO}_2$  taken up by the needles of the different species, and significant differences were found between individual needles of the same species. The results were statistically analysed.

For some species we determined the amount of labelled  $\text{SO}_2$  in different sections of the needles (along the length of the needle). In *Pinus sylvestris*, a distinct accumulation of labelled  $\text{SO}_2$  was observed in the tip zones of the needles.

## D I S K U S S I O N

MATERNA:

Auch in unseren Versuchen war die Beweglichkeit des S sehr gering. Nur während des Austreibens neuer Triebe verhielt es sich anders. Verschiedene Herkünfte zeigten eine verschieden hohe S-Aufnahme.

# EINFLUSS VON FLUORVERBINDUNGEN AUF DIE TROCKENSUBSTANZPRODUKTION VON BUCHWEIZEN

von

Iwan HORVATH

Institut für Landschaftsbiologie der Slowakischen Akademie der  
Wissenschaften, Bratislava

Ziel unserer Untersuchungen war es, Erkenntnisse über die Veränderungen der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber Fluor zu sammeln, zu denen es im Verlauf ihrer ontogenetischen Entwicklung und infolge der Applizierung verschiedener Formen von Fluor kommen kann, sowie auch über die Frage der individuellen Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber Fluor.

## 1.) VERÄNDERUNGEN DER WIDERSTANDSFÄHIGKEIT VON PFLANZEN GEGENÜBER DEN VERSCHIEDENEN FORMEN VON FLUOR, DAS IN VERSCHIEDENEN PHASEN DER ONTOGENESE IN DEN BODEN APPLIZIERT WURDE:

Da sich die Aktivität der physiologischen Prozesse der Pflanze im Verlauf ihrer Ontogenese verändert, spielt ohne Zweifelauch der Zeitabschnitt eine Rolle, in welchem die Pflanze mit den Fluorverbindungen in Berührung kommt. Auf diese Tatsache wiesen Thomas (1961), Guderian, van Haut, Stratmann (1969) hin. Zu ähnlichen Schlüssen kam auch Garber (1967) bei der Applikation von Fluor in das Bodensubstrat.

Eine ähnliche wichtige Aufgabe im Rahmen der Reaktion von Pflanzen auf Fluor im Boden spielt auch die Form der chemischen Verbindung, in der sich dieses Element befindet, sowie auch die Eigenschaften des Bodens selbst. Mit diesen Zusammenhängen befassen sich die Arbeiten vieler Verfasser (Garber 1962, 1967, Nömmik 1953, Gericke und Kurmies 1955, Bredeman 1956, McIntire und Mitarb. 1958, Gisiger 1964, 1968, Kudzin und Pašova 1969 u.a.) In unseren Versuchen untersuchten wir die Wirkung von Fluor auf Versuchspflanzen von *Fagopyrum esculentum* M., Sorte Doxanská, und zwar in Gaben von 0, 20, 40, und 80 mg F / 100 g Bodentrockensubstanz appliziert in der Form von NaF, KF und  $C_6F_6$ .

in das Bodensubstrat in drei Zeitabschnitten: Vor der Aussaat, beim Auftreten der ersten Blüten und bei der Reifung der ersten Früchte. Die Versuchspflanzen wurden in Gewächshausbedingungen auf einem Boden gezogen, der aus gesiebter Mistbeeterde und aus Quarzsand im Verhältnis von 2:1 bestand. Am Ende des Versuches (12 Tage nach der Ausbildung der ersten reifen Früchte) trockneten wir die gesamte überirdische Substanz von jedem Gefäß bis zur Gewichtskontrolle (bei 105°C, für die Dauer von 24 Stunden). Alle Versuchsvarianten wurden in vier Wiederholungen gezogen. Die Ergebnisse wurden für die Berechnung der Durchschnittswerte und des mittleren Fehlers verwendet. Da das Endergebnis der gesamten physiologischen Aktivität von Pflanzen die Trockensubstanzbildung ist, beurteilten wir die abweichende Widerstandsfähigkeit im Verlauf der Ontogenese sowie auch ihre Abhängigkeit von der Form des applizierten Fluors auf Grund der Veränderungen in der Trockensubstanzproduktion, die durch die Applizierung des Fluors vor der Aussaat und in den einzelnen Entwicklungsphasen hervorgerufen worden waren. (Vgl.Tab. 1-3).

Auf Grund unserer Ergebnisse, die in Tabellen aufgeführt werden, kann man sagen, daß die Anfälligkeit von Buchweizen gegen die Inhibitionswirkung des Fluors sich im Verlauf der Ontogenese ändert. Zum auffallendsten Absinken der Produktion der Trockensubstanz kam es bei der Applizierung vor der Aussaat. Diese Tatsache ist mit der Wirkung von Fluor auf den Keimungsprozeß verbunden. Die Inhibitionswirkung von Fluor auf die Keimung der Samen erklären Chong - Chang (1968), Hauskrecht (1970), Hauskrecht und Navara (1970) mit der Bremswirkung des Fluors auf die enzymatische Hydrolyse des Phytins im Verlauf der Keimung. Fragen der natürlichen Widerstandsfähigkeit verschiedener Samen von Kulturpflanzen gegenüber der Inhibitionswirkung von Fluor auf die Keimung studierten einige meiner Mitarbeiter in ihren Arbeiten (Holub, Navara 1966, Navara u.Koll.1966, Navar, Holub 1968). Sie stellen fest, daß hier der natürliche Fluorgehalt eine wichtige Rolle spielen kann, ev. ein hoher natürlicher Aschegehalt, besonders der Ge-

Tabelle 1: Statistische Auswertung der Wirkung verschiedener Gaben von NaF appliziert in drei Phasen der Ontogenese auf die Trockensubstanzproduktion des überirdischen Teiles der Buchweizenpflanze.

Gabe	Applikation von NaF vor der Aussaat		Applikation von NaF zu Beginn der Blüte		Applikation von NaF zu Beginn der Fruchtbildung		Anmerkung	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s		
K.	15,095	0,798	3.0,399	0,995	3.0,047	1,400	3.0,700	-
a.	15,337	1,341	3.0,670	0,852	3.0,426	1,423	3.0,712	-
b.	15,393	1,943	3.0,972	1,516	3.0,758	2,898	3.1,449	-
c.	7,268	5,845	3.2,922	0,531	3.0,266	0,787	3.0,394	+

- = nicht bedeutsamer Unterschied

+ = bedeutsamer Unterschied

++ = hoch bedeutsamer Unterschied

K = Kontrolle

a = 20 mg F'/100 g Boden

b = 40 mg F'/100 g Boden

c = 80 mg F'/100 g Boden

Tabelle 2: Statistische Auswertung der Wirkung verschiedener Gaben KF appliziert in drei Phasen der Ontogenese auf die Trockensubstanzproduktion des oberirdischen Teiles der Buchweizenpflanze .

Gabe	Applikation von NaF vor der Aussaat			Applikation von NaF zu Beginn sinn. der Blüte			Applikation von NaF zu Beginn der Fruchtbildung			Anmerkung		
	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$			
K	14,467	1,251	1.0,626	K	14,230	0,758	3.0,379	K	14,143	0,646	3.0,323	
a	13,504	0,753	3.0,377	- a	13,980	0,446	3.0,223	- a	12,592	0,838	3.0,419	+
b	13,369	0,308	3.0,154	- b	13,542	0,649	3.0,325	- b	13,123	1,083	3.0,542	-
c	11,856	1,073	3.0,537	+ c	13,823	0,611	3.0,306	- c	12,313	3,055	3.1,528	-

- = nicht bedeutsamer Unterschied

a = 20 mg F' / 100 g Boden

+ = bedeutsamer Unterschied

b = 40 mg F' / 100 g Boden

K = Kontrolle

c = 80 mg F' / 100 g Boden

Tabelle 3: Statistische Auswertung der Wirkung verschiedener Gaben von  $\text{CaF}_2$  appliziert in drei Phasen der Ontogenese auf Trockensubstanzproduktion des oberirdischen Teiles der Buchweizenpflanze.

Applikation von $\text{CaF}_2$ vor der Aussaat			Applikation von $\text{CaF}_2$ zu Beginn der Blüte			Applikation von $\text{CaF}_2$ zu Beginn der Fruchtbildung			Anmerkung
Gabe	$\bar{x}$	s	Gabe	$\bar{x}$	s	Gabe	$\bar{x}$	s	
K	15,284	0,707	K	13,513	1,813	K	15,483	1,782	3.0,891
a	11,884	1,266	++ a	13,394	0,627	- a	14,505	0,818	3.0,409
b	12,106	2,381	+ b	13,798	1,204	- b	15,178	1,375	3.0,688
c	11,350	2,352	+ c	14,324	0,979	- c	14,175	1,356	3.0,678

- = nicht bedeutsamer Unterschied  
 + = bedeutsamer Unterschied  
 ++ = hoch bedeutsamer Unterschied

K = Kontrolle  
 a = 20 mg  $\text{F}'/100$  g Boden  
 b = 40 mg  $\text{F}'/100$  g Boden  
 c = 80 mg  $\text{F}'/100$  g Boden

halt an zweiwertigen Kationen. Aber eine Abhängigkeit der Widerstandsfähigkeit vom Mineralstoffgehalt kann nicht nur in keimenden Samen festgestellt werden, sondern auch in den überirdischen Teilen der Pflanze. Es ist bekannt, daß die Dynamik der Akkumulation von Mineralstoffen in den Assimilationsorganen im Verlauf der Ontogenese eine steigende Tendenz hat. Auch aus unseren Versuchsergebnissen geht hervor, daß die Widerstandsfähigkeit einer Pflanze oder eines Pflanzenorganes desto höher ist, je mehr die Pflanze in ontogenetischer Hinsicht entwickelt ist. Zu einer ähnlichen Ansicht kam auch Thomas (1961), der anführt, daß sich Fluor teilweise in löslicher und teilweise in unlöslicher Form befindet. Über die unlösliche Form des Fluors sollte, seiner Ansicht nach, der Aschengehalt entscheiden.

Die Bewertung der Veränderungen der Empfindlichkeit von Pflanzen gegenüber Fluor, der in den Boden appliziert worden war, ist sehr kompliziert, da es hier zu Begleiterscheinungen durch andere Elemente kommt (Na, K, Ca). Im Rahmen unserer Versuche erhielten wir die in negativer Hinsicht am meisten signifikanten Ergebnisse in der Trockensubstanzproduktion bei der Applikation von Fluor in der Form von Natriumfluorid. Die Applikation vor der Aussaat zeigte ihren negativen Einfluß erst bei einer Dosis von 80 mg/100 g Boden. Die Werte, die bei der NaF-Applikation im Verlauf des Auftretens der ersten Blüten gefunden wurden, weisen darauf hin, daß sich die Empfindlichkeit des Buchweizens in dieser Entwicklungsstufe erhöht, da das Absinken der Produktion der Trockensubstanz auch bei niedrigen Gaben statistisch bedeutsam war. Das Absinken der Trockensubstanzproduktion nach NaF-Applikation zu Beginn der Fruchtbildung war gleichfalls statistisch bedeutsam, auch wenn es nicht so auffallend war, wie im vorhergehenden Fall. Wir sind der Ansicht, daß das am meisten bedeutsame Absinken der Trockensubstanzproduktion bei der Applikation von NaF zu Beginn der Blüte gleichfalls mit einer erhöhten Akkumulation von Kationen in dieser ontogenetischen Phase der Pflanzen zusammen hängt. Natriumfluorid als gut dissoziierbare Verbindung ermöglicht eine große Mobilität auch in ihrer Kationenkomponen

te Na, auf deren negativen Einfluß die Arbeit von Gisiger (1964) hinweist.

Fluor in der Form von Kalium- und Kalziumfluorid rief eine statistisch bedeutsame Verminderung in der Trockensubstanzproduktion nur bei seiner Applikation vor der Aussaat hervor. Auch in diesem Falle sind wir der Ansicht, daß diese Verminderung durch die Wirkung von Fluor auf die Herabsetzung der Keimungsenergie verursacht worden war. (Im Falle von  $\text{CaF}_2$ , das ein sehr schwach dissozierbares, nur langsam freigesetztes Anion ist, konnte F auf die Verlangsamung des Längenwachstums einwirken). Eine mäßige Wirkung von  $\text{CaF}_2$  (manchmal sogar eine stimulierende), auf die Trockensubstanzproduktion von Pflanzen sieht Garber (1967) in der Begleitwirkung des Kalziums.

## 2.) EINFLUSS VON FLUORVERBINDUNGEN BEI IHRER APPLIKATION IN DAS BODENSUBSTRAT AUF DIE ZUNAHME DER TROCKENSUBSTANZ UND AUF DIE AUSBILDUNG DER BLATTFLÄCHE.

Thomas (1961) begaste verschiedene Pflanzenarten mit Fluorwasserstoff mit dem Ziel, diese in Gruppen je nach ihrer Empfindlichkeit gegenüber Fluor in der Atmosphäre einzureihen. Den Buchweizen reihte er unter die Pflanzen zweiter Klasse, d.h. unter die empfindlichen Pflanzen. Er stellt u.a. fest, daß die Empfindlichkeit keine artspezifische Eigenschaft ist, sondern sich im Rahmen der einzelnen Sorten ändert. Ziel unserer Arbeit war es, festzustellen, wie die einzelnen Pflanzen von Buchweizen einer Sorte auf die Anwesenheit von Fluor im Substrat reagieren.

Als Versuchspflanze diente wieder *Fagopyrum esculentum* M. (Sorte Doxanská). Als Substrat verwendeten wir Boden in einer analogen Zusammensetzung wie im vorhergehenden Versuch und die Pflanzen wurden wieder in Grünhausbedingungen herangezogen. In die Vegetationsgefäße wurde eine gleiche Anzahl von Samen ausgesät. Die Pflanzen wurden nach 8 Wochen sorgfältig vereinzelt, sodaß in jedem Gefäß 15 ungefähr gleichentwickelte Pflanzen verblieben. Am 20. Tag nach der Aussaat applizierten wir eine

Dosis von Fluor in der Form von  $\text{NaF}$  und  $\text{CaF}_2$  in Konzentrationen von 0, 20 und 40 mg F / 100 g Trockensubstanz des Bodens. Alle Varianten wurden in 4 Wiederholungen für 6 Probeentnahmen gezogen. Die Probeentnahmen begannen wir am 7. Tag nach der Applikation der Fluorverbindungen in das Bodensubstrat und setzten sie in Intervallen von 7 Tagen fort. Wir entnahmen jeweils den oberirdischen Teil der Pflanzen. Nach der Bestimmung des Frischgewichtes der gesamten Probe entnahmen wir für die Trockensubstanzbestimmung 5 durchschnittliche Individuen durch Zufallsauswahl von den Pflanzen, die nach ihrer Größe in Gruppen eingeteilt worden waren. Die so erlangten Werte rechneten wir auf eine, resp. auf die wirkliche Anzahl der Pflanzen um, die bis zur Ernte übriggeblieben waren. Für die Bestimmung der Blattfläche entnahmen wir jeweils eine repräsentative Pflanze aus der Wiederholung. Die Blattfläche wurde planimetriert. Aus den so erlangten Werten berechneten wir die Durchschnittswerte und den mittleren Fehler. (Vgl. Tab. 4-7).

Ähnlich wie im vorhergehenden Versuch, verzeichneten wir die markantesten Unterschiede in der Trockensubstanzproduktion nach der Applikation von Fluor in der Form von Natriumfluorid. Während die Trockensubstanz der nicht beeinflussten Pflanzen im Verlauf des beobachteten Zeitabschnittes (6 Probeentnahmen in 42 Tagen) in linearer Abhängigkeit von der Zeit zunimmt, sehen wir den negativen Einfluß von Fluor an den durch Natriumfluorid beeinflussten Pflanzen in ihrer Trockensubstanzproduktion bereits bei der ersten Probeentnahme, d.i. 7 Tage nach der Applikation der Dosis von 40 mg F / 100 g Boden. Die Trockensubstanzproduktion bleibt im Vergleich zur Kontrolle während des ganzen Versuchszeitabschnittes zurück, am auffallendsten aber in der zweiten und dritten Woche, was die markanten, statistisch bedeutsamen Unterschiede beweisen. In der zweiten Woche nach der  $\text{NaF}$ -Applikation zeigt die Trockensubstanzproduktion sogar schon bei einer Dosis von 20 mg F / 100 g Boden eine statistisch gesicherte Depression. In der 4., 5. und 6. Woche der Einwirkung kann eine Tendenz zum Ausgleich der Trockensubstanzproduktion der beeinflussten Pflanzen mit den Kon-

Tabelle 4: Gewicht der Trockensubstanz pro 1 Pflanze /g/

1. Probeentnahme			2. Probeentnahme			3. Probeentnahme		
Gabe	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$
K	0,301	0,047	0,522	0,065	0,739	0,739	0,101	3,0,051
a	0,273	0,047	0,419	0,045	0,631	+	0,106	3,0,053
b	0,226	0,024	0,305	0,038	0,446	++	0,106	3,0,053
c	0,300	0,057	0,460	0,027	0,719	-	0,073	3,0,037
d	0,291	0,026	0,508	0,077	0,692	-	0,045	3,0,023
Anmerkung								
4. Probeentnahme			5. Probeentnahme			6. Probeentnahme		
Gabe	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$
K	0,957	0,124	1,182	0,182	1,376	1,376	0,124	3,0,062
a	0,875	0,056	1,168	0,213	1,288	-	0,170	3,0,085
b	0,963	0,236	1,099	0,143	1,130	-	0,179	3,0,090
c	0,899	0,138	1,336	0,137	1,299	-	0,073	3,0,037
d	0,932	0,090	1,060	0,070	1,427	-	0,083	3,0,042
Anmerkung								

K = Kontrolle

a = 20 mg F<sup>+</sup>/100 g Boden /als NaF/

b = 40 mg F<sup>+</sup>/100 g Boden /als NaF/

c = 20 mg F<sup>+</sup>/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/

d = 40 mg F<sup>+</sup>/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/

- = Unterschied nicht bedeutsam

+ = Unterschied bedeutsam

++ = Unterschied hoch bedeutsam

Tabelle 5: Gewicht der Trockensubstanz umgerechnet auf die wirkliche Anzahl der Pflanzen /g/

Gabe	1. Probeentnahme			2. Probeentnahme			3. Probeentnahme			Anmerkeng
	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	
K	4,508	0,704	3.0,352	7,826	0,975	3.0,488	11,081	1,515	3.0,758	-
a	4,086	0,708	3.0,354	6,281	0,675	3.0,338	9,465	1,590	3.0,795	-
b	3,394	0,360	3.0,180	4,568	0,570	3.0,285	6,694	1,590	3.0,795	++
c	4,496	0,855	3.0,426	6,893	0,405	3.0,203	10,789	1,095	3.0,548	-
d	4,365	0,390	3.0,195	7,613	1,155	3.0,578	10,376	0,675	3.0,338	-

Gabe	4. Probeentnahme			5. Probeentnahme			6. Probeentnahme			Anmerkeng
	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	
K	14,348	1,862	3.0,931	17,723	2,728	3.1,364	20,640	1,860	3.0,930	-
a	12,503	1,865	3.0,933	15,299	4,283	3.2,142	18,568	1,636	3.0,812	-
b	8,308	1,605	3.0,803	10,054	0,780	3.0,390	10,069	3,149	3.1,575	++
c	13,489	2,065	3.1,033	20,044	2,061	3.1,031	19,481	1,088	3.0,544	-
d	13,973	1,346	3.0,673	15,900	1,152	3.0,576	21,401	1,242	3.0,621	-

K = Kontrolle  
a = 20 mg F/100 g Boden /als NaF/  
b = 40 mg F/100 g Boden /als NaF/  
c = 20 mg F/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/  
d = 40 mg F/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/  
- = Unterschied nicht bedeutsam  
+ = Unterschied bedeutsam  
++ = Unterschied hoch bedeutsam

Tabelle 6: Blattfläche pro 1 Pflanze /dm<sup>2</sup>/

1. Probeentnahme		2. Probeentnahme		3. Probeentnahme		4. Probeentnahme		5. Probeentnahme		6. Probeentnahme		
Gabe	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	Anmerkung	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	Anmerkung	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	Anmerkung
K	0,726	0,013	3,0,007	-	1,199	0,250	3,0,125	-	1,230	0,227	3,0,114	-
a	0,650	0,181	3,0,091	++	0,756	0,033	3,0,017	++	0,892	0,223	3,0,112	+
b	0,371	0,084	3,0,042	++	0,580	0,197	3,0,099	++	0,635	0,419	3,0,210	++
c	0,753	0,083	3,0,042	-	1,003	0,218	3,0,109	-	1,171	0,174	3,0,087	-
d	0,723	0,166	3,0,083	-	0,911	0,103	3,0,052	+	1,103	0,290	3,0,145	-

Gabe	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	Anmerkung	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	Anmerkung	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	Anmerkung
K	1,287	0,198	3,0,099	-	1,200	0,196	3,0,0,18	-	1,058	0,047	3,0,024	-
a	1,040	0,204	3,0,102	-	1,081	0,174	3,0,087	-	0,927	0,226	3,0,113	++
b	1,335	0,310	3,0,155	+	1,370	0,464	3,0,232	+	0,706	0,208	3,0,104	-
c	0,962	0,314	3,0,157	-	1,518	0,054	3,0,027	-	1,094	0,089	3,0,045	-
d	1,237	0,096	3,0,048	-	0,998	0,198	3,0,099	-	0,869	0,409	3,0,205	-

K = Kontrolle

a = 20 mg F'/100 g Boden /als NaF/

b = 40 mg F'/100 g Boden /als NaF/

c = 20 mg F'/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/

d = 40 mg F'/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/

- = Unterschied nicht bedeutsam

+ = Unterschied bedeutsam

++ = Unterschied hoch bedeutsam

Tabelle 7: Blattfläche umgerechnet auf die wirkliche Anzahl der Pflanzen /dm<sup>2</sup>/

Gabe	1. Probeentnahme			Anmerkung	2. Probeentnahme			Anmerkung	3. Probeentnahme			Anmerkung
	$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$		$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$		$\bar{x}$	s	s $\bar{x}$	
K	10,894	0,189	3.0,095		17,985	3,758	3.1,879		18,443	3,410	3.1,705	
a	9,754	2,720	3.1,360	-	11,348	0,485	3.0,243	++	13,380	3,343	3.1,672	+
b	5,565	1,263	3.0,632	++	8,695	2,953	3.1,477	++	9,521	6,299	3.3,150	++
c	11,295	1,252	3.0,626	-	15,045	3,265	3.1,633	-	17,569	2,610	3.1,305	-
d	10,849	2,485	3.1,243	-	13,665	1,548	3.0,774	+	16,538	4,350	3.2,175	-

Gabe	4. Probeentnahme			Anmerkung	5. Probeentnahme			Anmerkung	6. Probeentnahme			Anmerkung
	x	s	sx		x	s	sx		x	s	sx	
K	19,309	2,976	3.1,488		16,004	2,548	3.1,474		15,874	0,708	3.0,354	
a	14,852	3,609	3.1,805	+	14,297	4,496	3.2,248	-	13,555	3,903	3.1,952	-
b	11,924	4,295	3.2,148	++	12,484	3,662	3.1,631	+	6,379	2,809	3.1,405	++
c	14,434	4,721	3.2,361	+	22,770	0,811	3.0,405	+	16,414	1,334	3.0,667	-
d	18,548	1,436	3.0,718	-	14,974	2,970	3.1,485	-	13,039	6,135	3.3,068	-

K = Kontrolle

a = 20 mg F'/100 g Boden /als NaF/

b = 40 mg F'/100 g Boden /als NaF/

c = 20 mg F'/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/

d = 40 mg F'/100 g Boden /als CaF<sub>2</sub>/

- = Unterschied nicht bedeutsam

+ = Unterschied bedeutsam

++ = Unterschied hoch bedeutsam

trollpflanzen beobachtet werden, sodaß der Unterschied statistisch nicht signifikant ist. Dies ist aber nur relativ, da bei der Umrechnung der Produktion pro Gefäß sich die Differenz noch mehr vertieft, was eine Folge des Absterbens der weniger widerstandsfähigen Pflanzen ist.

Bei Applikation von Kalziumfluorid verzeichneten wir gewisse Abweichungen in der Trockensubstanzproduktion im Vergleich zu den Kontrollpflanzen, aber nur im Rahmen statistisch nicht bedeutsamer Unterschiede.

Die Ausbildung der Blattfläche der Kontrollpflanzen hat im Verlauf der ersten vier Wochen der Untersuchungen anfangs die Tendenz zu schnellerem, später zu langsamerem Wachstum. In der fünften und sechsten Woche kommt es zu einem allmählichen Absinken, augenscheinlich infolge des Abfalls der Keimblätter oder auch der echten Blätter im Verlauf der Alterung.

Der Einfluß von Natriumfluorid auf die Ausbildung der Blattfläche hatte eine ähnliche Tendenz wie der auf die Trockensubstanzproduktion. Die markantesten negativen Unterschiede im Vergleich mit den Kontrollpflanzen verzeichneten wir wiederum in der zweiten und dritten Woche der Fluoreinwirkung. In diesem Zeitabschnitt gipfelte anscheinend die Bildung von Nekrosen und der Abfall der nekrotischen Blätter. In der vierten und fünften Woche der Wirkung von in Form von Natriumfluorid appliziertem Fluor beobachteten wir eine markante Erhöhung der Bildung der Blattfläche, besonders nach größeren Fluorgaben, was sicher die Folge der Mobilisierung von Stoffwechselsystemen in der Regeneration ist. In der sechsten Woche der Untersuchung kommt es wieder zu einem relativ schnellen Absinken der Blattflächenbildung. Bei der Berechnung der ausgebildeten absoluten Blattfläche spielt außer der Bildung von Nekrosen auch das Absterben von Individuen eine Hauptrolle. Bei der Applikation von Fluor in der Form von Kalziumfluorid verzeichneten wir keinerlei statistisch bedeutsamen Unterschiede in der Blattflächenbildung, außer in zwei Fällen bei einer Dosis von 20 mg F / 100 mg Boden in der vierten und fünften Woche der Untersuchungen.

Aus unseren Versuchen geht hervor, daß auch im Rahmen einer Pflanzenart, ja sogar im Rahmen einer Sorte, eine gewisse Variabilität in der Widerstandsfähigkeit resp. Empfindlichkeit gegenüber dem im Boden vorhandenen Fluor existiert. Nach Kisser und Mitarb. (1962) beruht das Problem der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen in der Regenerationsfähigkeit des Protoplasmas. Im Rahmen unserer Versuche konnte im Verlauf der Beobachtungen in wöchentlichen Intervallen ein immer kleinerer Anteil der beschädigten Individuen an der repräsentativen Auswahl festgestellt werden, da diese nach und nach abstarben. Es blieben nur die Individuen, die zeitig genug den ungünstigen Fluoreinfluß steuern konnten und die sich im Verlauf der weiteren Entwicklung ihrer Trockensubstanzproduktion den Kontrollpflanzen angleichen. Diese Pflanzen übertreffen an individueller Trockensubstanzproduktion oft auch die Kontrollpflanzen.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Wirkung von Fluorverbindungen, die in das Bodensubstrat in verschiedenen Phasen der Ontogenese appliziert wurden, bewerteten wir nach den Ergebnissen der Trockensubstanzproduktion von Pflanzen der Art *Fagopyrum esculentum* M., Sorte Doxanská. Das markanteste Absinken der Trockensubstanzproduktion verzeichneten wir bei der Anwendung von NaF, ein geringeres bei der Applikation von KF und CaF<sub>2</sub>. Eine maximale Inhibitionswirkung zeigte sich bei NaF dann, wenn es zu Beginn der Blüte appliziert wurde.

Aus den Ergebnissen der Trockensubstanzzunahme und der Blattflächenbildung nach der Applikation von Fluoriden in den Boden geht hervor, daß sich die Widerstandsfähigkeit, resp. Empfindlichkeit der Pflanzen gegenüber der Anwesenheit von Fluor im Bodensubstrat auch im Rahmen einer Sorte verändert.

## SCHRIFTTUM

1. Bredemann G., 1956: Biochemie und Physiologie des Fluors.- 2. Aufl. Akademie-Verlag, Berlin.
2. Garber K., 1962: Pflanze und Fluor.- Qual. Plant. Mat.veget. IX, 33-44.
3. Garber K., Guderian R., Stratmann H., 1967: Untersuchungen über die Aufnahme von Fluor aus dem Boden durch Pflanzen.- Qual. Plant. et Mat. Veget., XIV, 3, 223-236.
4. Gericke S., Kurmies B., 1955: Fluorgehalt und Fluoraufnahme von Kulturpflanzen. Phosphorsäure, 15, 50-63.
5. Gisiger L., 1964: Versuche zur experimentellen Abklärung der Fluorschäden auf Pflanzen. In: T. Gordonoff: Toxikologie des Fluors, 164-178, Verlag Schwabe & Co., Stuttgart.
6. Gisiger L., 1968: The Solubility of Various Fluorine Compounds in Soil. Fluoride, Vol. 1., 21-26.
7. Guderian R., van Haut H., Stratmann H., 1969: Experimentelle Untersuchungen über pflanzenschädigende Fluorwasserstoff-Konzentrationen. Westdeutscher Verlag - Köln und Opladen, Nr. 2017, 3-54.
8. Hauskrecht I., 1970: Effect of NaF on the level of some Phosphates during germination of *Vicia faba* L. seeds. Biologia, 3.,
9. Hauskrecht I., Navara J., 1970: Effect of NaF on the enzymatic hydrolysis of hexaphosphate of myo-inositol in the course of germination of *Vicia faba* L. seeds. Paper for the Third Annual Conference of the International Society for Fluoride Research in Vienna, March 22-25, 1970. (manuscript).
10. Holub Z., Navara J., 1966: The protecting effect and influence of calcium, magnesium and phosphorus on the uptake of Fluorine by pea seeds. Biologia XXI, 3, 177-182.
11. Chong W. Chang, 1967: Study of phytase and fluorine effects in germinating corn seeds. Cereal Chemistry, Vol. 44, 2.

12. Kisser J., Bergmann-Lehnert I., Halbwachs G., 1962: Physiologische Ursachen charakteristischer Rauchschildigungssymptome. Wiss.Ztschr. d. Techn.Univ. Dresden, 11, 553-559.
13. Kudzin JU. K., Pašova V.T., 1970: O sodržanii ftora v počvach i rastenijach pri dlitel'nom primenenii udobrenij. Počvovedenie, No 2, 74-79.
14. Mc Intire W.H., Hardin L.J., Buehler M.H., 1958: Fluoride in Maury Country, Tennessee. Its occurrence and relationships in atmosphere, soils, vegetation and waters. Agr.Exp. Stat. Univ. Tennessee. Bull. Nr.279.
15. Navara J., Holub Z., Beďatšová Ľ., 1966: Effects of Fluorine on the germination of some species of seeds. Biológia XXI, 2, 89-97.
16. Navara J., Holub Z., 1968: Studium des Einflusses von Fluorexhalaten auf Pflanzen. Biologické práce XIV, 1, 1-100.
17. Thomas M.D., 1961: Effects of air pollution on plants.- In: Air pollution. World Health Organization, Geneva, Monograph Ser. 46, 233-278.

#### EFFECT OF FLUORINE COMPOUNDS ON THE DRY MATTER PRODUCTION OF BUCKWHEAT

BY IVAN HORVATH  
*Institute for Landscape Biology of the Slovak  
Academy of Sciences, Bratislava, Sienkiewiczova.*

The effect of fluorine compounds applied to the soil before sowing, at the start of flowering, and during the ripening of the first fruits, was evaluated by the dry-matter production of *Fagopyrum esculentum* M. (Doxanská variety). Application of fluorine in the rooting medium of the plants at different stages in their ontogeny gave results that indicated that the reduction in dry matter depended, *inter alia* on the form in which the fluorine was applied to the soil. In greenhouse conditions and on standard soil (quartz sand + hotbed soil in the ratio 1:2) the maximum inhibiting effect was found with sodium fluoride; the effect was less when fluorine was applied as potassium fluoride or calcium fluoride. It was also found that the reduction in dry-matter production was more marked when the individual fluorides were applied before sowing. Increasing the fluorine level in the soil during flowering and during ripening of the first fruits did not cause significant reductions in dry matter, except in the case of sodium fluoride. The maximum inhibition effect of sodium fluoride occurred when it was applied to the soil at the start of flowering; the effect was less when it was applied before sowing, and was not very significant when it was applied during the ripening of the first fruits.

An increase in dry matter and leaf area was observed after a single application of fluorine to the soil on the 20th day of growth, and this indicates that fluorine in the form of calcium fluoride does not significantly affect the physiological processes of buckwheat during six weeks after application. The effect of sodium fluoride is quite different. The occurrence of necrotic leaves and the dying of the most susceptible individuals were associated with a significant decrease in the formation of leaf surface area and with the reduction of dry-matter production in all the treatments in which fluorine had been applied. During the several weeks of observation it was seen that the treatments selected the most resistant individuals, and in their individual production (as regards dry matter or leaf area) they equalled or often even surpassed the control plants. This enables us to postulate that the resistance or susceptibility of the buckwheat plants to fluorine in the soil is very variable even within a single variety.



# ZUR WIRKUNGSWEISE DER SCHADSTOFFE DER EINFLUSS VON SO<sub>2</sub> AUF BLATTFARBSTOFFE<sup>x)</sup>

von

H. G. DÄSSLER

Technische Universität Dresden, Sektion Forstwirtschaft,  
Bereich Pflanzenchemie

Erste, äußerlich sichtbare Symptome einer akuten Schädigung an Pflanzen in Immissionsgebieten sind bekanntlich chlorotische oder nekrotische Flecken im Blattgewebe. Durch Spaltöffnungen oder über die Ekdodesmen eingedrungene Schadstoffe greifen Schwamm- und Palisadenzellen an, rufen im photosynthetisch aktiven Gewebe Veränderungen hervor und führen in Abhängigkeit von Licht und Temperatur zur Ausbildung diffuser oder scharf abgegrenzter, meist brauner Nekrosen. Das äußere Erscheinungsbild läßt also vermuten, daß in diesen Gewebeteilen der grüne Blattfarbstoff unter dem Einfluß des Schadstoffes Veränderungen erfahren hat.

Bereits WISLICENUS (1914) und STOKLASA (1923) befaßten sich mit diesen Vorgängen eingehend und stellten fest, daß unter SO<sub>2</sub>-Einfluß im Spektrum des grünen Blattfarbstoffes sehr bald Verschiebungen eintreten, die auf einen Abbau zum olivbraunen Phäophytin oder auf eine Spaltung des Chlorophylls in Phytol und, wie sie annahmen, die magnesiumfreie Säure Chlorophyllin hinweisen. Die Auslösung dieser Erscheinung ist nach NOACK (1929) mit einer Abbin-  

---

dung des Chloroplasteisens durch SO<sub>2</sub> verknüpft. Die Maskierung des Eisens hat nach seiner Meinung eine Ablenkung der photochemischen Energie vom normalen Akzeptor CO<sub>2</sub> auf den Blattfarbstoff selbst und das Zellplasma zur Folge.

x) Mitteilung Nr.102 der AG Forstliche Rauchschaden-  
forschung Tharandt

Unter Sauerstoffverbrauch tritt Ausbleichen des Farbstoffes und Zelltod ein.

Der spektroskopische Nachweis der Phäophytinbildung soll sich nun nach DÖRRIES (1932) zur Diagnose von  $\text{SO}_2$ -Schädigungen eignen, da Phäophytin nur im akuten Schädigungsbereich durch Säurewirkung des  $\text{SO}_2$  entsteht, nicht aber in herbstlich verfärbten oder vorsichtig getrockneten Blättern gebildet wird. Diese Annahme wurde auch durch eine Reihe weiterer Untersuchungen gestützt. Auf die Umwandlung des Chlorophylls in Phäophytin als wesentlichste Veränderung in rauchbeeinflussten Pflanzen verwiesen BETHGE (1957/58) und BÜSSCHER (1958). BETHGE ging sogar so weit, aus der Säureempfindlichkeit acetonischer Chlorophyll-extrakte Rückschlüsse auf die Rauchhärte einzelner Pflanzenarten ziehen zu wollen.

Bei papierchromatographischen Untersuchungen an Pigment-extrakten begaster Zweige von *Abies alba* stellte MÜLLER (1957) einen bevorzugten Abbau von Chlorophyll und damit eine Verschiebung des Chlorophyll a- zu Chlorophyll b-Verhältnisses fest. Diese Anteilverschiebung war bei trocken- oder frostgeschädigten Nadeln nicht zu beobachten. Demgegenüber fand M. WARTERESIEWICZ (1968) auf Grund von Freilandversuchen, daß durch Rauchgaswirkung das Chlorophyll a- zu Chlorophyll b- Verhältnis keine signifikante Veränderung erfährt. Durch Untersuchungen von MAMAEV und NIKOLAEVSKI (1968) wurde darüber hinaus bekannt, daß sowohl in nekrotischen als auch in scheinbar ungeschädigten Gewebeteilen Chlorophyll a, Chlorophyll b und Carotin vorhanden sind. Die Chlorophylle sollen jedoch in Phäophytine umgewandelt werden.

Aus den bisherigen biochemischen Untersuchungen sind also nur allgemeine Kenntnisse über Verteilung oder Veränderung der wesentlichen Pigmentanteile bekannt. Es wurde deshalb der Versuch unternommen, durch Erfassung von Abbauprodukten mit Hilfe der Zirkular- und Dünnschichtchromatographie weitere Aussagen über das Verhalten der Pigmentkomponenten

unter  $\text{SO}_2$ -Einfluß zu erhalten.

Bei der Untersuchung des Schädgaseinflusses auf Pflanzenfarbstoffe kann der natürliche Chlorophyllabbau nicht unberücksichtigt bleiben. Bekanntlich erleiden alle grünen Pflanzen beim Altern, bei der Aufarbeitung oder beim Lagern Verlust an Chlorophyll. Wegen der größeren Reaktionsfreudigkeit wird dabei Chlorophyll a schneller abgebaut als Chlorophyll b. Über diese biologischen Vorgänge ist allerdings noch wenig bekannt. Als erster Schritt wird eine Abspaltung von Magnesium und eine Bildung von Phäophytin angenommen, da Phäophytin in allen Blattextrakten nachzuweisen ist. Ob es allerdings auch in vivo vorhanden ist oder nur bei der Isolierung gebildet wird, konnte bisher noch nicht sicher entschieden werden. Andererseits wurden auch Vermutungen geäußert, daß als erster Schritt des Chlorophyllabbaus die enzymatische Abspaltung der Phytolgruppe durch das Enzym Chlorophyllase erfolgt.

Die Tatsache, daß definierte Abbauprodukte bisher kaum isoliert werden konnten, läßt auf einen außerordentlich schnellen Verlauf der Blattfarbstoffveränderung schließen. Wie bekannt wurde, handelt es sich auf jeden Fall um Oxidationsprozesse, Stickstoffatmosphäre schränkt den Chlorophyllabbau wesentlich ein.

#### MATERIAL UND METHODIK

Da diese Reaktionsabläufe in der Pflanze unübersichtlich und schwer zu erfassen sind, wurde zunächst in Modellversuchen die Wirkung des  $\text{SO}_2$  an isolierten Blattpigmenten untersucht. Dazu ließen wir Lösungen von  $\text{SO}_2$  in Benzol oder Chloroform auf Pigmentgemische oder einzelne Pigmente im gleichen Lösungsmittel einwirken und verfolgten die Veränderungen mit Hilfe der Dünnschichtchromatographie und mit spektrophotometrischen Methoden.

Zur weiteren Untersuchung der Pigmentveränderung im Blattmaterial wurden 5jährige getopfte Fichten in Begasungs-

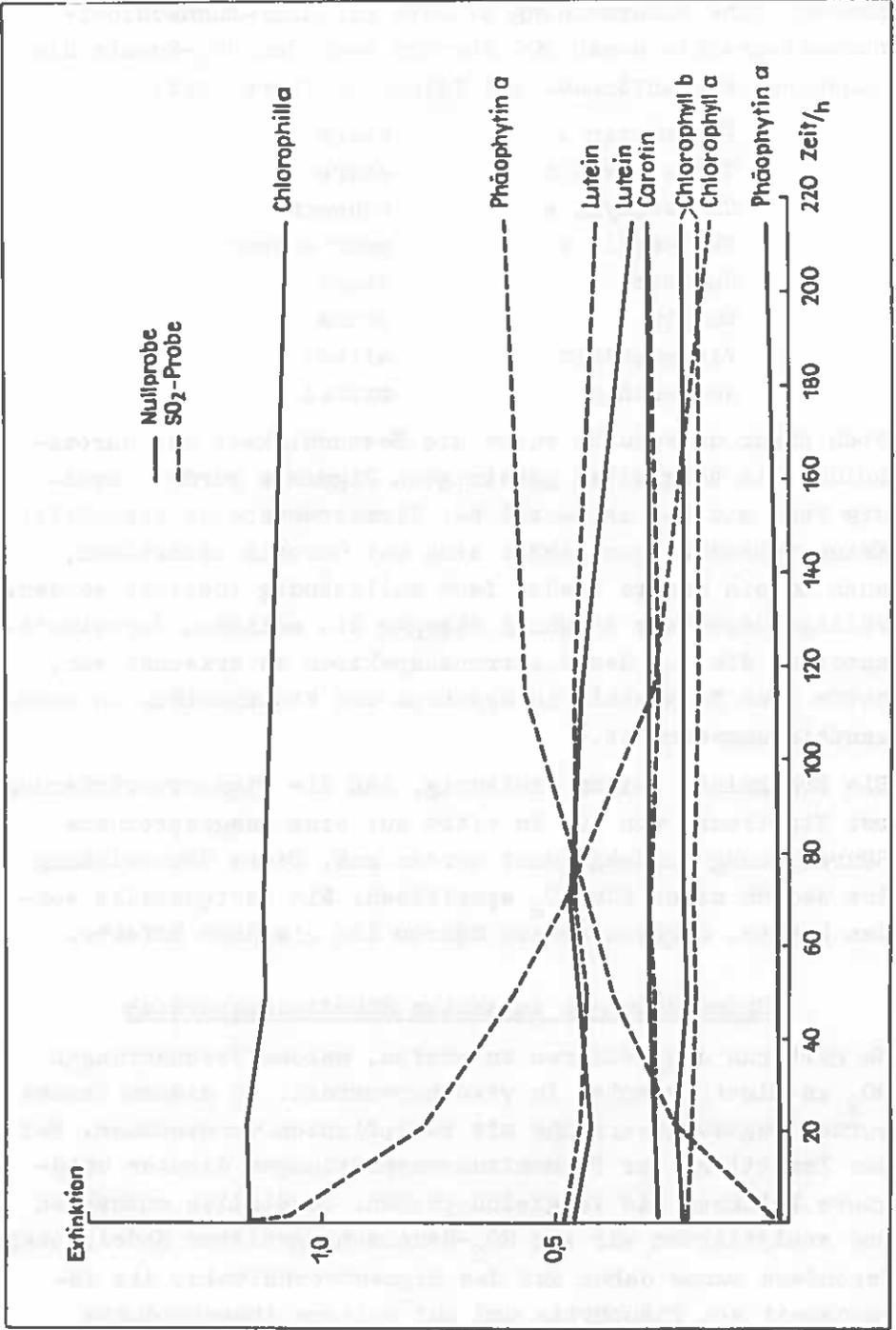
kabinen definierten Luft-SO<sub>2</sub>-Gemischen ausgesetzt. Die Entnahme der Nadeln erfolgte immer zur gleichen Tageszeit, um Schwankungen des Pigmentspiegels zu eliminieren. Die Nadelproben wurden nach der Entnahme zerkleinert, mit Quarzsand und etwas Magnesiumkarbonat im Mörser zerrieben und mit 100 %igem Aceton extrahiert, bis der Rückstand farblos war. Das Einengen des Extraktes erfolgte im Rotationsvakuumverdampfer.

Die Dünnschichtchromatographie der Chloroplastenpigmente führten wir auf Platten mit Zellulosepulver MN 300 durch. Nach Übertragen von 0.5 bzw. 1.0 ml des Pigmentextraktes und kurzer Vorentwicklung in Aceton wurde die Platte mit Hexan-Aceton-Propanol-Gemischen entwickelt. Die Auswertung der Chromatogramme erfolgte visuell, die Kennzeichnung der Banden von Chlorophyllderivaten teilweise im UV-Licht. Zur quantitativen Bestimmung wurden die einzelnen Banden von der Platte entfernt und mit einem geeigneten Lösungsmittel in 5- bzw. 10-ml-Maßkölbchen eluiert. Für die Chlorophylle und die Xanthophylle diente Äthanol als Elutionsmittel. Für Carotin-n Hexan, für die Phäophytine Aceton. Die Eluate der einzelnen Pigmente wurden spektrophotometrisch bei ihren Extinktionsmaxima bestimmt. Die Extinktionskoeffizienten wurden der Literatur entnommen.

#### Umsetzung von SO<sub>2</sub> mit isolierten Blattpigmenten

Wenige Stunden nach Zugabe von SO<sub>2</sub> war die Farbe der Pigmentextrakte von grün nach graugelb umgeschlagen. Im Dünnschichtchromatogramm ließen sich Carotin, Lutein, Violaxanthin und Neoxanthin unverändert nachweisen, Chlorophyll a dagegen war in Phäophytin a, Chlorophyll b nicht vollständig in Phäophytin b umgewandelt. Bei Anwendung geringerer SO<sub>2</sub>-Konzentrationen konnte der Abbau sehr gut quantitativ verfolgt werden. Die Ergebnisse sind in Abb. 1 zusammengefaßt.

Auch nach langanhaltender SO<sub>2</sub>-Einwirkung waren weder Chlorophyllide noch Phäophorbide in der Reaktionslösung vor-



handen. Eine Untersuchung mittels Zirkular-Dünnschicht-chromatographie ergab 200 Stunden nach dem SO<sub>2</sub>-Zusatz die einzelnen Pigmentbanden mit folgender Intensität:

Phäophytin a	stark
Chlorophyll b	stark
Chlorophyll a	schwach
Phäophytin b	sehr schwach
Carotin	stark
Lutein	stark
Violaxanthin	mittel
Neoxanthin	mittel

Noch näher untersucht wurde die Beständigkeit der Carotinoide. Die sorgfältig gereinigten Pigmente wurden zwanzig Tage mit SO<sub>2</sub> in Benzol bei Zimmertemperatur behandelt. Keine Veränderungen ließen sich bei Carotin nachweisen, auch Lutein konnte wieder fast vollständig isoliert werden. Völlige Umsetzung erfuhren dagegen die weiteren Carotinoidanteile. Wie aus den Elektronenspektren zu erkennen war, hatte sich Neoxanthin in Neochrom und Violaxanthin in Auroxanthin umgewandelt.

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, daß die Pigmentveränderung bei Einwirkung von SO<sub>2</sub> in vitro auf eine ausgesprochene Säurewirkung zurückgeführt werden muß. Diese Säurewirkung ist jedoch nicht für SO<sub>2</sub> spezifisch. Wie festgestellt werden konnte, ergeben andere Säuren die gleichen Effekte.

#### Untersuchungen im akuten Schädigungsbereich

Es galt nun des weiteren zu prüfen, welche Veränderungen SO<sub>2</sub> an Blattpigmenten in vivo hervorruft. Zu diesem Zwecke wurden Begasungsversuche mit Testpflanzen vorgenommen. Bei der Ermittlung der Pigmentzusammensetzungen dienten unbegaste Pflanzen als Vergleichsproben. Zusätzlich entnahmen und analysierten wir aus SO<sub>2</sub>-Rauchschadgebieten Nadelproben. Besonders wurde dabei auf das Pigmentverhältnis, die Anwesenheit von Phäophytin und auf weitere Abbauprodukte

In der Abb. 2 sind die Ergebnisse eines Begasungsversuches mit *Picea abies* zusammengestellt. Die Versuchspflanzen wurden bis zum Auftreten von Spitzennekrosen mit 1,2 ppm  $\text{SO}_2$  begast. Untersucht wurde der letzte Nadeljahrgang. Die angegebenen Werte beziehen sich auf g/Frischgewicht.

In den nekrotischen Gewebeteilen sind alle Pigmentanteile durch die  $\text{SO}_2$ -Einwirkung betroffen. Während das Chlorophyll a- zu Phäophytin a-Verhältnis deutlich absinkt, ist eine Änderung des Chlorophyll a- zu Chlorophyll b-Verhältnis nicht nachzuweisen. Die geringe Zunahme an Phäophytin a ist darüber hinaus nicht dem Rückgang an Chlorophyll a äquivalent. Diese Tatsache spricht gegen die Annahme, dem Pigmentabbau in vivo liege ebenfalls eine Säurewirkung des  $\text{SO}_2$  zugrunde. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß Phäophytin b trotz merklicher Chlorophyll b-Abnahme nicht aufzufinden war.

Im Acetonextrakt nekrotischer Nadelteile konnte nur ein Carotinoid, das Lutein, nachgewiesen werden. Nach Auftrennung des Extraktes durch Gelfiltration ließen sich sechs Chlorophyll-Abbauprodukte nachweisen: Phäophytin a und b, Phäophorbid a und b und zwei weitere, deren Struktur zur Zeit von uns untersucht wird. Die gleichen Abbauprodukte wurden in nekrotischen Nadelteilen aus Rauchschadengebieten aufgefunden. Um festzustellen, ob das Auftreten dieser Verbindungen für eine  $\text{SO}_2$ -Einwirkung spezifisch ist, wurden nekrotische Teile HF-geschädigter und  $\text{SO}_3$ -geschädigter Nadeln aufgearbeitet. Dabei erhielten wir die gleichen Abbauprodukte der Chlorophylle.

In den grünen Nadelteilen der rauchgeschädigten Pflanzen sowie in den gesunden Nadeln unterschieden sich dagegen die Gesamtmenge an Chloroplastpigmenten und die Relation der einzelnen Pigmentbestandteile zueinander nur wenig. Auch hier war Phäophytin b nicht nachzuweisen.

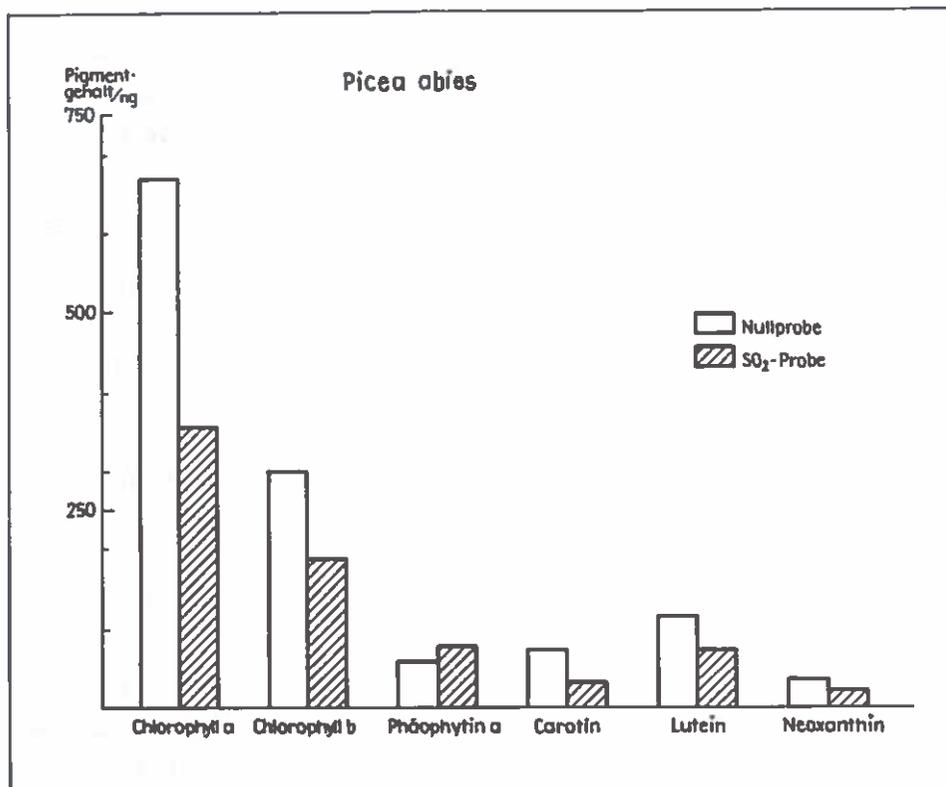


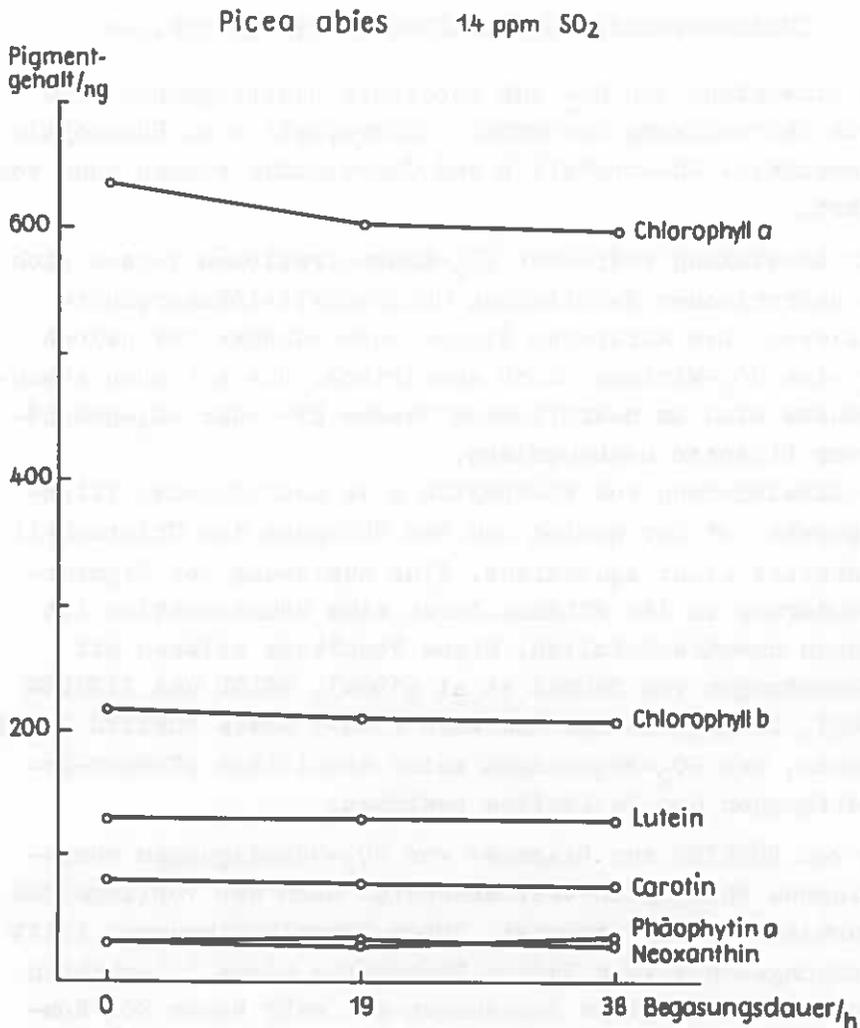
Abb. 2

#### Untersuchungen im chronischen Schädigungsbereich

Anders waren die Verhältnisse, wenn die begasten Nadeln noch keine sichtbaren Schädigungen durch SO<sub>2</sub>-Einwirkung zeigten. Versuchsmaterial war wiederum *Picea abies*. Die Probenahme erfolgte nach 0, 19 und 38 Stunden Begasung mit 1,4 ppm SO<sub>2</sub> (Abb. 3).

Der Pigmentspiegel bleibt nahezu unverändert, solange weder Nekrosen noch Chlorosen auftreten. Die Blattpigmentanalyse ist demnach nicht imstande, Hinweise auf unsicht-

bare Schädigungen zu liefern. Außer dem begasten Pflanzenmaterial wurden Nadelproben aus Rauchschadgebieten untersucht. Aus der Schadzone 1 des Schadgebietes Dübener Heide wurden Nadeln von *Picea abies* und *Pinus silvestris* entnommen. Als Vergleichsproben diente Nadelmaterial aus einem



nichtgeschädigten Revier mit gleichem Standortverhältnis. Bei *Pinus silvestris* bestehen geringe Unterschiede nur bei Chlorophyll a, Carotin und Lutein. Im wesentlichen lag die Menge der Blattpigmente nur unbedeutend unter der der unbeeinflussten Pflanzen. In keinem Falle war eine Erhöhung des Phäophytin a festzustellen, das Chlorophyll a- zu Chlorophyll b- Verhältnis blieb unverändert.

#### ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bei Einwirkung von  $\text{SO}_2$  auf isolierte Blattpigmente wird durch Säurewirkung bevorzugt Chlorophyll a zu Phäophytin a umgewandelt. Chlorophyll b und Carotinoide werden kaum verändert.

Nach Einwirkung stärkerer  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen lassen sich aus nekrotischen Nadelteilen Chlorophyll-Abbauprodukte isolieren. Das Auftreten dieser Verbindungen ist jedoch für eine  $\text{SO}_2$ -Wirkung nicht spezifisch. Die gleichen Abbauprodukte sind im nekrotischen Gewebe HF- oder  $\text{SO}_3$ -geschädigter Pflanzen nachzuweisen.

Die Anreicherung von Phäophytin a im nekrotischen Pflanzengewebe ist nur gering und dem Rückgang des Chlorophyll a-Gehaltes nicht äquivalent. Eine Auslösung der Pigmentveränderung in der Pflanze durch eine Säurereaktion ist demnach unwahrscheinlich. Diese Resultate stimmen mit Beobachtungen von THOMAS et al (1944), WEIGL und ZIEGLER (1962), DIJKSHOORN und VAN WIJK (1967) sowie BÖRTITZ (1969) überein, daß  $\text{SO}_2$ -Begasungen keine deutlichen pH-Wert-Erniedrigungen des Zellsaftes bewirken.

Der von DÖRRIES zur Diagnose von  $\text{SO}_2$ -Schädigungen vorgeschlagene Phäophytin-test erscheint nach den vorliegenden Ergebnissen wenig geeignet. Unter Normalbedingungen tritt in rauchgeschädigten Nadeln Phäophytin nicht in erhöhten Mengen auf. Lediglich Begasungen mit sehr hohen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen (10 ppm) führen zur vermehrten Phäophytinbildung aus Chlorophyll. Derartige  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen haben

jedoch für die Rauchscha-denpraxis keine Bedeutung.

Die von MÜLLER ermittelte Erniedrigung des Chlorophyll a-zu Chlorophyll b-Verhältnisses in rauchgeschädigtem Pflanzenmaterial hält einer genauen Untersuchung mit modernen analytischen Methoden nicht stand. Das Chlorophyll b erweist sich gegenüber einer SO<sub>2</sub>-Einwirkung nicht resistenter als Chlorophyll a. Diese Feststellung entspricht auch den Untersuchungsbefunden verschiedener Autoren über den herbstlichen Chlorophyllabbau in Laubblättern, die eine Konstanz des Chlorophyll a : b - Verhältnisses bis kurz vor dem Laubabwurf beobachteten. (GOODWIN (1956), SCHULZE (1956/57), SPECHT-JÜRGENSEN (1965)).

Die phytotoxische Wirkung des Schwefeldioxids kann demnach nicht primär in der Zerstörung des Chlorophyll bestehen. Rückgang und Abbau der Blattpigmente resultieren vielmehr aus Absterbevorgängen des Blattgewebes. Weitere interessante Hinweise sind aus Untersuchungen über den Bindungszustand der Chlorophylle im Blatt sowie über die Stabilität des Pigment-Proteinkomplexes bei SO<sub>2</sub>-Einfluß zu erwarten. Einzelheiten können erst nach Abschluß der Versuche mitgeteilt werden.

An der Durchführung der vorgetragenen Untersuchungen hat Herr Dipl.-Chem. SCHENK, dem an dieser Stelle für seine umsichtige Arbeitsweise gedankt sei, maßgeblichen Anteil.

#### LITERATUR

- BETHGE, H. (1957/58): Spektralphotometrische Untersuchungen rauchgeschädigter Pflanzen  
Außenluftthygiene 1.Folge 1957  
Nr. 12, 3-22  
2.Folge 1958  
Nr. 13, 3-10

- BÖRTITZ, S. (1969): Analysen einiger Nadelinhaltsstoffe an Fichten aus einem Schadgebiet  
Arch. Forstwesen 18, 123-124

- DIJKSHOORN, W. u.  
VAN WIJK, A.L. (1957): The Sulphur Requirements of Plants as Evidenced by the Sulphur-Nitrogen Ratio in the Organic Matter Plant and Spoils 26, 129-157
- DÖRRIES, W. (1932): Über die Brauchbarkeit der spektroskopischen Phäophytinprobe in der Rauchschedendiagnostik, Zeitschrift f. Pflanzensch. u. Pflanzenkrankheiten 42, 257-273
- EWERT, R. (1916): Die Ermittlung der in Teerdämpfen enthaltenen pflanzenschädlichen Bestandteile und die Unterscheidung ihrer Wirkung von anderen akuten Rauchbeschädigungen der Pflanzen, Landwirtsch. Jahrbuch 50, 810
- GOODWIN, T.W. (1958) The Changes in Caratenoid and Chlorophyll Pigments in the Leaves of Deciduous Trees during Autumn Necrosis  
Biochem. J. 68, 503-511
- MAMAEV, S.A. u.  
NIKOLAEVSKIJ, W.S. (1968): Einige Besonderheiten der Beschädigung von Keimlingen der gemeinen Kiefer durch SO<sub>2</sub> Trudi Inst. Ekol. Rast. u. Schfw., Akad. Nauk. SSSR, Uralsk. Fil., 203-207
- MÜLLER, J. (1957): Spezifischer Nachweis von SO<sub>2</sub>-Rauchschäden an Pflanzen mit Hilfe von Blattpigmentanalysen Naturwissenschaften 44, 453
- NOACK, K. (1929): Untersuchungen über die Rauchgasschäden der Vegetation Angew. Chemie 42, 123
- SPECHT-JÜRGENSEN, I. (1965): Untersuchungen über Stickstoffverbindungen und Chlorophyll während des Vergilbens intakter und isolierter Blätter von Ginkgo biloba. Dissertation, Bonn 1965
- STOKLASA, J. (1923): Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabriksexhalationen  
Berlin 1923, 139 u. 144
- THOMAS, M.D., HENDRICKS, R.H. u. HILL, G.R. (1944): Some chemical reactions of SO<sub>2</sub> after absorption by alfalfa and

- WARTERESIEWICZ, M. (1968): Einfluß der Luftverunreinigungen auf Pflanzen in der Nähe einiger Zinkhütten Ref. VI. Intern. Arbeitstagung forstl. Rauchsachverständiger, Katowice 1968, 185-195
- WEIGL, I. u. ZIEGLER, H. Die räumliche Verteilung von  $^{35}\text{S}$  und die Art der markierten Verbindungen in Spinatblättern nach Begasung mit  $^{35}\text{SO}_2$  Planta 58, 435-439<sup>2</sup>
- WISLICENUS, H. (1914): Experimentelle Rauchsäden, Berlin 1914, 55

THE MODE OF ACTION OF POLLUTANTS  
THE INFLUENCE OF  $\text{SO}_2$  ON LEAF PIGMENTS

BY H. G. DÄSSLER

Tech. Universität Dresden, Sektion Forstwirtschaft  
Tharand Bereich Pflanzenshemie, DDR

Contradictory data in the literature on the effect of  $\text{SO}_2$  on leaf pigments caused us to make investigations on this set of problems. The influence of  $\text{SO}_2$  on leaf pigments *in vitro* is based on an acid effect of the sulphuric acid. The chlorophylls are transformed into the corresponding phaeophytins. The epoxycarotinoids are converted into pigments with a furanoid structure, neochrome is formed from neoxanthin, and auroxanthin from violaxanthin.

Experimental exposure of conifers to fumes produced a general reduction in the content of pigments in the needles, but this did not become significant until necrosis formation was evident. The small increase in the content of phaeophytin-a was not equivalent to the reduction in chlorophyll-a.

Needle samples from areas of natural fume damage gave quite different values. In no case could the results of the *in vitro* experiments be confirmed.

Investigations on necrotic parts of needles and the chlorophyll breakdown products determined are described.

D I S K U S S I O N

ZAHN:

Aus meiner eigenen Erfahrung möchte ich sagen, daß das Verhältnis von Chlorophyll a zu Chlorophyll b recht unterschiedlich ist und man keinesfalls eine konstante Relation annehmen kann, wie das seinerzeit von WILLSTÄTTER

und STOLL angenommen worden ist. In sehr speziellen Fällen kann der Chlorophylltest einen gewissen Anhalt geben, für Rauchscheidensuntersuchungen glaube ich, ist der Test jedoch nicht besonders gut geeignet.

ARNDT:

Wir zielen auf die Anwendung einer bestimmten Testpflanze beim Chlorophylltest hin. Wir hoffen, daß wir bei einer bestimmten Testpflanze die Pigmentanalyse anwenden können und wirklich eine Aussage haben werden.

STEUBING:

Bei eigenen Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Verringerung des Quotienten  $\frac{a}{b}$  nicht  $SO_2$  spezifisch ist, sondern auch bei Einwirkung verschiedener Stäube auftritt.

GODZIK:

Bei Chlorophyll-Untersuchungen an Quercus konnten wir in größerer Entfernung von einer Kupferhütte ein Chlorophyllverhältnis von a zu b von 1: 3,3 bis 1: 3,5 finden. Wo bereits Nekrosen auftraten, lag das Verhältnis bei 1: 3,79; hier war aber der Chlorophyllgehalt viel niedriger.

ZELLPHYSIOLOGISCHE UND BIOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN  
AN SO<sub>2</sub>-BEGASTEN FICHTENNADELN  
RESISTENZ UND PUFFERKAPAZITÄT

von

Dieter GRILL und Otto HÄRTEL

Institut für Anatomie und Physiologie der Pflanzen an der  
Universität Graz

EINLEITUNG

Schädigungen der pflanzlichen Gewebe nach Einwirkung von SO<sub>2</sub> treten am ehesten und stärksten in der Umgebung der Spaltöffnungen, der Eintrittspforten des giftigen Gases, auf (NEGER & LAKON 1914). Die weitere Ausbreitung der Schadenssymptome und damit die äußerlich erkennbaren Schadensbilder werden nach KISSER, BERGMANN-LEHNERT und HALBWACHS (1962) und HALBWACHS (1963) durch den Transpirationsstrom bestimmt, durch den die schädigenden Stoffe in bestimmten Blattpartien angereichert werden. Über die quantitativen Anteile der geschädigten Zellen in den Geweben in Abhängigkeit von der Schadstoffkonzentration ist aber noch kaum Näheres bekannt.

Um darüber Aufschluß zu erhalten, wurden Fichtenzweige in Gaskammern verschiedenen SO<sub>2</sub>-Konzentrationen ausgesetzt und die Anteile der geschädigten Gewebe an gesunden Nadeln und an solchen aus einem Rauchschadensgebiet festgestellt; ferner wurde versucht, die gefundenen Veränderungen mit den Aziditätseigenschaften des Zellinhaltes in Zusammenhang zu bringen. Die Versuche wurden von 1966 - 1970 von Dr.D.GRILL am Institut für Anatomie und Physiologie der Pflanzen durchgeführt.

MATERIAL UND METHODE

Zweigproben von gesunden Fichten wurden in <sup>+</sup> abgasfreiem Gebiet am Stadtrand von Graz gesammelt, rauchschadenkranke stammten

aus dem obersteirischen Industriegebiet. Außerdem wurden Fichten aus dem Botanischen Garten der Universität Graz, wo sie der Großstadtatmosphäre ausgesetzt sind, herangezogen.

Die Zweige wurden nach einer an unserem Institut von MIKLAU (1965, unveröff.) entwickelten Methode begast. Die Proben kamen unter abgedichtete Glasglocken, unter die flache Schalen mit  $\text{NaHSO}_3$ -Lösungen aufgestellt waren. Durch Diffusion des  $\text{SO}_2$  aus der Lösung stellt sich eine von der Temperatur abhängige Gleichgewichts-Konzentration von  $\text{SO}_2$  innerhalb der Glocke ein. Durch Wahl verschieden konzentrierter Sulfitlösungen konnte der  $\text{SO}_2$ -Gehalt der Luft in den Glocken zwischen weiten Grenzen variiert werden. Ein unter der Glocke aufgestelltes zweites Schälchen mit aqua dest., in dem sich  $\text{SO}_2$  zum Gleichgewicht mit dem  $\text{SO}_2$ -Gehalt der Luft anreichert, erlaubte an Hand einer aufgenommenen Eichkurve (PRELICZ 1968, unveröff.) die Schätzung des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes der Luft in der Glocke. Die Reproduzierbarkeit der Werte hängt in erster Linie von der Temperaturkonstanz ab, weshalb die Begasungsversuche größtenteils in einem Klimaschrank (Heräus) durchgeführt wurden. Die Begasungszeit betrug einheitlich 24 Stunden.

Der Lebenszustand der Zellen - es wurde nur das Assimilationsparenchym der Nadeln geprüft - wurde an Handschnitten nach ihrer Plasmolysierbarkeit in 2n-Traubenzuckerlösung beurteilt. Die hohe Konzentration der Zuckerlösung gestattete es, zu allen Jahreszeiten Plasmolyse herbeizuführen.

Zur Messung der Azidität der Zellinhalte wurden 2 g frische Nadeln mit etwas Wasser im Ultraturrax homogenisiert und das Homogenisat auf 20 ml aufgefüllt. Die pH-Werte wurden mittels Glaselektrode und einem Beckman pH-Meter H-3 gemessen. Titriert wurde mit einem Metrohm-Dosimat, die Pufferkurven wurden größtenteils mit einem Servogor-Potentiometerschreiber (Goerz) aufgezeichnet.

Es bedarf kaum besonderer Erwähnung, daß die Nadeln so rasch als möglich nach dem Einsammeln, auf alle Fälle noch am gleichen Tage, aufgearbeitet wurden.

Topographie und quantitativer Anteil geschädigter Zellen  
in SO<sub>2</sub>-begasten Fichtennadeln

An den wie beschrieben begasten Fichtennadeln kann man entsprechend den Angaben von NEGER & LAKON (1914) beobachten, daß die Zellschädigung von den Spaltöffnungen ausgeht. Die weitere Ausbreitung der abgestorbenen Zellen hängt jedoch sehr von den Lichtverhältnissen ab, unter denen die Nadeln herangewachsen waren. In Sonnennadeln bleibt das Areal der geschädigten Zellen auf die Umgebung der Eintrittspforten beschränkt, nur gelegentlich erreicht es innerhalb der Begasungsdauer den Zentralzylinder (Abb. 1a). In Schattennadeln dagegen dringt die Zellschädigung in breiter Front bis an den Zentralzylinder vor (Abb. 1c). Nadeln aus mittleren Lichtverhältnissen, also weder ausgesprochene Sonnen- noch Schattennadeln, nehmen eine Zwischenstellung ein (Abb. 1b). Die Ursache des verschiedenen Verhaltens ist zweifellos die Luftwegigkeit des Interzellularsystems, das die

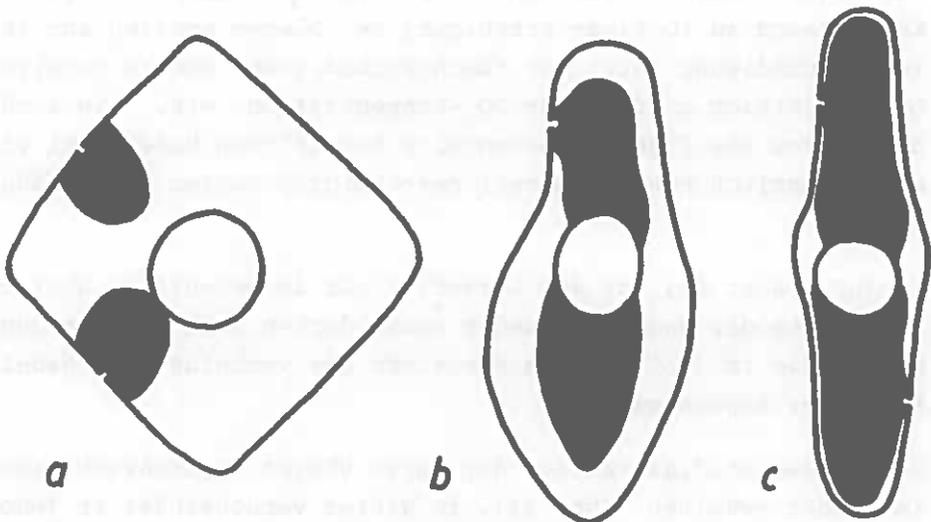


Abb. 1: Geschädigte Gewebepartien in Fichtennadeln nach Begasung (schwarze Flächen). a Sonnennadel, c Schattennadel,

Ausbreitung des  $\text{SO}_2$  im Assimilationsparenchym bestimmt. Zu allen nachstehend besprochenen Untersuchungen wurden ausschließlich Nadeln aus mittleren Lichtverhältnissen gewählt. Beim Zählen der geschädigten Zellen ergab sich zunächst, daß auch in unbegasteten gesunden Nadeln stets ungefähr 10 % der Zellen abgestorben waren. Verletzungen der Zellen bei der Anfertigung der Schnitte sind die Ursache dieses sog. "Schnittfehlers". Darüber hinaus erbrachten aber die quantitativen Vergleiche der Nadeln, die mit verschiedenen Konzentrationen begast worden waren, ein recht überraschendes Ergebnis. Im Mai erscheinen die jungen Nadeln schon über  $10^{-4}$  n  $\text{SO}_2$ -Lösung (entsprechend einer  $\text{SO}_2$ -Konzentration der Begasungsluft von etwa 0,1 ppm) unter den geschilderten Versuchsbedingungen zu 100 % geschädigt (Abb. 2a). Auffällig ist ein Buckel im Kurvenanstieg. Er deutet bereits an, was in den folgenden Monaten mit aller Deutlichkeit zum Ausdruck kommt: die Zahl der geschädigten Zellen steigt bereits im Juni keineswegs parallel mit der  $\text{SO}_2$ -Konzentration an; zwischen etwa  $10^{-4}$  und  $5 \cdot 10^{-3}$  n  $\text{SO}_2$  (entsprechend einer Begasungsluft mit 0,1 - 1,5 ppm  $\text{SO}_2$ ), also in einem Bereich über 1,5 Zehnerpotenzen, bleibt die Zahl der toten Zellen  $\pm$  konstant. Erst darüber hinaus steigt die Kurve rasch zu 100%iger Schädigung an. Dieser Anstieg zur letalen Schädigung setzt bei rauchgeschädigten Nadeln bereits bei wesentlich niedrigerer  $\text{SO}_2$ -Konzentration ein, wie auch das Niveau des flachen Kurventeils bei solchen Nadeln bei einem wesentlich höheren Anteil geschädigter Zellen liegt (Abb. 2a).

Im Juli (Abb. 2b) ist der Kurvenverlauf im wesentlichen ähnlich, die Kurven der Nadeln gesunder Bäume decken sich mit der Juni-Kurve, die im Juni geringe Resistenz der vorbelasteten Nadel hat stark zugenommen.

Dieser zweistufige Verlauf der Kurve bleibt abgeschwächt auch im Herbst erhalten (Abb. 3a), im Winter verschwindet er jedoch völlig, offenbar sinkt die flache Kurvenstrecke unterhalb des "Schnittfehlers". Belastete und unbelastete Nadeln unterscheiden sich nun, begast man bei  $+ 4^\circ\text{C}$ , nur unwesentlich. Nach Be-

# Schädigung SO<sub>2</sub>-begaster Fichtennadeln

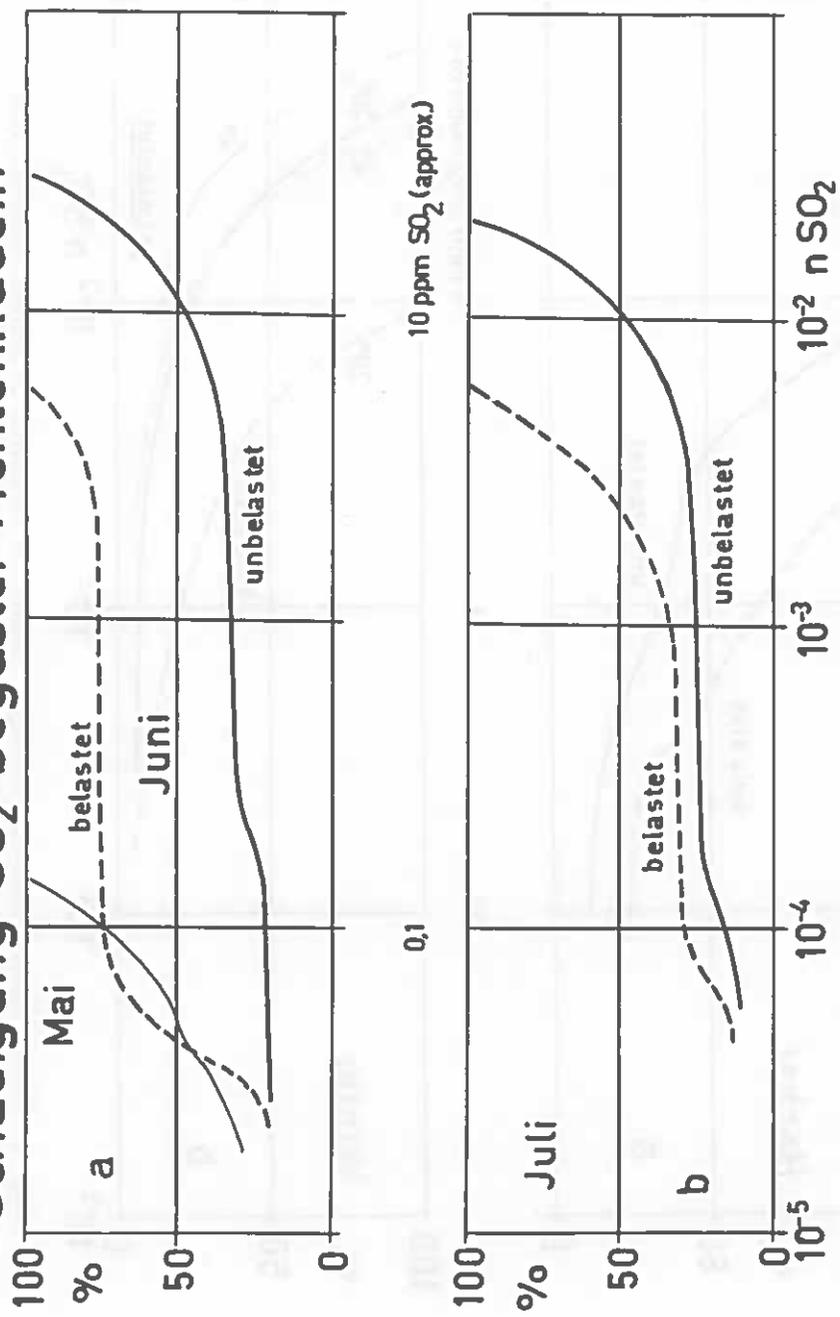


Abb. 2: Prozentualer Anteil geschädigter Zellen in künstlich begasten Fichtennadeln in Abhängigkeit von der SO<sub>2</sub>-Konzentration (Mai/Juni, Juli)

# Schädigung SO<sub>2</sub>-begaster Fichtennadeln

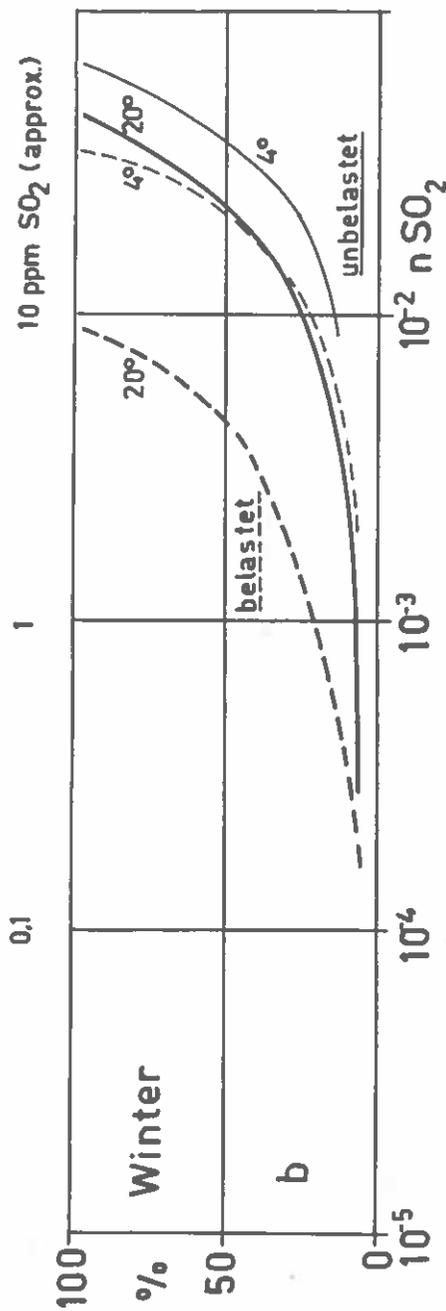
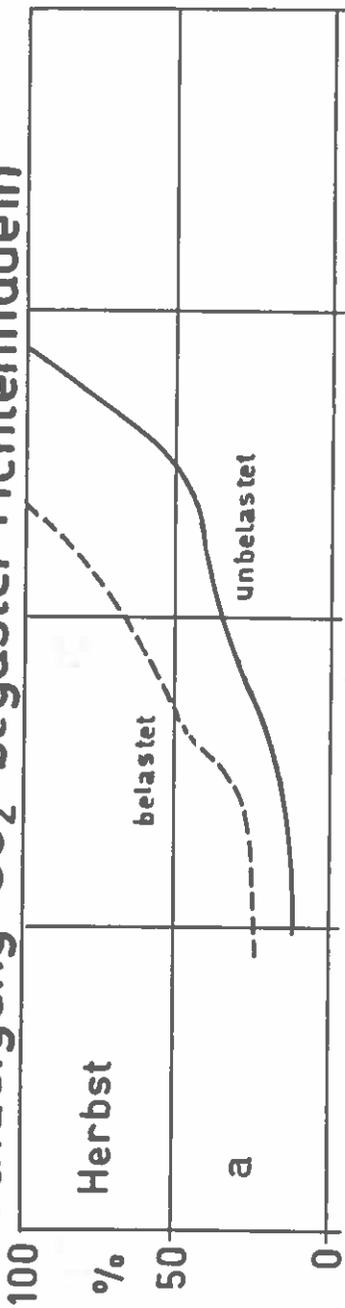


Abb. 3: Prozentualer Anteil geschädigter Zellen in künstlich begasten Fichtennadeln in Abhängigkeit von der SO<sub>2</sub>-Konzentration (Oktober/November, Januar)

gasung bei + 20°C ändert sich im Verhalten der gesunden Nadel gegenüber 4°C nichts, die durch SO<sub>2</sub>-hältige Abgase vorbelastete Nadel hingegen fällt bei höherer Temperatur durch eine wesentlich größere Empfindlichkeit auf (Abb. 3b). 100%ige Schädigung ist bei den unbelasteten Nadeln bei etwa 20 ppm SO<sub>2</sub>, bei der vorbelasteten Nadel dagegen bereits bei 5 ppm SO<sub>2</sub> in der Be-gasungsluft erreicht. Dieses Ergebnis zeigt, daß in Rauchscha-densgebieten die Nadeln im Winter während der Wärmeperioden oder bei Sonneneinstrahlung, während der sie sich stark erwär-men, besonders gefährdet sein können.

### SO<sub>2</sub>-Resistenz und Pufferkapazität

#### Fragestellung

Kehren wir zum gewiß Überraschenden zweistufigen Verlauf der Schädigungskurve zurück. Er erinnert an den sigma-artigen Ver-lauf der Wasserstoffionenkonzentration, wie man ihn bei der potentiometrischen Titration schwacher Säuren oder Basen er-hält und der ein Ausdruck für die Pufferkapazität eines Systems ist. Es wäre denkbar, daß die Pufferkapazität des Zellinhaltes in einem bestimmten pH-Bereich groß genug ist, um schweflige Säure soweit abzupuffern, daß diese erst nach Überschreiten ei-ner bestimmten, relativ hohen Konzentration, dann aber rasch, zu 100%iger Zellschädigung führt. Eine weitere Parallele könn-te auch darin gesehen werden, daß der Umschlagbereich von Farb-indikatoren bei Neutralisation etwa 1,5 pH-Einheiten beträgt, was etwa dem Konzentrationsbereich, über den sich die Flach-strecke der Schädigungskurven hinzieht, entspricht. Solche in-homogene Kurvenverläufe konnten auch an Blattgeweben, die in Pufferlösungen von verschiedenem pH eingelegt worden waren, be-obachtet werden. Bei bestimmten pH-Bereichen zeigt die Tötungs-kurve eine Flachstelle, offenbar der Ausdruck einer erhöhten Pufferfähigkeit, die die H-Ionen in ihrer Wirksamkeit ab-schwächt (MIKLAU 1965, unveröff.).

Um die Richtigkeit dieser Annahme zu prüfen, haben wir nun Homogenisate von Fichtennadeln in der im Abschnitt Methodik beschriebenen Weise hergestellt und deren pH-Änderungen nach Zusatz steigender Mengen von Säure und Lauge verfolgt.

### Pufferkapazität und SO<sub>2</sub>-Belastung

Typische Kurvenverläufe zeigt Abb. 4. Kurve a gibt die pH-Werte von Homogenisaten gesunder Nadeln bei Zusatz steigender Mengen n/20 HCl bzw. NaOH wieder, Kurve b bezieht sich auf Nadeln aus einem Rauchscha- dengebiet. Jede Kurve gründet sich auf dem Mittel aus Messungen an 10 Einzelproben. Die Minima des oberen Kurvenzuges berühren sich gerade mit den Maxima des tieferliegenden, so daß die Unterschiede als signifikant anzusehen sind

Die Kurve der gesunden Nadeln (a) zeigt im Bereich um den natürlichen pH-Wert des Homogenisates etwa von + 1 ccm HCl und + 3 ml NaOH eine deutliche Abflachung, die der Kurvenzug der rauchgeschädigten Nadeln völlig vermissen läßt. Das Homogenisat der gesunden Nadeln ist demnach im Bereich um pH 4 besser gepuffert als das der geschädigten.

Um die Kurven bzw. die Pufferkapazitäten besser vergleichen zu können, wählen wir, ehe wir eine andere Darstellung vorführen, als Ausdruck der Pufferkapazität jene Säure- bzw. Laugenmenge, die erforderlich ist, um den pH-Wert des Nadelhomogenisates beiderseits um -0,5 bis +0,5, also insgesamt um eine pH-Einheit zu verändern. Dabei ergeben sich deutliche Unterschiede:

Während die pH-Werte der Homogenisate SO<sub>2</sub>-geschädigter Nadeln von denen gesunder kaum zu unterscheiden sind (wenngleich eine Tendenz zur Erhöhung des pH-Wertes bei Schädigung durch SO<sub>2</sub> zu bestehen scheint), zeichnen sich die Nadeln aus dem Rauchscha- densgebiet durch erhöhte Nachgiebigkeit gegenüber Laugen- und Säurezusatz, also durch eine erheblich herabgeminderte Pufferkapazität aus. Nur die Nadeln eines auf Grund des Aussehens und des Ausfalles des Trübungstestes als resistent anzusehenden Baumes entsprachen auch hinsichtlich der Pufferung den gesunden Nadeln.

Tabelle 1: Pufferkapazität von Fichtennadeln

mmol/100 ml Lsg., bez. auf 10 g frische Nadeln

	pH des Homoge- nisates	pH -0,5 (+HCl)	pH +0,5 (+NaOH)	pH $\pm$ 0,5 (HCl+NaOH)
Juli:				
unbelastet	4,15	0,54	0,51	1,05
SO <sub>2</sub> -belastet	4,25	0,35	0,30	0,65
Februar:				
unbelastet	4,20	0,56	0,60	1,16
SO <sub>2</sub> -belastet	4,25	0,35	0,30	0,65
SO <sub>2</sub> -resistent	4,20	0,56	0,50	1,06

Resistenz, Pufferkapazität und Nadelalter, Jahresgang

Die Werte der Tabelle 1 beziehen sich auf den jüngsten Nadeljahr-  
gang. Die Unterschiede bleiben auch beim Vergleich der einzelnen  
Nadeljahrgänge erhalten, wie Tabelle 2 zeigt:

Tabelle 2: Resistenz und Pufferkapazität  
von Nadeln verschiedenen Alters (Fichte, Juli)

Resistenz: % überlebende Zellen nach 24std.  
Begasung über 10<sup>-3</sup> n-H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>-Lösung

Pufferkapazität: mmol (HCl+NaOH)/100 ml Lsg. pH  $\pm$ 0,5

Nadel- alter	unbelastet		SO <sub>2</sub> -belastet	
	Resi- stenz	Puffer- kapazität	Resi- stenz	Puffer- kapazität
diesjährig	74	1,30	67	0,85
einjährig	79	1,15	70	0,91
zweijährig	79	1,15	59	0,78
dreijährig	65	0,62	54	0,42

Gegenüber künstlicher Begasung steigt die Resistenz im ersten Jahr noch etwas an; dieser Anstieg kehrt bei den geschädigten Nadeln auch in der Pufferkapazität wieder; die Resistenz der gesunden Nadeln nimmt im 3. Jahr deutlich ab, die der geschädigten bereits im zweiten Jahr, parallel dazu ändert sich auch die Pufferkapazität. Der Vergleich zeigt ferner, daß die vorbelasteten Nadeln aller untersuchten Jahrgänge gegenüber  $\text{SO}_2$ -Begasung weniger resistent sind, was sich aus der geringeren Zahl überlebender Assimilationszellen ergibt. Entsprechend liegen auch die Pufferkapazitäten der vorbelasteten Nadeln durchwegs unter denen der gesunden.

Vergleichen wir nun die  $\text{SO}_2$ -Resistenz und die Pufferkapazität zu verschiedenen Zeiten eines Jahres.

Tabelle 3: Resistenz und Pufferkapazität  
zu verschiedenen Jahreszeiten (Fichtennadeln)  
Bezeichnungen vgl. Tab. 2

	Resistenz	pH des Homogenisates	Puffer- kapazität
Maitriebe	0	3,55	1,32
Juni	68	3,20	1,38
Juli	78	3,45	1,54
Okt./Nov.	62	3,65	1,00
Jan./Feb.	91	4,20	1,16
Mai Überwin- terte Nadeln	64	3,95	0,91

Eben ausgetriebene Nadeln besitzen, wie wir schon aus Fig.1 ersehen haben, eine extrem niedrige Resistenz. Die zu diesem Zeitpunkt sehr hohe Pufferkapazität ist durch den hohen Anteil an organischen Stoffen, in erster Linie wohl Proteinen, bedingt und kann mit der Resistenz noch nicht in Zusammenhang gebracht werden. Ab Juni besteht aber bereits eine gewisse Gleichläufigkeit von Resistenz und Pufferkapazität. Bis Juli nimmt die Resistenz zu; die Zahl der nach Testbegasung über-

lebenden Zellen steigt von 68 % auf 78 %, während sich die Pufferkapazität von 6,4 auf 7,3 mmol ( $H^+ - OH^-$ )/100 g Lösung erhöht.

Auffallend ist, daß Oktober - November ein neues Minimum der Resistenz auftritt, begleitet von einer niedrigeren Pufferkapazität. Es ist bemerkenswert, wenn auch vorderhand nicht erklärbar, daß in dieser Zeit auch die Werte nach dem von HÄRTEL (1953) entwickelten Trübungstest ein Minimum erreichen und zu dieser Zeit für die Rauchscheidungsdiagnostik am besten auswertbar sind. Im Winter steigt die Resistenz stark an, gleichzeitig erhöht sich die Pufferkapazität, allerdings nicht so stark, wie man es auf Grund der Sommerwerte erwarten würde. Im Mai sinkt sie wiederum parallel zur abnehmenden Resistenz der Nadeln.

#### Zur Ursache der verschiedenen Pufferkapazität

Es erhebt sich natürlich die Frage nach den Ursachen der Änderung der Pufferung der Zellinhalte. Dazu wollen wir die bereits gezeigte Titrationskurve gesunder und abgasgeschädigter Nadeln (vgl. Abb. 4) in anderer Darstellung bringen. Wir berechnen für jeden Punkt der Kurve die pH-Änderung, die eine kleine Menge zugesetzter Lauge oder Säure herbeiführt und beziehen diese auf die zugesetzte Menge  $H^-$  oder  $OH^-$ -Ionen. Der Ausdruck  $\frac{\Delta pH}{\Delta \text{mmol}(H^+ \text{ od. } OH^-)}$  gibt also die Pufferkapazität in Form des ctg der im jeweiligen Punkt der Titrationskurve angelegten Tangente an. Nach dieser Umformung stellen sich die Kurven der Abb. 4 folgendermaßen dar (Abb. 5).

Deutlich prägt sich bei den gesunden Nadeln das Maximum der Pufferung bei pH 4 aus. Bei den geschädigten Nadeln ist es weitgehend unterdrückt. Umgekehrt ist die höhere Pufferung der geschädigten Nadeln im alkalischen Bereich höher. Die resistenten Nadeln sind auch im Rauchscheidungsgebiet deutlich besser gepuffert als die nicht resistenten. Eine ähnliche Abnahme der Pufferung namentlich im sauren Bereich, verbunden mit einer höheren jenseits des Neutralpunktes tritt auch mit zunehmendem Nadelalter ein.

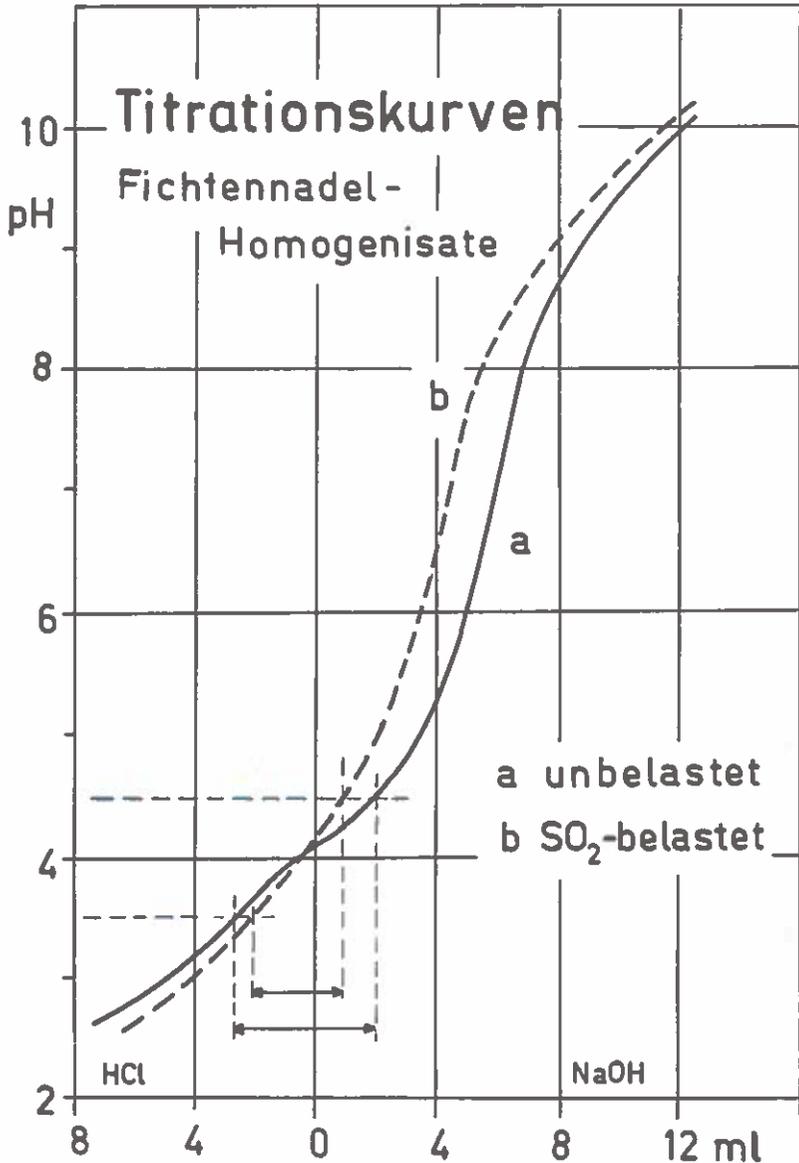


Abb. 4: Veränderungen des  $p_{\text{H}}$ -Wertes von Fichtennadelhomogenisaten nach Säure- bzw. Laugenzusatz. Die waagrecht, durch Pfeilenden begrenzten Strecken geben die Pufferkapazität im Bereich des ursprünglichen  $p_{\text{H}}$ -Wertes an, d. i. die Säuren- bzw. Laugenmenge, die nötig ist, den  $p_{\text{H}}$ -Wert der Homogenisate um  $\pm 0,5 p_{\text{H}}$ -Einheiten zu verändern (vgl. Tab. 1 - 3)

A

Pufferkapazität  $A = \frac{\Delta \text{mmol}}{\Delta \text{pH}}$

- a unbelastet
- b SO<sub>2</sub>-belastet
- c desgl., resistent

1,5

1,0

0,5

0

10

9

8

7

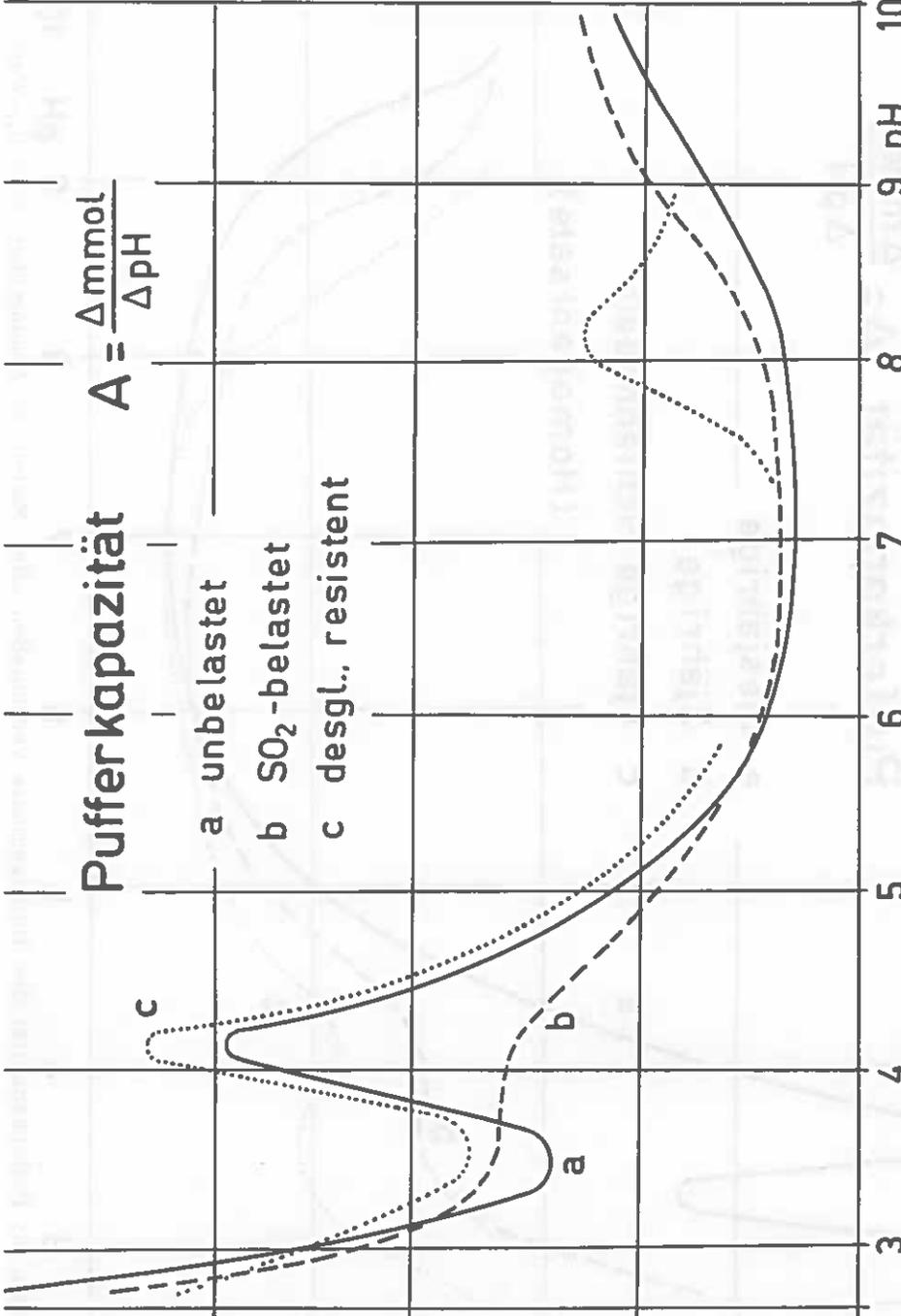
6

5

4

3

Abb. 5: Pufferkapazität der Nadelhomogenisate in Abhängigkeit von der Vorbelastung durch SO<sub>2</sub> und vom p<sub>H</sub>-Wert



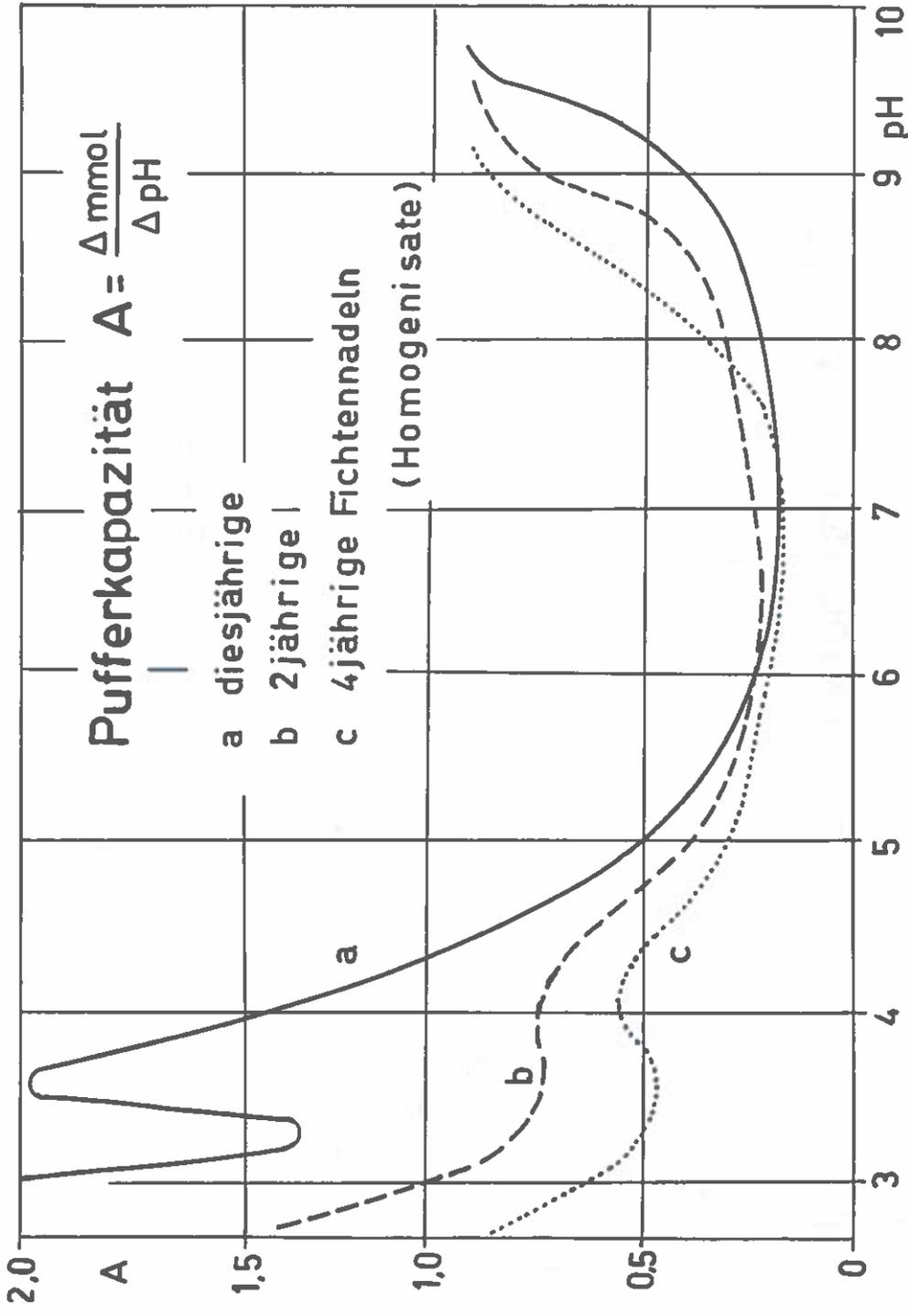


Abb. 6: Pufferkapazität der Homogenisate verschieden alter Nadeln in Abhängigkeit vom p<sub>H</sub>-Wert

(Abb. 6). Es ist dies ein weiterer Hinweis dafür, daß die Vorgänge, die zur Schädigung führen, einem vorzeitigen Altern der Nadeln entsprechen. Dies äußert sich denn auch sinnfällig im vorzeitigen Nadelfall, also der bekannten Auslichtung der Kronen der Nadelbäume.

Die Lage des Puffermaximums im sauren Bereich bei pH 4 läßt an organische Säuren als Ursache der Pufferung denken. Der pK-Wert der Carbonsäuren liegt um pH 3,5 - 4,5, während die COOH-Gruppen der bivalenten Aminosäuren bei 2 - 2,3, die der bivalenten Peptide um 3 - 3,4 liegen (vgl. RAUEN 1964), also weiter im sauren Bereich, als es der Lage des Puffermaximums im pH 4 entspricht. Über die Ursachen der Änderungen im Verlauf der Pufferkurven kann noch nichts Abschließendes gesagt werden. Der Gegenläufigkeit der Pufferkapazität im sauren und basischen Bereich liegt eine Beteiligung amphoterer Stoffe, also von Proteinen, nahe. Allerdings entspricht die Lage des Puffermaximums bei pH 4 eher dem pK-Wert der COOH-Gruppen der Carbonsäuren. Auch im basischen Bereich treten mehrere, in der gezeigten Mittelwertkurve allerdings weitgehend verstrichene Maxima auf, doch brauchen wir hier schon deshalb nicht näher auf sie einzugehen, weil sie für ein allenfalls mögliches Auffangen von  $\text{SO}_2$  wohl weniger ausschlaggebend sind. Eine nähere Analyse der Kurven und der sie bedingenden Zellinhaltsstoffe ist im Gange.

#### FOLGERUNGEN

Zusammenhänge zwischen Pufferung des Zellinhaltes und der  $\text{SO}_2$ -Resistenz der Nadeln scheinen also evident zu sein. Eine geringere Nachgiebigkeit des pH des Zellinhaltes gerade im Bereich seines natürlichen pH-Wertes könnte wohl imstande sein, stärkere bzw. schädliche Verschiebungen der Wasserstoffionenkonzentration in der Zelle bis zu einem gewissen Grade hintanzuhalten, was dann zu der gezeigten Konstanz der Zahl der geschädigten Assimilationszellen über einen größeren Konzentrationsbereich führt. Dafür scheint auch zu sprechen, daß sich bei Verlängerung der Begasungszeit aufs Doppelte (48 Std.) an der Länge und Höhe der

Flachstrecke der Schädigungskurven (vgl. Abb. 2 - 4 ) nichts Wesentliches ändert. Nach Erschöpfung der Pufferkapazität kommt rasch zum Zugrundegehen aller Zellen.

Das Puffervermögen der Zellen gegenüber sauren Agentien kann jedoch nur als eine, keinesfalls aber als die einzige Ursache der verschiedenen Resistenz angesehen werden. Dies geht schon aus der eingangs erwähnten Tatsache hervor, daß vorbelastete Nadeln im Winter bei höherer Temperatur eine stark erhöhte Empfindlichkeit besitzen. Die  $\text{SO}_2$ -Menge, die die Nadeln bis zur Erschöpfung ihrer Pufferkapazität aufnehmen können, würde, auf  $\text{SO}_3$  bezogen ihren Schwefelgehalt um weniger als 0,1 % erhöhen, wodurch gewiss keine so drastischen Folgen wie 100%iges Absterben aller Blattzellen ausgelöst werden können. Die Schwefelakkumulation ist namentlich bei chronischen Schäden ein wesentlicher und von der Pufferung wohl unabhängiger Faktor. Wir vermuten, daß die Pufferung eher das Ausmaß akuter, durch kurzzeitige Begasung verursachter Schäden beeinflussen bzw. mildern könnte.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Es wird das Ausmaß der Zellschädigung gesunder und durch  $\text{SO}_2$  vorbelasteter Fichtennadeln mittels Plasmolyse untersucht und die  $\text{SO}_2$ -Resistenz mit der Pufferkapazität der Homogenisate verglichen.

In Sonnennadeln bleibt die Zellschädigung nach 24stündiger Begasung mit  $\text{SO}_2$  auf die Areale um die Eintrittspforten beschränkt, in Schattennadeln wird im gleichen Zeitraum das Assimilationsparenchym in viel größerem Umfange geschädigt. Das Interzellularvolumen spielt offenbar eine wichtige Rolle.

Bei steigender  $\text{SO}_2$ -Konzentration wächst der prozentuale Anteil der geschädigten Zellen nicht parallel mit dieser an, nach einem anfänglichen Anstieg bleibt er vielmehr über einen Konzentrationsbereich von ca 1 : 15  $\pm$  unverändert. Erst darüber hinaus kommt es rasch zum Absterben aller Zellen.

Homogenisate geschädigter Zellen sind um pH 4 gegenüber  $H^+$  - und  $OH^-$  -Ionen schlechter gepuffert als solche ungeschädigter Nadeln. Im alkalischen Bereich sind umgekehrt geschädigte Nadeln besser gepuffert. Ein  $SO_2$ -resistenter Baum in einem Rauchschaengebiet verhält sich auch hinsichtlich der Pufferung wie ein ungeschädigter.

Pufferkapazität und Resistenz ändern sich mit dem Nadelalter sowie im Laufe des Jahres gleichsinnig. In älteren Nadeln ist das Puffermaximum bei pH 4 ähnlich unterdrückt wie bei  $SO_2$ -geschädigten Nadeln. In dieser Hinsicht entspricht die Abgasschädigung vorzeitigem Altern der Nadeln (früherer Nadelfall!).

Es wird vermutet, daß der Pufferkapazität eine Bedeutung beim Abfangen von eingedrungenem  $SO_2$ , namentlich bei kurzzeitigem Einwirken, stärkerer Stöße, zukommt und damit eine der Ursachen für die  $SO_2$ -Resistenz der Nadeln ist.

#### SUMMARY

- 1) The resistance to  $SO_2$  of leaves of spruce (*Picea abies*) is investigated by plasmolysis and compared with the buffer capacity of homogenisates.
- 2) In leaves growing in full light after artificial fumigation ( $24^h$ ) the killed cells are confined to areas around the substomatal chambers. In shadow leaves much greater areas of chlorenchyma are damaged. The volume of intercellular spaces is obvious of some importance.
- 3) The number of damaged cells does not increase according to the concentration of  $SO_2$  by artificial fumigation. After an initial rise the alteration remains  $\pm$  constant over a range of  $SO_2$ -concentration about 1 : 15. Excess leads to an abrupt rise of the curve till all the cells are killed. Prealteration (even by urban air) increases the sensitivity to  $SO_2$ .
- 4) Homogenisates of leaves, altered by  $SO_2$ , in the region pH 4 are less buffered than unaltered ones. On the contrary, in the alkaline range the altered ones are showing a better buffering. Leaves from a tree grown in an industrial area, but resistant to

SO<sub>2</sub>, with respect to buffering were essentially similar to non-contaminated ones.

5) When the leaves grow older their buffer capacity in the acid range is lowered like their resistance, just as both criteria vary somewhat conform during the year. In older leaves the acid peak of buffer capacity is suppressed in analogy to altered leaves. From this point of view the gas damage is comparable with premature ageing of leaves (cf. premature decay).

6) It thus appears that the buffer capacity has some importance to intercept SO<sub>2</sub>, especially acute fumigations, and in this way also controls the SO<sub>2</sub>-resistance of leaves of spruce.

#### LITERATUR

- GRILL, D. 1968: Zellphysiologische Studien an SO<sub>2</sub>-begasteten Nadeln von *Picea abies* (L.) Karsten. Diss. Graz.
- und HÄRTEL, O. 1969: Mikroskopische Untersuchungen an Fichtennadeln nach Begasung mit SO<sub>2</sub>. *Mikroskopie* (Wien) 25, 115 - 122.
- HÄRTEL, O. 1953: Eine neue Methode zur Erkennung von Raucheinwirkungen an Fichten. *Zbl.ges.Forstwesen u.Holzverwertg.* 72, 12 - 21.
- HALBWACHS, G. 1963: Untersuchungen über gerichtete aktive Strömungen und Stofftransporte im Blatt. *Flora* 153, 333 - 357.
- KISSER, J., BERGMANN-LEHNERT, I. und HALBWACHS, G. 1962: Physiologische Ursachen charakteristischer Rauchsadenssymptome. *Wiss.Z. TU Dresden* 11, 553 - 559.
- MIKLAU, S. 1965: Über den Einfluß von SO<sub>2</sub> auf lebende Pflanzenzellen. Diss. Graz.
- NEGER, F. und LAKON, G. 1914: Studien über den Einfluß von Abgasen auf die Lebensfunktionen der Bäume. *Mitt.sächs.forst Versuchsanst.Tharandt* 1, 177 - 233.
- PRELICZ, D. 1968: Die Beweglichkeit des Spaltenapparates bei Einwirkung von SO<sub>2</sub>. Diplomarb.Graz.
- RAUEN, H. 1964: *Biochemisches Taschenbuch*, 2.Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York

## D I S K U S S I O N

ZAHN:

Es würde mich interessieren, wie schon nach 24 Stunden Begasung mit 0.1 ppm Nadeln geschädigt sein können.

HÄRTEL:

Die Schädigung wurde hier nicht auf Grund eines äußerlich sichtbaren Symptoms beurteilt, sondern nach Anfertigung eines Schnittes und anschließender Plasmolyse.

Es ist also nicht so, daß bei 0.1 ppm bereits eine Schädigung sichtbar ist, sondern infolge der Nachbehandlung wird eine Schädigung manifest.

ZIEGLER:

Bei  $\text{SO}_2$  Begasung von Nadeln stehen nicht beliebig viele Kationen zur Verfügung und die  $\text{SO}_2$ -Ionen verdrängen die natürlichen Anionen im Blatt aus der Balance. Haben Sie eine Vorstellung, ob bei Begasung zunächst die organischen Säuren, die wohl im wesentlichen den Anionenpuffer darstellen, zurückgehen und ob nach Aufhören der Begasung die natürlichen Anionen wieder zunehmen?

HÄRTEL:

Wir arbeiten derzeit daran, die organischen Säuren im Zuge der Begasung und ihre Veränderungen zu verfolgen. Über Veränderungen und Rückbildungen kann ich jetzt noch keine Auskunft geben.

ARNDT:

Haben Sie bei Ihren Untersuchungen nachzuprüfen versucht, ob sich eventuell die Viskosität der Zellen bei SO<sub>2</sub> Begasung in der gleichen Art ändert, wie die Pufferkapazität? Nach einer russischen Arbeit soll die Änderung der Viskosität die erste Reaktion der Zelle sein.

HÄRTEL:

Die Viskosität war das erste was ich geprüft habe. Sie können in Rauchschadensgebieten Veränderungen der Viskosität feststellen. Innerhalb der gewählten Begasungszeiten - 24 bzw. 48 Stunden - in denen sich Veränderungen der Vitalität, der Resistenz ergaben, ergaben sich noch keine nachweisbaren Änderungen der Viskosität. Ein durch Plasmolyse nachweisbarer Schaden zeigt sich eher, als sich Änderungen der Viskosität nachweisen lassen.

# PHYSIOLOGICAL AND GENETIC RESPONSE OF PINUS STROBUS L. CLONES TO SULFUR DIOXIDE AND OZONE EXPOSURES

by

D. B. HOUSTON and G. R. STAIRS

University of Wisconsin

## INTRODUCTION

Air pollution, an important component of our concern about the magnitude of deterioration in environmental quality, has only relatively recently attracted the professional attention of the forest research worker. Despite the fact that we have known for many decades the disastrous effects of localized, acute exposures of forest communities to high levels of air pollutants, it has been just in the past decade that chronic pollution has reached levels sufficiently high to cause widespread concern.

The problem of air pollution presents many questions to the forest research worker. At the policy level he needs information vis a vis the tolerance of forest tree species to the complete array of air pollutants. Given this information he can assist in the establishment of air quality standards by pollution control authorities and thus work toward abatement of the problem at its source. Nevertheless, assuming that pollution at some level will continue, he will also need to know which species may be recommended in regions where pollution is a problem. Within the framework of defining tolerance levels and selecting species on the genetic or specific level there is a vital need for research information concerning the genetic and physiological basis for reaction to air pollutants.

This report includes our recent work with sulfur dioxide and ozone exposures of Pinus strobus. Intermediate goals of the investigation were to identify local individuals of this species with repeatable responses to pollutant exposures, and through the use of vegetative propagation, multiply these individuals into populations available for further research work concerning the biochemical and physiological parameters associated

with the treatment response. The final goal of the research is to identify and propagate resistant material for the applied tree improvement program carried out by the University of Wisconsin in cooperation with the Forestry Bureau of the Wisconsin Department of Natural Resources.

#### LITERATURE REVIEW

Assuming that forest trees are simply representatives of the world's largest plants, many reviews are available for general reference. Included are those by: Taylor (1969); Treshow (1968, 1970); Daines (1968); Rich (1964); Richards and Taylor (1965); and Scurfield (1960). The article by Scurfield provides a broad, world-wide review of pollution damage to forest trees.

Air pollution damage to white pine has been assigned a variety of names in the literature. Among these are needle blight, emergence tipburn, chlorotic dwarf, and semimature-tissue needle blight. Berry first described emergence tipburn of white pine (1961), and later (Berry and Riperton, 1963) was successful in producing tipburn symptoms with ozone exposures at levels of 6.5 pphm. Davis and Wood (1968) were unsuccessful in producing such symptoms in 3-year-old white pine seedlings at 10 pphm ozone but did produce the symptoms at 25 pphm. In the same year, Sinclair and Costonis (1969) also reported tipburn at ozone concentrations as low as 7 pphm for four-hour exposures, and 3 pphm for 48 hour-exposures. Linzon (1967) was not able to obtain tipburn symptoms in white pine at concentrations less than 60 pphm for periods of two to six hours. He also noted that there seemed to be no correlation between the extent of ozone injury and susceptibility to semimature-tissue needle blight. Linzon was able to differentiate, on the basis of macro- and microscopic symptomatology, between damage caused by ozone and that caused by sulfur dioxide.

Dochinger (1960, 1968 a,b) has described a somewhat different physiogen needle disorder of white pine known as chlorotic dwarf. His studies (Dochinger and Heck, 1969; Dochinger and Seliskar, 1970) have indicated that dispersoid pollutants, specifically ozone and sulfur dioxide, were responsible for the symptoms. These studies suggested the possibility of a synergistic relation between the two pollutants and a definite genetic background for tree susceptibility. In a related work, Costonis

(1970) also reported interaction between sulfur dioxide and ozone in white pine exposure studies.

Breeding studies to elucidate the genetic basis in white pine for resistance to atmospheric pollution are notably absent from current literature. Evidence of resistance based on clonal studies is available from the reports of Linzon (1961, 1969), Dochinger and Seliskar (1965), Berry (1961), and Berry and Ripperton (1963).

A similar paucity of information exists in relation to the biochemical and physiological basis for resistance in white pine. Related studies include investigation of starch and total polysaccharide levels in ponderosa pine (Adams and Emerson, 1961), and suppression of photosynthesis in this same species (Miller et al., 1969). Börtitz (1963) reported that analysis of needle sap from Norway spruce indicated the existence of two variants with differing degrees of resistance to sulfur dioxide. In work with the same species Cvrkal (1959) found that the greatest smoke damage was positively correlated with low camphene and low dipentene content. Barnes and Berry (1969) suggested a possible relationship between low soluble carbohydrate content of white pine needles and greater sensitivity to air pollutants.

#### EXPERIMENTAL METHODS

The experimental population consisted of 94 trees, selected in the field to provide 47 tolerant and 47 sensitive ortets for propagation into a clonal study. Ortet selection was accomplished in pairs (one tolerant, one susceptible) with two restrictions: (1) that each tree selected have shown symptoms of damage or resistance for a period of at least two growing seasons; and (2) that each paired selection be made within a radius of 10 feet to minimize environmental variation. The selected ortets were grafted on 4-year-old seedling rootstocks to provide 12 healthy ramets per clone. All propagated material was maintained in activated-charcoal filtered air prior to treatment.

Five experimental chambers were constructed with clear polyethylene sheeting on wooden frames over greenhouse benches. Each chamber measured 4.88M x 1.22M x 1.22M; air flow in the chambers was calibrated to provide a rate of 1.56cu M per minute. Ozone fumigation was provided by General Electric G4S11 germicidal lamps and was measured by a Mast Ozone Meter.

Concentration was obtained by varying the number of lamps. Sulfur dioxide was metered into the chambers through a precise metering valve and was measured with a Scientific Industries, Inc. Analyzer Recorder, Model 6508. Sampling tests within the chambers indicated an accuracy of  $\pm$  1 ppm by volume of air over all positions.

Exposure of clonal material was conducted using the following procedure: (1) the fumigation chamber was divided into two blocks and the experimental material was arranged in a randomized-block design; (2) one of the five chambers was utilized as a control; and (3) all exposure were conducted for a period of six hours during the period from 9 a.m. to 3 p.m.

Preliminary experimental trials were conducted with ozone and sulfur dioxide alone and in combination using 10 clones per trial (5 sensitive and 5 tolerant) with two ramets each. Ozone exposures were conducted at 5, 10, 30, and 60 ppm while sulfur dioxide trials utilized levels of 2.5, 5, 15, and 45 ppm. Combination trials used 5 ppm ozone and 2.5 ppm sulfur dioxide.

Following the initial exposures, a repeatability study was conducted using 5 ppm ozone and 2.5 ppm sulfur dioxide. The repeatability study utilized 40 clones (20 sensitive and 20 tolerant) with 10 ramets per clone. Repeatability was calculated as the intra-class correlation based on variation within and between clones. Damage evaluation was made on the current year needles and was based on the following numerical scheme:

VALUE	INDICATOR
1	no visible injury
2	visible injury on 1 - 25% needles
3	visible injury on 25 - 50% needles
4	visible injury on 50 - 75% needles
5	visible injury on 75 - 100% needles

In addition to quantification of injury by the above index, measurements were made to determine effects of fumigation on needle development.

Preliminary biochemical evaluation of the resistant and susceptible materials was conducted for phenolic content and enzyme profiles. Phenolic extracts were obtained using the extraction technique described by Hanover

and Hoff (1966) and as modified by Chang (1968). Fifteen grams of needle tissue were used for the extraction; a 50 ul sample was placed on a 0.25 mm silica gel layer on 20 x 20 cm glass plates. The solvent system was methylene chloride - methanol - glacial acetic acid (99: 10: 0.5, v/v); 45 minute runs were used following a chamber equilibration time of 60 minutes. The spots were recorded by color reaction and Rf. Ninhydrin, Aniline - acid - oxalate and periodate - benzidine sprays were used to test the amino acids and sugars in the extracts. Specific identification of the phenolics was not attempted.

Enzyme evaluations were conducted for esterase, peroxidase and polyphenol-oxidase groups. Extraction techniques were modified from those published by Feret (1970). One-half gram of needle tissue was utilized for each sample extraction; the samples were run on 7.5% polyacrylamide gels at 3 ma./gel tube for 90 minutes at 5° C.

Staining for esterase enzyme activity utilized the method described by Brewbaker et al. (1968). Peroxidase activity was located in the acrylamide gels by techniques adapted from Macko et al. (1967). Polyphenol oxidases were stained following the procedure of Byrne (1970).

## RESULTS

Clonal material fumigated with ozone at 5 pphm failed to develop injury symptoms. At 10 pphm only one of the sensitive clones was damaged. When the level of fumigant was raised to 30 pphm, 60 percent of the sensitive clones were damaged, while at 60 pphm ozone 20 percent of the sensitive and 60 percent of resistant clones showed injury. The reaction range was obtained at higher levels than has generally been reported in the literature, although it was in close accord with that reported by Linzon (1967).

Symptoms developed as silver-grey flecks on the stomatal surface, enlarging to pink spots and then coalescing to form chlorotic bands. A time sequence of three days (10 pphm) to one day (60 pphm) was required for symptomology to become apparent.

Sulfur dioxide fumigations at 2.5 pphm did not produce symptoms in tolerant material, and only slight damage in one of the sensitive clones

tested. At 5 ppm all of the sensitive and 60 percent of the tolerant clones were injured. Results obtained at exposures of 15 ppm were similar to those obtained at 5 ppm. At 45 ppm all clones were severely injured.

Needle-damage symptoms caused by sulfur dioxide different from that of ozone only in the initial stages of development and in the onset timing of the reaction. The first visible signs of damage occurred about 12 hours after treatment and were characterized by a collapsed light-green area on the needle stomatal face. After 24 hours the symptoms appeared as a pink spot; the subsequent symptoms followed closely that described for ozone damage.

Combined exposure to 2.5 ppm sulfur dioxide plus 5 ppm ozone caused damage similar to that obtained by sulfur dioxide alone at 5 to 15 ppm. Thus, the combination treatment appeared synergistic when considered on a visual symptomology scale although it may have been additive on an absolute scale. The values utilized were very close to normal ambient levels obtained in the Madison, Wisconsin area. Therefore, they were utilized in the repeatability analysis to determine the genetic consistency of the reactions.

Repeatability values ranged from 0.468 to 0.597 in the four trials, when based on data from needle elongation measurement. Significantly higher values ( $r = 0.733$  to  $0.880$ ) were obtained from these trials when index values for observed damage were utilized. The data obtained is consistent with the expected site of reaction. The damage index was based on symptoms developed at the gas-exchange sites, whereas the elongation response mirrors the response of meristematic tissue at the needle base. The latter would be expected a priori to be more subject to variation caused by altered physiological environment. In either case, the repeatability values were sufficiently high to be convincing of significant genetic control. These same values also indicate that field selection for resistance to air pollution should be highly effective.

Biochemical comparisons of sensitive and tolerant material failed to show strong correlations between resistance class and the compounds evaluated. Nevertheless, results from the phenolic studies were encouraging enough to suggest that additional work is needed in this class of compounds. In a series of n - butanol extracts reproducible differences in spot

colorations were observed at Rf3 and Rf14. The spot difference at Rf3 was characterized by a grey color in the sensitive extracts, but was deep violet in the tolerant extracts. At Rf14 the sensitive material showed an orange spot while the resistant material was red. Figure 1 presents an illustration of the chromatography work.

In the enzyme evaluations little difference was observed in esterase banding. Only three bands were reproducible and these were found in all material evaluated. The peroxidase patterns were more variable with a total of 10 bands delineated. There was no consistent correlation of banding pattern with resistance class (see Table 1). The data from polyphenol oxidase evaluations was similarly lacking in association patterns related to resistance class. These results are illustrated in Table 2.

TABLE 1  
PEROXIDASE ISOZYME COMPLEMENTS OF  
18 TOLERANT AND 18 SENSITIVE TREES

Isoenzyme Band No.	Rf( $\times 100$ )	No. of Trees Displaying Isoenzyme	
		Sensitive	Tolerant
1	21	15	10
2	30	18	18
3	35	9	10
4	39	13	10
5	44	18	18
6	48	14	18
7	54	14	18
8	58	16	16
9	63	13	12
10	66	9	10

TABLE 2  
PHENOLOXIDASE ISOZYME COMPLEMENTS OF  
18 TOLERANT AND 18 SENSITIVE TREES

Isoenzyme Band No.	Rf( $\times 100$ )	No. of Trees Displaying Isoenzyme	
		Sensitive	Tolerant
1	26	8	9
2	33	9	5
3	38	6	13
4	53	8	7
5	57	11	11
6	75	12	15

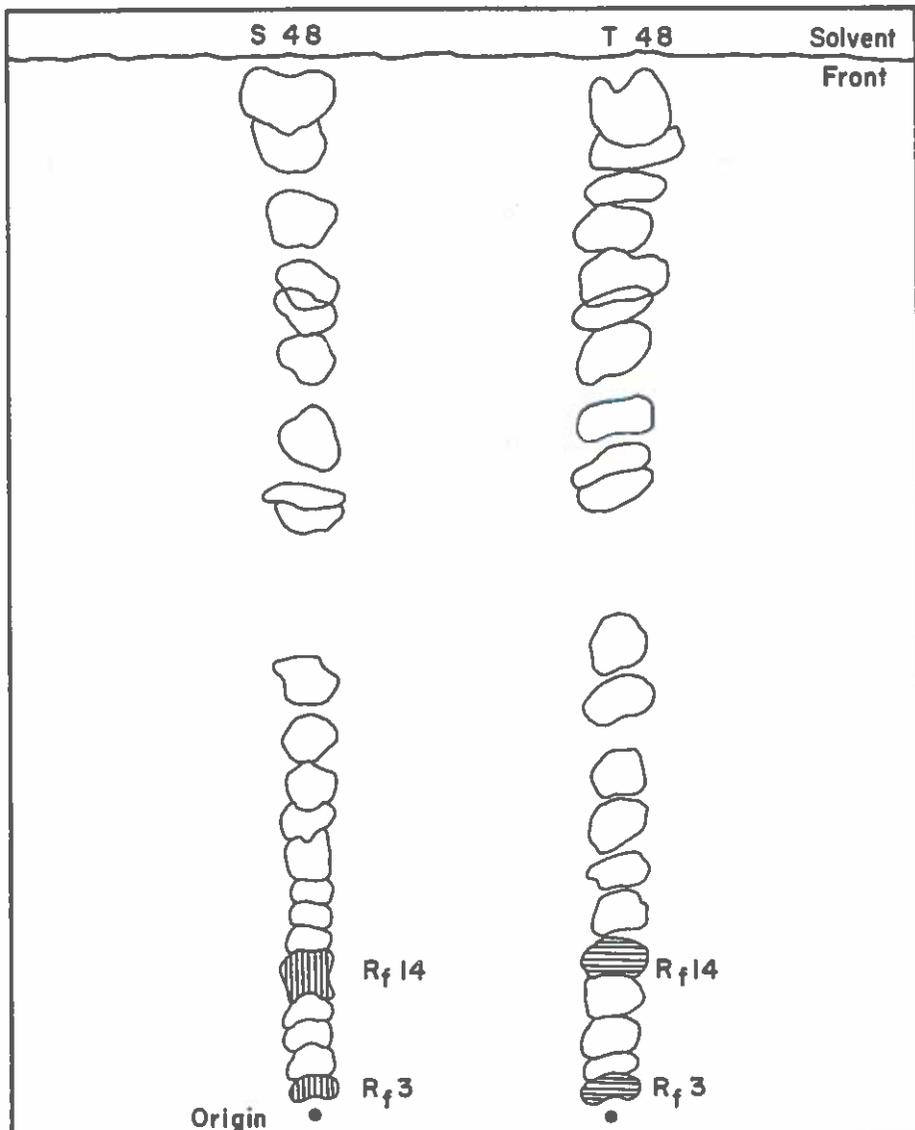


Figure 1. Representative one-dimensional chromatogram of n - butanol extracts. S48 spots: R<sub>f</sub> 14 = orange, R<sub>f</sub> 3 = grey; T48 spots: R<sub>f</sub> 14 = red, R<sub>f</sub> 3 = violet. (S48 = sensitive ortet No. 48; T48 = tolerant ortet No. 48)

## CONCLUSIONS

The interaction of sulfur dioxide and ozone at low concentrations was established as more serious than that caused by either pollutant alone at similar or additive levels. It was noted that ozone did not, while sulfur dioxide did, correlate with field observations of damage under ambient conditions. The genetic repeatability was found to be quite high for the reactions observed and the evidence suggests that genetic selection for resistance should be effective. Additional breeding studies are needed to confirm the nature of the inheritance pattern under conditions of sexual reproduction. Introductory biochemical evaluations for possible correlation with resistance class indicated that additional study of phenolics could be worthwhile. Study of enzyme profiles for the three groups investigated did not provide differentiation of the two resistance classes. Nevertheless, additional enzyme work is needed to further confirm the ubiquitousness of the report.

## LITERATURE CITED

- Adams, D. F. and M. T. Emerson. 1961. Variations in the starch and total polysaccharide content of Pinus ponderosa needles with fluoride fumigation. *Plant Physiol.* 36: 261-265. 1961.
- Barnes, R. L. and C. R. Berry. 1969. Seasonal changes in carbohydrates and ascorbic acid of white pine and possible relation to tipburn sensitivity. U.S. Dept. of Agric. Forest Service Research Note SE-24. 4 pp.
- Berry, C. R. 1961. White pine emergence tipburn, a physiogenic disturbance. U.S. Dept. of Agric. Forest Service Southeastern Forest Experiment Station Paper. No. 130.
- Berry, C. R. and L. A. Ripperton. 1963. Ozone, a possible cause of white pine emergence tipburn. *Phytopathology* 53: 552-557.
- Böttitz, S. 1963. (Distinguishing Picea abies variants by means of fluorescence patterns). *Flora, Jena* 153: 320-325.
- Brewbaker, J. L., M. D. Uphadya, Y. Mäkinen, T. MacDonald. 1968. Isoenzyme polymorphism in flowering plants. III. Gel electrophoretic methods and applications. *Physiol. Plant* 21: 930-940.
- Byrne, O. R. 1970. Personal communication.

- Chang, W. 1968. Monoterpenes, phenolics and phenology of Douglas fir relative to Rhabdocline needle cast disease. M.S. Thesis, State University College of Forestry at Syracuse University. 92 pp.
- Costonis, A. C. 1970. Injury to eastern white pine by fumigations with mixtures of sulfur dioxide and ozone. *Phytopathology* (in press).
- Cvrkal, M. 1959. (Biochemical diagnosis of Picea abies in smoke-affected areas). *Sborn. Čsl. Akad. Zeměd. Věd (Lesu)* 5: 1033-1048.
- Daines, R. H. 1968. Sulfur dioxide and plant response. *J. Occ. Med.* 10: 516-534.
- Davis, D. D. and F. A. Wood. 1968. Relative sensitivity of twenty-two tree species to ozone. (Abstr.) *Phytopathology* 58: 399.
- Dochinger, L. S. 1960. Occurrence of the chlorotic dwarf disease in some Ohio white pine plantations. U.S. Dept. of Agric. Central States For. Exp. Sta., Station Note No. 141.
- \_\_\_\_\_ 1968a. The impact of air pollution on eastern white pine: The chlorotic dwarf disease. *J. Air Poll. Cont. Assoc.* 18: 814-816.
- \_\_\_\_\_. 1968b. Chlorotic dwarf of eastern white pine: Symptoms, etiology and control. (Abstr.) *Phytopathology* 58: 1048.
- \_\_\_\_\_ and W. W. Heck. 1969. An ozone-sulfur dioxide synergism produces symptoms of chlorotic dwarf of eastern white pine. (Abstr.) *Phytopathology* 59: 399.
- \_\_\_\_\_ and C. E. Seliskar. 1965. Results from grafting chlorotic dwarf and healthy eastern white pine. *Phytopathology* 55: 404-407.
- \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1970. Air pollution and the chlorotic dwarf disease of eastern white pine. *Forest Science* 16: 46-55.
- Hanover, J. W. and R. J. Hoff. 1966. A comparison of phenolic constituents of Pinus monticola resistant and susceptible to Cronartium ribicola. *Physiol. Plant.* 19: 554-562.
- Linzon, S. N. 1961. Field grafting with healthy and needle blighted eastern white pine trees and the expression of disease symptoms. *Can. J. Bot.* 39: 1287-1292.
- \_\_\_\_\_. 1967. Ozone damage and semimature-tissue needle blight of eastern white pine. *Can. J. Bot.* 45: 2047-2061.
- Macko, V., G. R. Honold, and M. A. Stahmann. 1967. Soluble proteins and multiple enzyme forms in early growth of wheat. *Phytochemistry* 6: 465-471.

- Miller, P. R., J. R. Parmeter, Jr., B. H. Flick, and C. W. Martinez. 1969. Ozone dosage response of ponderosa pine seedlings. *J. Air Poll. Cont. Assoc.* 19: 435-438.
- Rich, S. 1964. Ozone damage to plants. *Ann. Rev. Phytopath* 2: 253-266.
- Richards, B. L. and O. C. Taylor. 1965. Significance of atmospheric ozone as a phytotoxicant. *J. Air Poll. Cont. Assoc.* 15: 191-193.
- Scurfield G. 1960. Air pollution and tree growth. *For. Abstr.* 21 (3): 339-347 (Part I); 21 (4): 517-528 (Part II).
- Sinclair, W. A. and A. C. Costonis. 1968. Factors affecting acute injury of Pinus strobus by ozone. (Abstr.) *Phytopathology* 58: 403.
- Taylor, O. C. 1969. Importance of peroxyacetyl nitrate (PAN) as a phytotoxic air pollutant. *J. Air Poll. Cont. Assoc.* 19: 347-351.
- Treshow, M. 1968. The impact of air pollutants on plant populations. *Phytopathology* 58: 1108-1113.
- \_\_\_\_\_. 1969. Environment and plant response. McGraw-Hill Book Co., New York. 422 pp.

#### ABSTRACT

Response of eastern white pine (Pinus strobus L.) to ozone ( $O_3$ ) and sulfur dioxide ( $SO_2$ ) was studied utilizing controlled fumigation chambers in the greenhouse. Response was judged by preliminary screening tests, repeatability analysis, and biochemical analyses.

Tolerant and sensitive clones were fumigated at concentrations of 5, 10, 30, and 60 parts per hundred million (pphm)  $O_3$ , 2.5, 5, 15, and 45 pphm  $SO_2$ , and 2.5 pphm  $SO_2$  plus 5 pphm  $O_3$  in combination. Fumigations were conducted for six hours. No damage occurred at 5 pphm  $O_3$ , while one clone of each class was injured at 10 pphm. At 30 pphm, 60 percent of the sensitive clones were damaged slightly; at 60 pphm, 20 percent of the sensitive and 60 percent of the tolerant clones were injured. At 2.5 pphm  $SO_2$ , injury occurred on 20 percent of the sensitive clones tested; tolerant clones were not damaged. All sensitive clones treated with 5 pphm were damaged, while 60 percent of the tolerant clones developed symptoms. Fifteen pphm injured all sensitive clones and 60 percent of the tolerant clones. At 45 pphm all clones were severely damaged. The sensitive clones treated with 2.5 pphm  $SO_2$  plus 5 pphm  $O_3$  were damaged but the tolerant clones were not affected.

A repeatability analysis was conducted with 400 ramets in a replicated randomized block design, treated with 2.5 pphm  $SO_2$  plus 5 pphm  $O_3$ . Analysis indicated that tolerance is under strong genetic control. Thin layer chromatography was performed with phenolic extracts of current years' needle tissue from selected individuals. Consistent differences were observed between the two resistance classes. Disc electrophoretic analyses compared sensitive and tolerant foliage extracts for esterases, phenol oxidases and peroxidases.

## D I S K U S S I O N

SCHÜTT:

Sie arbeiteten mit Pfropflingen; diese Pflanzen stehen also auf einer fremden Wurzel. Wenn der Wasserhaushalt für die Ergebnisse eine Bedeutung hat, mußten demnach Interaktionen zu beobachten sein.

STAIRS:

I think we are working under optimal conditions regarding water stress. Therefore I think it did probably not.

# ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN RAUCHHÄRTE<sup>x)</sup> UND CUTICULARWACHSEN BEI KONIFEREN

von

P. SCHÜTT und H. J. SCHUCK

Botanisches Institut der Universität des Saarlandes  
Forstbotanisches Institut - München

## Einleitung und Problemstellung

Es liegt im Wesen der phytopathologischen Forschung, nach der qualitativen und quantitativen Beschreibung eines Schadens dessen Ursache zu suchen, später die physiologisch-stofflichen Abwehrmechanismen der bedrohten Pflanze zu erkennen und schließlich Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Auch in der Rauchschaadensforschung beschreitet man diesen Weg. Hier allerdings verliefen die genannten Schritte wegen der schnellen zunehmend bedrohlichen Entwicklung der Schäden nicht chronologisch nacheinander, sondern annähernd gleichzeitig nebeneinander.

Mit der Wirkungsweise verschiedener Rauchimmissionen auf Waldbäume hat man sich von mehreren Aspekten her beschäftigt. So wurde belegt, daß Art- und Individualunterschiede in der Rauchhärte mit entsprechenden Differenzen in der Nettoassimilation und in der Transpirationsintensität einhergehen (VOGL und BÖRTITZ, 1965; BÖRTITZ und VOGL, 1967). Andere Autoren weisen auf eine Blockierung der Regulationsfähigkeit der Stomata hin (VOGL, BÖRTITZ und POLSTER, 1964). Abgesehen davon, daß auch hier noch mancherlei Fragen unbeantwortet bleiben, werden die stofflichen Ursachen des Phänomens mit diesen Experimenten noch nicht berührt. Ansätze dafür finden sich u. a. in den Arbeiten von HÄRTEL, 1953, HÄRTEL und PAGESCH, 1955 sowie PELZ und MATERNA, 1964. Die-

x) durchgeführt mit finanzieller Unterstützung der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz, Essen.

se Autoren räumen den Cuticularwachsen der Blattorgane eine wesentliche Bedeutung als Abwehrmechanismen gegen Immissionen ein. Während PELZ und MATERNA Zusammenhänge zwischen der Stärke der Wachsschicht und der Intensität des Rauchschadens bei Fichten feststellten, schloß HÄRTEL aus der Eignung seines "Trübungstests" für die Schadensdiagnose auf die Abwehrfunktion der Cuticularwachse schlechthin. Er unterstellt die Fähigkeit der Nadeln zur ständigen Wachsneubildung und meint, selbst geringe  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen führten bei längerer Einwirkung zu einer stark erhöhten Wachsproduktion der Nadeln. Seit den Untersuchungen HÄRTEL's sind die Methoden der analytischen Chemie wesentlich verfeinert worden. Es lag daher nahe, im Rahmen eines weiter gespannten Programmes sowohl die Ergebnisse MATERNA's als auch die Schlussfolgerungen HÄRTEL's unter Anwendung moderner, rel. zuverlässiger Untersuchungsmethoden zu überprüfen und damit einen Beitrag zur Biochemie der Rauchhärte von Forstpflanzen zu liefern. Im wesentlichen interessierte dabei die Beantwortung folgender Fragen:

1. beruhen Art- und Individualunterschiede in der Rauchhärte auf quantitativen oder qualitativen Differenzen in den Cuticularwachsen?
2. werden Menge und Qualität der Wachse durch Immissionseinwirkungen am Standort beeinflusst?

## 2 Material und Methode

### 2.1. Probenahme

Als Untersuchungsmaterial wählten wir folgende, auf Industrieimmissionen unterschiedlich reagierende Gymnospermenarten aus: *Abies grandis*, *Chamaecyparis lawsoniana*, *Pinus nigra* und *Picea pungens* als relativ rauchharte, *Picea abies*, *Picea omorika*, *Pinus silvestris* und *Pseudotsuga menziesii* als relativ empfindliche Vertreter.

Im Februar/März 1969 wurden von jeweils 2 - 3 Individuen

dieser Arten ein- und zweijährige unbeschädigte Nadeln (50 g Frischgewicht pro Baum) entnommen. Bei *Chamaecyparis* konnte zwischen ein- und zweijährigen Blattorganen nicht unterschieden werden. Die Probe besteht hier aus 50 g frischen Triebspitzen.

Um zu prüfen, ob die Nadelwachse unter Raucheinfluß eine abweichende chemische Zusammensetzung aufweisen, entnahmen wir stets Probenpaare: ein Paar stammte aus immissionsgefährdetem, das andere aus immissionsfreiem Gebiet (Ausnahme: *Picea omorika* und *Picea pungens*). Tabelle 1 läßt die Verteilung des Untersuchungsmaterials erkennen.

Die chemische Analyse der Wachse wurde nur an einjährigen Blattorganen durchgeführt. Zur Bestimmung des Wachsegehaltes zogen wir hingegen ein- und zweijährige Nadeln heran. Für *Chamaecyparis* trifft dies nicht zu.

Um zu klären, ob individuelle Unterschiede in der Rauchempfindlichkeit mit der Wachszusammensetzung des jeweiligen Baumes in Verbindung stehen, analysierten wir die Nadelwachse von *Pinus nigra*-Klonen aus einer permanent immissionsgefährdeten Samenplantage des Forstamtes Haard in Haltern (Westfalen). Die Nadeln stammten von den Spitzentrieben der nach Süden gerichteten Äste. Die Bäume wurden auf Grund ihrer Benadelung als rauchempfindlich oder rauchhart eingestuft. Nur die Extremklone wurden in die Untersuchungen einbezogen.

## 2.2. Chemische Analysen

Unmittelbar nach der Probenahme wurden die Nadelwachse mit destilliertem Chloroform extrahiert, gereinigt und bis zur Trennung in Rollrandgläsern bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Durch Kombination zweier bekannter dünnschichtchromatographischer Verfahren (RADLER and HORN 1965; KAUFMANN und DAS 1963) ließen sich aus den Nadelwachsen die Kohlen-

	immissionsgefährdet		+ immissionsfrei		
	Keltwig Essen	Bottrop Herten	Haltern (Westfa- len)	Grafrath b. Münch- en	Dudweiler b. Saar- Essen brücken
<i>P. omorika</i>		3(4/3)			
<i>P. excelsa</i>	3(6/3)	3(4/3)			1(1/1)
<i>P. pungens</i>	3(7/3)				
<i>Pseud. menz.</i>		3(6/6)		2(1/1) <sup>x)</sup>	
<i>Abies grandis</i>	3(6/3)			2(4/4) <sup>x)</sup>	
<i>Cham. lav.</i>	3(6)	3(6)		2(3) <sup>x)</sup>	
<i>P. silv.</i>	3(5/3)	3(6/1)			1(1/1)
<i>P. nigra</i>	3(6/6)	3(5/6)	3(10/10) <sup>xx)</sup>	2(2)	1(1/1)

Tab i Verteilung des Untersuchungsmaterials. Anzahl der Probenahmen für die chemischen Analysen und für die Bestimmung der Wachsmengen (in Klammern). Die erste Zahl innerhalb der Klammer gibt die Anzahl der Wiederholungen für zweijährige Nadeln an.

x) Mischproben

xx) Hier wurden von rauchresistenten und rauchanfälligen Klonen 2 Individuen und eine Mischprobe geprüft.

wasserstoff-, Ester-, Alkohol- und Fettsäurefraktion isolieren. Im ersten Analysengang wurden nur die Alkohole und Fettsäuren aus dem Wachs gewonnen. Kohlenwasserstoffe und Ester bildeten hingegen eine gemeinsame Fraktion, deren Trennung wir in einem zweiten Analysengang vornahmen.

Die Analyse der einzelnen Fraktionen erfolgte gaschromatographisch. Bei der planimetrischen Auswertung der Chromatogramme wird die Peakfläche jeder Einzelkomponente stets als prozentualer Anteil an der Gesamtpeakfläche eines Chromatogrammes ausgedrückt. Nähere Einzelheiten über Analysengang und Auswertung können bei SCHUCK (1970) entnommen werden.

### 3. Versuchsergebnisse

#### 3.1. Wachsmenge

Vor Beginn der qualitativen Analysen wurde von allen Proben das Gewicht des Chloroformextraktes ermittelt. Es wird stets als prozentualer Anteil am Nadelfrischgewicht ausgedrückt. Wie Tab. 2 zeigt, bestehen hinsichtlich des Wachsgewichtes deutliche Unterschiede zwischen den geprüften Arten.

	1 jährige Nadeln	2 jährige Nadeln
<i>Picea abies</i>	0.30	0.27
<i>Abies grandis</i>	0.36	0.31
<i>Pinus silvestris</i>	0.42	0.39
<i>Picea pungens</i>	0.44	0.39
<i>Pinus nigra</i>	0.51	0.53
<i>Picea omorika</i>	0.65	0.68
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0.68	0.59
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1.03	0.82

Tab. 2 Wachsgelhalte verschiedenalteriger Blattorgane einiger Gymnospermenarten (Mittelwerte in % des Nadelfrischgewichtes)

Kettw.	Bottr.	Herten	Haltern	Grafr.	Dudwei- ler	Dudenho- fen
P. omorik.	0.65(0,68)					
P. abies	0.25(0,24)	0.37(0,29)			0.34	
P. pungens	0.44(0,39)					
Pseud. menz.	1.03(0,82)		0.67			
Abies grand.	0.36(0,27)		0.38(0,36)			
Cham. laws.	0.58	0.57	0.68			
P. silv.	0.43(0,40)	0.41(0,38)			0.49	0.41(0,42)
P. nigra	0.46(0,52)	0.44(0,41)	0.52(0,54)	0.73(0,82)	0.67	

Tab. 3 Wachsgelalte ein- und zweijähriger Blattorgane in Abhängigkeit vom Anbauort (Werte für zweijährige Nadeln in Klammern)

*Picea abies* und *Abies grandis* zeichnen sich demnach durch sehr geringen, *Pseudotsuga menziesii* hingegen durch relativ hohen Wachsgehalt aus. Selbst innerhalb der gleichen Gattung sind größere Unterschiede in der Wachsquantität festzustellen. Ein- und zweijährige Blattoorgane bilden unterschiedlich viel Wachs aus. Mit Ausnahme von *Picea omorika* und *Pinus nigra* nimmt der Wachsgehalt mit zunehmendem Alter ab. Besonders deutlich ist die Differenz zwischen ein- und zweijährigen Blattoorganen bei *Pseudotsuga menziesii* ausgeprägt.

Zusammenhänge zwischen der Wachsmenge und der aus der Literatur bekannten artspezifischen Anfälligkeit gegenüber Industrieemissionen lassen sich aus diesem Ergebnis allerdings nicht ableiten. *Picea excelsa* und *Pseudotsuga menziesii* gehören beide zu den rauchempfindlichen Arten, doch weisen die Nadeln der Fichte eine geringe, die der Douglasie eine große Wachsmenge auf. Außerdem sind die Differenzen im Wachsgehalt zwischen anfälligen und resistenten Arten zu gering, um die unterschiedliche Rauchhärte erklären zu können (z.B. *A. grandis*, *P. abies*).

Wie Tabelle 3 zeigt, variiert die Wachsmenge auch mit dem Anbauort der Bäume; doch ist die Tendenz nicht einheitlich. Während die Wachsquantität bei *Pinus silvestris* und *Abies grandis* an allen Standorten annähernd gleich bleibt, scheint sie bei der Douglasie und der Schwarzkiefer mit zunehmender Immissionsstärke am Anbauort eher abzunehmen.

Darüber hinaus ließen sich auch deutliche Individualunterschiede in den Wachsquantitäten feststellen. Diese stehen aber, wie die Ergebnisse von Untersuchungen an Schwarzkiefer-Klonen aus Haltern zeigten, in keinem Zusammenhang mit der unterschiedlichen Anfälligkeit gegenüber Industrieemissionen. Ermittelt man die Durchschnittswerte der Wachsmengen, so besteht zwischen rauchharten und rauchanfälligen Klonen kein Unterschied. Dies gilt sowohl für ein- als auch für zweijährige Nadeln:

	1 jährige Nadeln	2 jährige Nadeln
anfällige Klone	0.53	0.55
resistente Klone	0.52	0.52

### 3.2. Zusammensetzung der Wachsfraktionen

Mit Hilfe der Dünnschichtchromatographie ließ sich das Gesamtwachs in 4 Fraktionen trennen. Jede Einzelfraktion wurde in weiteren Analysengängen gaschromatographisch untersucht und nach planimetrischer Ermittlung der Peak-Größen im Hinblick auf Differenzen in der Zusammensetzung der Einzelkomponenten ausgewertet. Im folgenden werden die Resultate von 3 Fraktionen (Paraffine, Alkohole und freie Ester) mitgeteilt, die Auswertung der Fettsäuren ist noch nicht abgeschlossen.

#### 3.2.1. Paraffine

##### 3.2.1.1. Unterschiede zwischen rauchharten und rauchempfindlichen Arten

In Übereinstimmung mit den wenigen, meist unter chemotaxonomischen Aspekten durchgeführten Cuticularwachs-Analysen an Nadelbäumen (BORGES del CASTILLO et al., 1967, HERBIN and SHARMA, 1969), erstreckten sich auch die Kohlenwasserstoffe<sup>x)</sup> der hier untersuchten Arten auf den Bereich von C<sub>19</sub> bis C<sub>35</sub>, wobei die Komponenten mit ungeraden C-Zahlen überwogen. Das Schwergewicht liegt i. a. auf C<sub>25</sub>, C<sub>27</sub> und C<sub>29</sub>, eine Aussage, die mehr oder weniger deutlich für alle Pinaceae unseres Untersuchungsmaterials zutrifft. Stark abweichend verhält sich jedoch *Chamaecyparis laswoniana*, deren Wachs-Paraffine auf den Bereich oberhalb C<sub>31</sub> konzentriert sind.

Generell ist die intraspezifische Streuung zwischen den Individual-Spektren der KWS gering genug, um - zumindest

x) im folgenden mit KWS abgekürzt

unter etwa gleichen Immissionsbedingungen - eine mittlere Verteilungskurve jeder Art zeichnen zu können.

Aus Abb. 1 geht einmal die deutlich abweichende KWS-Verteilung von *Chamaecyparis lawsoniana*, zum anderen das relativ einheitliche Verhalten der vertretenen *Abies*-, *Picea*-, *Pinus*- und *Pseudotsuga*-Arten hervor. *Picea abies* und *Abies grandis* fallen nur unwesentlich durch relativ hohe Anteile von  $C_{25}$ , bzw.  $C_{27}$  und  $C_{29}$  aus dem Rahmen.

Damit aber wird offenkundig, daß zwischen rauchharten und rauchempfindlichen Arten keine grundsätzlichen Differenzen in der Zusammensetzung der Wachs-Paraffine vorkommen.

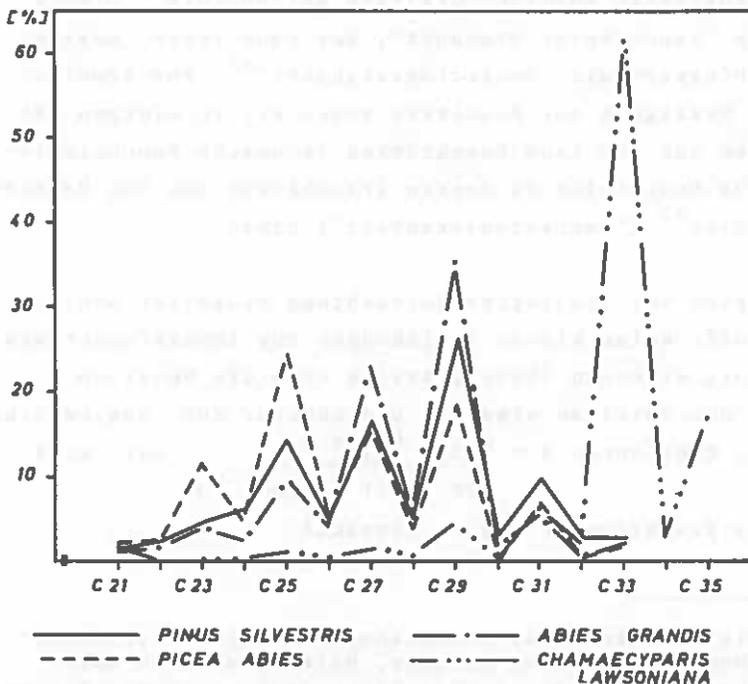


Abb. 1: Kohlenwasserstoffverteilung bei verschiedenen Gymnospermen

Die widerstandsfähigen Arten *Abies grandis*, *Pinus nigra* und *Chamaecyparis lawsoniana* haben in dieser Hinsicht keine gemeinsamen Kriterien, durch die sie sich von den KWS-Spektren der empfindlichen Arten *Pinus silvestris*, *Picea abies*, *Picea omorika* und *Pseudotsuga menziesii* unterscheiden.

Auch die Prüfung zahlreicher KWS-Kombinationen (Relationen zwischen niederen und höheren KWS, Anteile gerader oder ungerader KWS etc.) führte nicht zum Auffinden von Artunterschieden, die mit der jeweiligen Rauchhärte übereinstimmten.

### 3.2.1.2. Unterschiede zwischen immissionsbeeinflussten und immissionsfreien Standorten

Die Art der Probenahme machte Vergleiche zwischen Bäumen der gleichen Art auf Standorten unterschiedlicher Immissionsintensitäten möglich. Grafrath bei München<sup>x)</sup> diente dabei als "rauchfreier Standort", der Raum Essen, Herten, Bottrop hingegen als "Immissionsstandort"<sup>x)</sup>. Zur Erweiterung und Festigung der Resultate zogen wir in einigen Fällen Proben aus dem Raum Saarbrücken (schwache Raucheinwirkung), aus Dudenhofen in Hessen (rauchfrei) und aus Haltern in Westfalen<sup>x)</sup> ("Immissionsstandort") hinzu.

Während sich bei isolierter Betrachtung einzelner Kohlenwasserstoffe keine klaren Beziehungen zur Immissionsstärke am Standort erkennen ließen, erwies sich die Relation zwischen den Anteilen niederer und höherer KWS, ausgedrückt durch den Quotienten  $R = \frac{C_{23} + C_{25} + C_{27}}{C_{29} + C_{31} + C_{33} + C_{35}}$  als recht sensibles Kriterium in dieser Hinsicht.

-----  
x) für die Erlaubnis zur Probenahme sind wir Prof. Rohmender, München und Ofm. Schäfer, Haltern zu Dank verpflichtet. Herrn Dr. Knabe, Essen danken wir die Probenahme im Ruhrgebiet, die er in eigener Regie durchführte.

Bei den rauchharten Species *Pinus nigra*, *Abies grandis* und *Chamacyparis lawsoniana* liegt R in rauchfreien Gebieten deutlich höher als in rauchbeeinflussten:

	P. nigra	A. grandis	Ch. lawsoniana
GRAFRATH	2,07	1,01	0,151
SAARBRÜCKEN	1,64	-	-
HALTERN	1,29	-	-
ESSEN, HERTEN	1,01	0,84	0,029

Offenbar nimmt der Anteil niederer Kohlenwasserstoffe bei Raucheinwirkung erheblich ab. Diese Tendenz ist jedoch bei den rauchempfindlichen Arten *Picea abies*, und *Pinus silvestris* nicht zu beobachten:

	ESSEN	SAARBRÜCKEN	DUDENHOFEN
FICHTE	1,86	1,74	-
KIEFER	0,91	0,87	0,59

Hier besteht eher der Anschein, als nehme R mit steigender Raucheinwirkung zu.

### 3.2.1.3. Vergleiche innerhalb der Art

Die Möglichkeit, individuelle Rauchhärte-Unterschiede in unsere Untersuchungen einzubeziehen, war unter versuchstechnisch einwandfreien Bedingungen nur im Fall der Schwarzkiefern-Plantage des Forstamtes Haard (Haltern, West.) gegeben. Diese steht unter ständiger Immissionseinwirkung und enthält 15 jährige Pflanzlinge von im selben Forstamt erwachsenen wüchsigen Mutterbäumen. Sofern diese Pflanzlinge kloneinheitlich Unterschiede im Nadelverlust erkennen ließen, stuften wir die Extremtypen als anfällig (-) bzw. widerstandsfähig (+) ein.

Insgesamt wurden zwei positive und zwei negative Klone ausgewählt, bei denen die Probenahme teils pflanzlingsweise getrennt, teils in Form von Mischproben erfolgte.

Nach Berechnung der mittleren KWS-Verteilung pro Gruppe lassen sich nur geringfügige Differenzen zwischen widerstandsfähigen und anfälligen Klonen erkennen.

Weil aber besonders im Bereich der niederen KWS die Streuung innerhalb der Gruppen die Streuung zwischen den Gruppen teilweise überdeckte und weil selbst zwischen Pfropflingen des gleichen Klons ähnlich starke Varianzen vorkamen, dürfte diesen Unterschieden kaum praktische Bedeutung zukommen. Offenbar hat ein Teil der beobachteten Varianz ökologische Ursachen.

### 3.2.2. Alkohole

Wachsalkohole bei Koniferen wurden noch seltener untersucht als Kohlenwasserstoffe. Mit dem von uns angewandten gaschromatographischen Verfahren ließen sich Alkohole im Bereich von  $C_{22}$  bis  $C_{32}$  nachweisen, wobei solche mit geraden C-Zahlen deutlich dominierten. Hauptkomponente war durchweg  $C_{28}$ .

#### 3.2.2.1. Artunterschiede

Im Gegensatz zu den rel. einheitlich reagierenden KWS erlaubte die starke Individualstreuung bei den Alkoholen nicht die Aufstellung von mittleren Artspektren.

Dennoch gibt es Differenzen, die außerhalb dieser Einschränkung liegen. Dabei handelt es sich in erster Linie um das abweichende Verhalten von *Chamaecyparis lawsoniana*, deren Alkohole im unteren C-Bereich konzentriert sind. Keine andere der geprüften Arten hat ein ähnliches Alkoholspektrum.

Unbeeinflusst von der starken Individualstreuung ist ferner der hohe  $C_{29}$ -Anteil von *Douglasie* und *Abies grandis*, sowie

der extrem geringe Anteil von Alkoholen mit ungeraden C-Zahlen bei beiden Kiefernarten.

Alle diese Differenzen stehen jedoch nicht im Zusammenhang mit der Rauchempfindlichkeit der betr. Arten.

### 3.2.2.2. Individualunterschiede und Differenzen in der Immissionsstärke

Klon- und Individualunterschiede in der Zusammensetzung der Wachsalkohole sind in dem erwähnten Schwarzkiefernmaterial aus Haltern (Abschn. 3.2.1.2.) auffallend gering. Demzufolge bestehen auch zwischen rauchharten und rauchempfindlichen Klonen keine nennenswerten Differenzen.

Gleichermaßen gering sind die Unterschiede zwischen Bäume der gleichen Art unter verschiedenen starken Immissionsintensitäten. Auch in der Relation zwischen den Anteilen niederer und höherer Alkohole bestehen keine gesicherten Verschiedenheiten zwischen rauchfreien und rauchgeschädigten Standorten.

### 3.2.3. Freie Ester

Die bislang bei Koniferen kaum beschriebenen freien Wachsester bildeten im Gaschromatogramm ein weniger einheitliches Bild als Paraffine und Alkohole. Insbesondere enthält der höhermolekulare Bereich mehrere nicht identifizierte Komponenten mit uneinheitlichen Retentionszeiten. Weil sie die Vergleichbarkeit stark beeinträchtigten, beschränkten wir die Auswertung auf die ersten 12 Esterpeaks des Chromatogramms. (Retentionszeiten: 30 min bis 60 min).

#### 3.2.3.1. Artunterschiede

Selbst bei Beschränkung auf die 12 niedermolekularen Ester

wird die Auswertung durch rel. starke, in Einzelfällen extreme Individualstreuungen entscheidend erschwert. Insbesondere kamen immer wieder Umlagerungen zwischen benachbarten Peaks vor, die jeden Vergleich zweifelhaft machen. Diese Fehlerquelle wurde durch Zusammenfassung der benachbarten Peaks 3 bis 5 und 7 bis 9 zwar reduziert, aber nicht beseitigt. Erst bei einer Gruppierung in niedere (1-5) und höhere Ester (7-12) lassen sich rel. stabile Artunterschiede ablesen:

	1-5	7-12
<i>Picea abies</i>	79,1 %	18,4 %
<i>Picea omorika</i>	21,3 %	78,7 %
<i>Pseudotsuga menz.</i>	29,1 %	71,7 %
<i>Pinus silvestris</i>	24,6 %	75,4 %
<i>Pinus nigra</i>	39,3 %	60,3 %
<i>Abies grandis</i>	24,2 %	75,9 %
<i>Cham. lawsoniana</i>	50,3 %	47,0 %

Offensichtlich weicht die Fichte, und in geringerem Maß auch *Chamaecyparis* in der Verteilung der freien Wachsester von den anderen geprüften Koniferen ab. Eine Übereinstimmung mit der artbedingten Rauchhärte ist jedoch nicht zu erkennen.

### 3.2.3.2. Individualunterschiede und Differenzen in der Immissionsstärke

Wie schon bei den Alkoholen, so verhalten sich die individuellen Schwankungen auch im Estergehalt weitgehend ungerichtet. Mit anderen Worten werden die Differenzen zwischen den Klonen von Differenzen innerhalb der Klone überdeckt und eine Übereinstimmung der Ester-Verteilung mit dem individuellen Verhalten gegenüber Immissionen war nicht gegeben.

Demgegenüber ist bei einigen, rel. rauchharten Arten eine

gewisse Veränderung des Ester-Spektrums mit der Raucheinwirkung am Standort festzustellen:

		1-5	7-12
Pinus nigra	GRAFPRATH	53,6 %	43,8 %
	HALTERN	37,6 %	61,3 %
	ESSEN	39,3 %	60,3 %
Chamaecyparis laws.	GRAFPRATH	54,0 %	46,0 %
	ESSEN	50,3 %	47,0 %
Abies grandis	GRAFPRATH	18,9 %	81,3 %
	ESSEN	24,2 %	75,9 %

Augenscheinlich ist diese Tendenz jedoch uneinheitlich. Während Schwarzkiefer und Scheinzypresse bei Raucheinwirkung eine Abnahme der niederen Ester erkennen lassen, verhält sich *Abies grandis* gerade entgegengesetzt.

#### 4 Diskussion der Ergebnisse

Kurz zusammengefaßt zeigen die Ergebnisse der quantitativen Wachsanalysen, daß die Menge der Cuticularwachse weder mit der artspezifischen oder individuellen Rauchhärte gekoppelt ist, noch mit der Immissionsintensität am Standort in Verbindung steht. Sie stellt demnach keine statische, von vornherein gegebene Form der Resistenz (Axenie im Sinne GÜMANUS) dar. Außerdem gibt es keinerlei Hinweise für eine verstärkte Wachsbildung der Nadeln als Reaktion auf chronische Immissionen.

Dieser Befund steht in klarem Gegensatz zu den Schlußfolgerungen HÄRTELS (1953, 1955), der aus den Ergebnissen seines "Trübungstests" gerade eben die erhöhten Wachausscheidungen nach SO<sub>2</sub>-Immissionen abliest. Er steht aber auch im Gegensatz zu PELZ und MATERNA (1964), die höhere Wachsmengen auf den Nadeln ungeschädigter Fichten fanden.

Nun bestehen zwischen den von HÄRTEL angewandten Unter-

suchungsmethoden und unseren erhebliche Unterschiede. So nahm HÄRTEL keine direkte Bestimmung der Wachsmenge vor, sondern er schloß aus dem photometrisch ermittelten Trübungsgrad einer nach kurzem Aufkochen der Nadeln erhaltenen Emulsion auf die Menge des darin enthaltenen Wachses. Direkte Vergleiche lassen sich somit nicht anstellen. Generell scheinen jedoch die von HÄRTEL und PAPISCH (1955) ermittelten Daten (4,7 mg Wachs/g Nadelfrischgewicht = 0,47 %) wesentlich höher zu liegen als unsere. Im Übrigen bleibt offen, welche weiteren, durch das Kochen der Nadeln freiwerdenden Stoffe an der Bildung der Emulsion beteiligt waren und damit die Ergebnisse beeinflussen konnten (vgl. auch PELZ und MATERNA, 1964).

Auch die von uns verwendete Extraktionsmethode ist nicht frei von Fehlerquellen. So werden neben den Cuticularwachsen auch andere, den Nadeln aufliegende lipide Substanzen vom Chloroform gelöst. Sie gelangen als schwer abzuschätzende Fehlerkomponente mit in die Einwaage und konnten sich insbesondere bei Vergleichen zwischen rauchfreien und rauchgeschädigten Standorten bemerkbar machen. Insgesamt halten wir aber die Ergebnisse der Wachsgewichtsbestimmungen und die daraus abzuleitenden Tendenzen für stabil genug als daß sie durch diese Fehlerquelle nennenswert beeinträchtigt werden könnten.

Was die Artunterschiede angeht, so bringen auch die für drei Wachsfractionen durchgeführten qualitativen Analysen keinerlei Übereinstimmung zwischen Rauchhärte und dem Verteilungsmuster der Paraffine, Ester und Alkohole. Stets blieben die erkennbaren, innerhalb der untersuchten Pinaceen-Arten jedoch seltenen Artunterschiede ohne jeden Zusammenhang mit der artspezifischen Empfindlichkeit gegenüber  $SO_2$ .

Anders verhielt es sich mit den (intraspezifischen) qualitativen Differenzen in Abhängigkeit von den Immissionsver-

hältnissen am Standort. Sowohl bei Kohlenwasserstoffen wie bei freien Wachsestern gibt es Hinweis dafür, daß der Anteil der niedermolekularen Komponenten an der Gesamtfraction nach Raucheinwirkung abnimmt. Das läßt sich bei den Wachsparaffinen für die rauchharten Arten *Pinus nigra*, *Abies grandis* und *Chamaecyparis lawsoniana* belegen, nicht aber für die empfindlichen Spezies *Picea abies* und *Pinus silvestris*. Bei den Estern reagierte nur *Pinus nigra* und *Cham. laws.* in der skizzierten Weise.

Die Ergebnisse sind jedoch zu schwach belegt und auch nicht einheitlich genug, als daß man sie vor dem Hintergrund einer  $SO_2$  bedingten biochemischen Veränderung der Cuticularwachse oder gar eines möglichen Resistenzmechanismus diskutieren könnte.

## 5 Zusammenfassung

Von Blattoorganen rauchharter und rauchempfindlicher Gymnospermenarten wurden quantitative Bestimmungen des Cuticularwachses durchgeführt und außerdem qualitative Analysen seiner Kohlenwasserstoff-, Alkohol- und Esterfraktionen vorgenommen. Weder die gesamte Wachsmenge noch die Zusammensetzung der genannten Fraktionen standen in Übereinstimmung mit der artbedingten oder individuellen Rauchempfindlichkeit des Untersuchungsmaterials.

Auch mit der Immissionsintensität am Anbauort korrespondiert die Wachsmenge nicht. Demgegenüber scheinen die niedermolekularen Komponenten der Paraffin- und Esterfraktion rauchharter Spezies mit steigender Immissionsstärke abzunehmen.

## Literatur

1. BORGES del CASTILLO, J., C.J.W. BROOKS, R.C. GAMBLE, G. EGLINTON and R.J. HAMILTON: The taxonomie distribution of some hydrocarbons in Gymnosperms. *Phytochemistry* 6, 391-98, 1967

2. BÖRTITZ und M. VOGL: Zur Transpiration von Koniferennadeln bei unterschiedlicher  $\text{SO}_2$ -Einwirkung. *Archiv f. Forstwesen* 16, 6/9, 663-666, 1967
3. HÄRTEL, O.: Eine neue Methode zur Erkennung von Rauchwirkungen an Fichten. *Zbl. f.d.ges. Forst- und Holzw.* 72, 12-21, 1953
4. HÄRTEL, O. und E. PAPESCH: Über die Wachsausscheidungen von Koniferen. *Ber.Dt.Bot.Ges.* 68, 133-142, 1955
5. HERBIN, G.A. and K. SHARMA: Studies on plant cuticular waxes. V. The wax coatings of pine needles: a taxonomic survey. *Phytochemistry* 8, 151-160, 1969
6. KAUFMANN, H.P. und DAS, B., 1963: Die Dünnschicht-Chromatographie auf dem Fettgebiet. IX. Die Analyse der Esterwaxse. *Fette-, Seifen-, Anstrichmittel* 65, 398-402
7. PELZ, E. und J. MATERNA: Beiträge zum Problem der individuellen Rauchhärte von Fichte. *Arch. f. Forstwesen* 177-210, 1964
8. RADLER, F. and HORN, D.H.S., 1965: The composition of grape cuticle wax. *Aust. J. Chem.* 18, 1059-1069
9. SCHUCK, H.J.: Die Zusammensetzung der Nadelwaxse von *Pinus silvestris* L. in Abhängigkeit von Herkunft und Nadelalter sowie ihre Bedeutung für die Anfälligkeit gegenüber *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chev. Dissertation Saarbrücken 1970
10. VOGL, M. und BÖRTITZ, S.: Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchsadensforschung. 4. Mitt. Zur Frage der physiologisch und physikalisch bedingten  $\text{SO}_2$ -Resistenz von Koniferen. *FLORA* 155, 347-52, 1965

#### CONNECTION BETWEEN FUME RESISTANCE AND CUTICULAR WAXES IN CONIFERS

BY P. SCHÜTT AND H. J. SCHUCK  
*Botanisches Institut der Universität des Saarlandes, Saarbrücken  
 und Forstbotanisches Institut, München.*

Quantitative determinations were made of the cuticular wax of the foliage of fume-resistant and fume-sensitive gymnosperms and qualitative analyses were made of its hydrocarbon-, alcohol- and ester-fractions. Neither the total amount of wax, or the composition of these fractions, was related to the species-specific or individual fume-sensitivity of the material investigated.

Also, the amount of wax does not correspond to the intensity of pollution at the growing site. However, the low-molecular components of the paraffin- and ester-fractions of fume-hardy species seem to decrease with increasing pollution intensity.

## D I S K U S S I O N

HÄRTEL:

In Diskussionen und Gesprächen habe ich immer wieder darauf hingewiesen, daß es nicht die Wachse sind, wie ich ursprünglich angenommen habe, die den Trübungstest bestimmen. Die Stoffe die beim Trübungstest extrahiert werden - zweifellos hochpolymerer Natur - haben sich bis jetzt einer chemischen Identifizierung entzogen. Ich kann noch gar nicht sagen, ob diese Stoffgruppe, die den Trübungstest bedingt, unmittelbar etwas mit dem Rauchschaum, mit der Resistenz zu tun hat. Vielleicht ist es nur ein Stoff der dabei zufällig entsteht. Für die Diagnose sind wir vorläufig noch wie vor 15 Jahren auf genau derselben empirischen Basis.



# DIE BEEINFLUSSUNG DER TRANSLOKATIONEN ORGANISCHER STOFFE IN DEN WACHSENDEN TRIEB DURCH FESTE IMMISSIONEN BEI KONIFEREN

von

Gejza STEINHÜBEL

VULH Zvolen

## EINLEITUNG

Das Blatt der immergrünen Laubgehölze und Koniferen erfüllt nicht nur die Aufgabe eines Assimilationsorgans, sondern auch eines Reserveorgans der Pflanze. Es werden hier nämlich nicht alle Photosynthate abgeleitet, sondern es wird ein gewisser Vorrat von organischen Stoffen gebildet, der erst später, während jener Entwicklungsphasen, die mit großen Ansprüchen der Pflanze an Material verbunden sind, an die Stellen des Bedarfes versetzt wird. Solche Phasen sind z.B. das frühjährige Treiben, oder die Fruchtbildung: in beiden Fällen bedürfen die neuen, wachsenden Organe einer Menge von Photosynthaten als Baumaterial oder - hauptsächlich bei der Bildung der Triebe - als Energiequelle. Oft wird bei den Immergrünen dieser Bedarf bis zu 80 % auf Kosten der Vorräte und der Produkte der durchlaufenden Photosynthese alter Blätter kompensiert.

Atmosphärische Verunreinigungen, die auf irgendeine Weise die Photosynthese herabsetzen, bedeuten neben der Verarmung der täglichen Produktion und einer negativen Beeinflussung der dauernd verlaufenden Lebensvorgänge, die von dieser Produktion abhängen, gleichzeitig auch eine Verarmung der Reserven für die Bildung der neuen Organe. Die Verkleinerung der Triebe von immergrünen Koniferen in Immissionsgebieten ist also einerseits die Folge des direkten Einflusses der Immissionen, andererseits die Folge einer Herabsetzung des Nachschubes vom Baumaterial und von Energiequellen. PELZ erwähnt eine ähnliche Ursache der Verarmung der Fruktifikation bei Koniferen.

In diesem Sinne können wir über eine indirekte Einwirkung der Immissionen auf den wachsenden Trieb oder die wachsenden Zapfen sprechen.

Zum Beweis dieser Tatsachen beruft man sich gewöhnlich nur auf das Endergebnis des negativen Einflusses, auf den verminderten Zuwachs oder die verminderte Fruchtbildung. In den letzten Jahren versuchten wir in wenigen, zeitlich begrenzten Orientierungsversuchen direkt zu erfassen, in welchem Maße durch feste, auf das Assimilationsorgan abgelagerte Immissionen die Erfüllung dieser Vorratsaufgabe gehemmt wird. Dabei stützten wir uns an unsere früheren Feststellungen der Herabsetzung der Nettoassimilationsrate durch chemisch inaktiven Hüttenstaub.

#### MATERIAL UND METHODE

Wegen der besseren methodischen Zugänglichkeit begannen wir bei der Untersuchung immergrüner Laubgehölze, und zwar des breitblättrigen Kirschlorbeers, *Prunus laurocerasus* "Latifolia", der im Arboretum der Slowakischen Akademie der Wissenschaften in Mlyňany in mehreren Exemplaren vorhanden ist. Diese Art ist für die angewandte Methode sehr geeignet, erstens wegen der großen Blattfläche, zweitens wegen der großen Hartlaubigkeit (=hohes Gewicht pro Flächeneinheit), drittens wegen der Gleichmäßigkeit der Spreitendicke und Gewichts-symmetrie der Blatthälften und viertens wegen der Persistenz der Blätter (im Versuchsjahre waren sie an drei nacheinander folgenden Zuwächsen vorhanden).

Der Versuch hatte zwei Varianten: die erste mit reinen Blättern und die zweite mit bestäubten Blättern. Der Staubbelaag, dessen Stärke sich den Werten in der Umgebung der Emmissionsquelle näherte, wurde nach Regenfällen und Wind ständig erneuert.

Das eigentliche Verfahren ist eine Modifikation der Blatthälftenmethode. Am ersten Tage der Testperiode (= 24. April - 7. August), die mit der Entwicklung des Frühjahrstriebes in einen

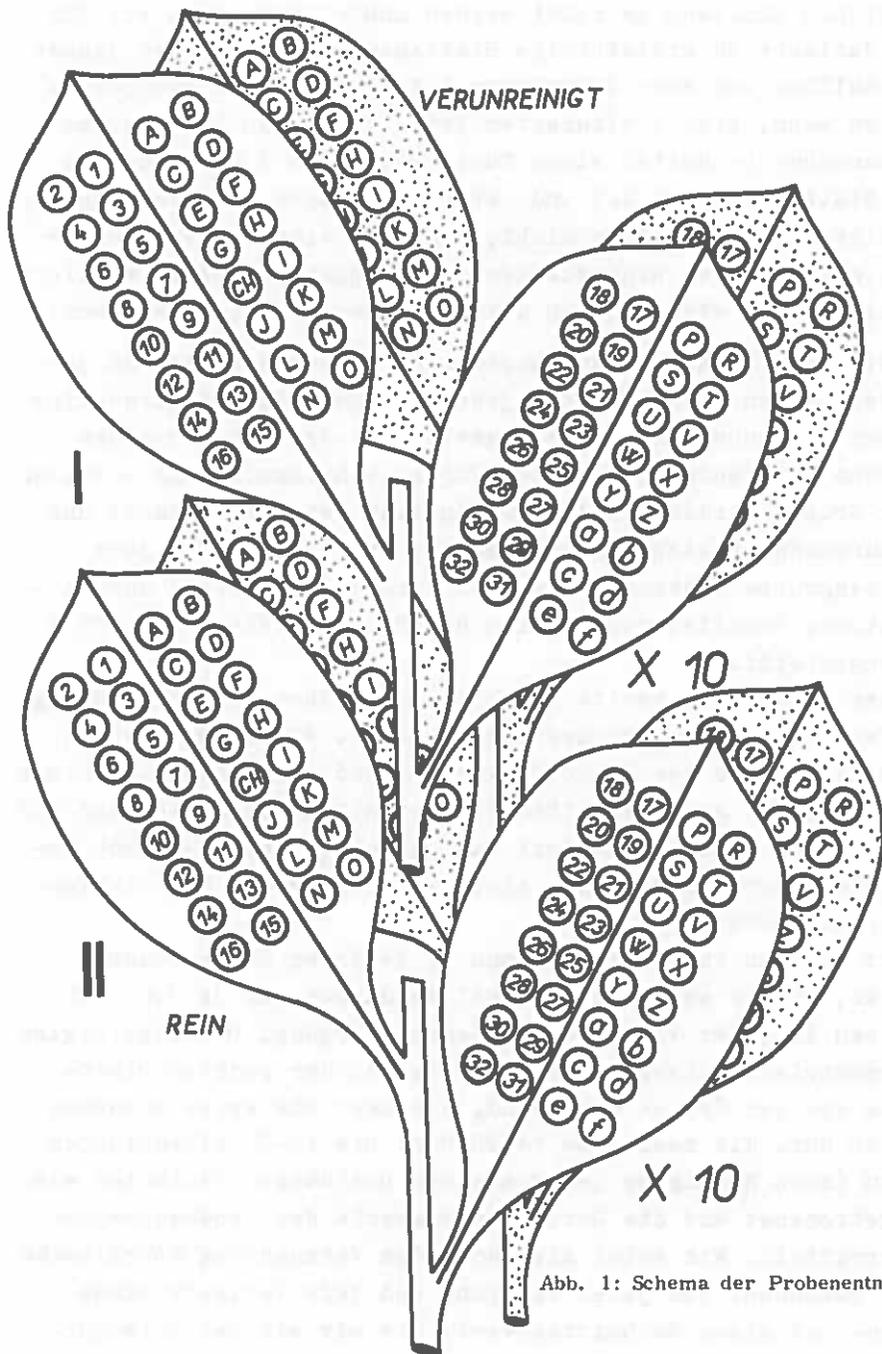


Abb. 1: Schema der Probenentnahme

zeitlichen Einklang gebracht werden mußte, entnahmen wir für jede Variante 32 kreisförmige Blattausschnitte aus den linken Blatthälften von zwei Jahrgängen (einjähriger und zweijähriger) an zehn, gleich situierten Ästen desselben Individuums. Die Ausschnitte hatten einen Durchmesser von 7 mm. Eine einzige Blatthälfte pro Ast und Jahrgang genügte in ihrer Fläche für alle die 32 Scheiben nicht, wenn wir eine notwendige Distanz zwischen den hinterlassenen Öffnungen einhalten wollten; deshalb mußten wir in jedem Jahrgange zwei Blätter benutzen.

Für die Bestimmung des Ausgangswertes hatten wir also in jeder der beiden Varianten für jeden Jahrgang 32 zehngliederige Gruppen von Scheiben, deren einzelne Glieder von einzelnen der zehn untersuchten Äste der Variante herkamen. Die Scheiben jeder Gruppe wurden auf die gewöhnliche Weise getrocknet und das durchschnittliche Trockengewicht pro Scheibe für jede Scheibengruppe bestimmt. Diese 32 Durchschnittswerte wurden - für streng lokalisierte Stellen der Blattspreite - als 100 % gleichgestellt.

Nachdem folgte die zweite Phase des Versuches, die Bestäubung der Versuchsblätter der zweiten Variante. Wie schon erwähnt, wurde die Stärke des Staubbelauges während des ganzen Versuches möglicherweise auf der selben Höhe erhalten. Weder während der Testperiode, noch einige Zeit danach wurden keine - durch Immissionen hervorgerufenen - sichtlichen Nekrosen des Blattgewebes beobachtet.

In der dritten Phase kam es dann an gewissen Tagen (zuerst dichter, später seltener) zu zwei Entnahmen von je 10 x 10 Scheiben in jeder Variante und jedem Jahrgang. Diese erfolgten an symmetrisch entgegengesetzten Stellen der rechten Blatthälfte von der Spitze ausgehend, und zwar die erste Entnahme um 7.00 Uhr, die zweite um 14.00 Uhr. Die 10-Scheibengruppen wurden (nach Reinigung jener aus der bestäubten Variante) wieder getrocknet und die Durchschnittswerte des Trockengewichtes ermittelt. Wir haben also an jedem Versuchstag 8 Vergleichswerte gewonnen, für jeden Jahrgang und jede Variante einen Morgen- und einen Nachmittagswert, die wir mit den entgegen-

gesetzten Ausgangswerten vergleichen konnten. Die prozentuale Abweichung von den Ausgangswerten deutet auf den Assimilatenhaushalt der Blätter im Laufe des Treibens und unter dem Einfluß der Immissionen hin. Dies veranschaulicht ein Grafikon, in dem die Versuchsperiode bis zum 2. Juli an einjährigen Blättern dargestellt ist.

### ERGEBNISSE

Schon am 26.4. sind zwischen den reinen Blättern (zusammenhängende Linie) und den verunreinigten (gestrichelte Linie) deutliche Unterschiede bemerkbar; wobei das Gewicht je Flächeneinheit der Blattspreite bei den reinen noch anstieg, hat die bestäubte Variante schon Verluste (Werte unter 100 %). Der tägliche Zuwachs (Differenz zwischen Morgen- und Nachmittagswerten) ist in den ersten zwei Versuchstagen noch positiv.

Vom 7. Mai an sinken aber die Nachmittagswerte unter die Morgenwerte, d.h., die Verluste durch Ableitung und Atmung sind größer, als die Gewinne durch Photosynthese. Als Folge dieses Hungerhaushaltes sinken dann beide Kurven für beide Varianten bis zum 17. Juni. Die Ausschöpfung der bestäubten Blätter ist auffällig und deutlich größer und die Differenz zwischen beiden Varianten vergrößert sich bis zu diesem Tage. Nachher folgt eine gewisse Erholung, deren folgenden Kurs erfaßt die nächste Abbildung 3. Im Juli wird die Tagesbilanz schon wieder positiv und im September steigen die Kurven der reinen Variante über die 100%-Linie, sodaß sie einen Zuwachs des Flächeneinheitsgewichtes im Vergleich mit den Ausgangswerten aufweisen; die Kurven der verunreinigten Blätter halten sich bis zum 1.9. - als der Versuch eingestellt wurde - stets unterhalb der 100 %-Linie.

Was die zweijährigen Blätter betrifft, so war die Differenz zwischen beiden Varianten anfangs noch größer, als bei den einjährigen, aber sie vergrößerte sich nicht mehr. Im Juni verminderte sie sich plötzlich und seit 11.6. hat der Assimilatenhaushalt beider Varianten eine ähnliche Tendenz.

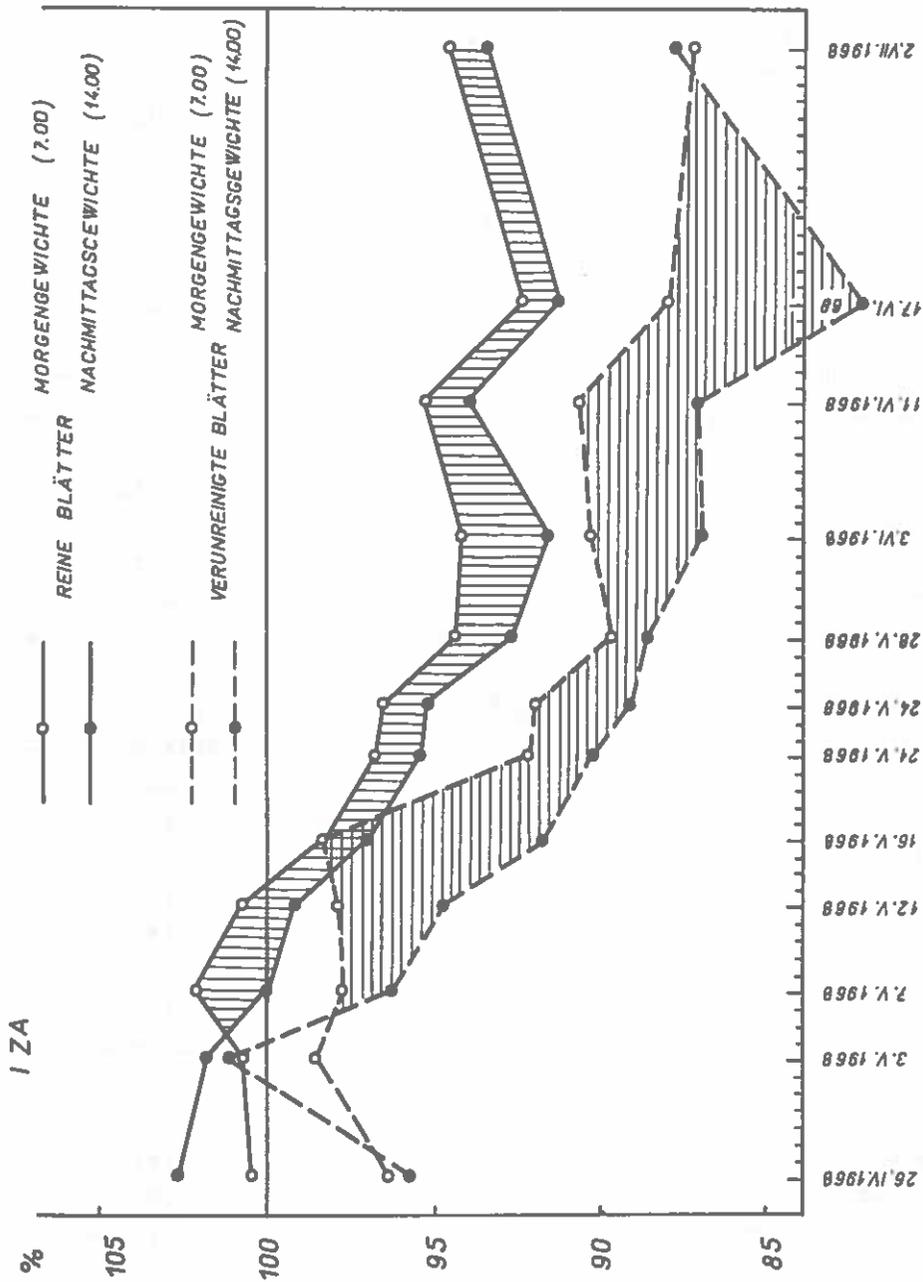


Abb. 2: Herabsetzung der Ausgangsgewichte pro Flächeneinheit alter Blätter beim frühjährlichen Treiben, durch Immissionen beeinflusst.

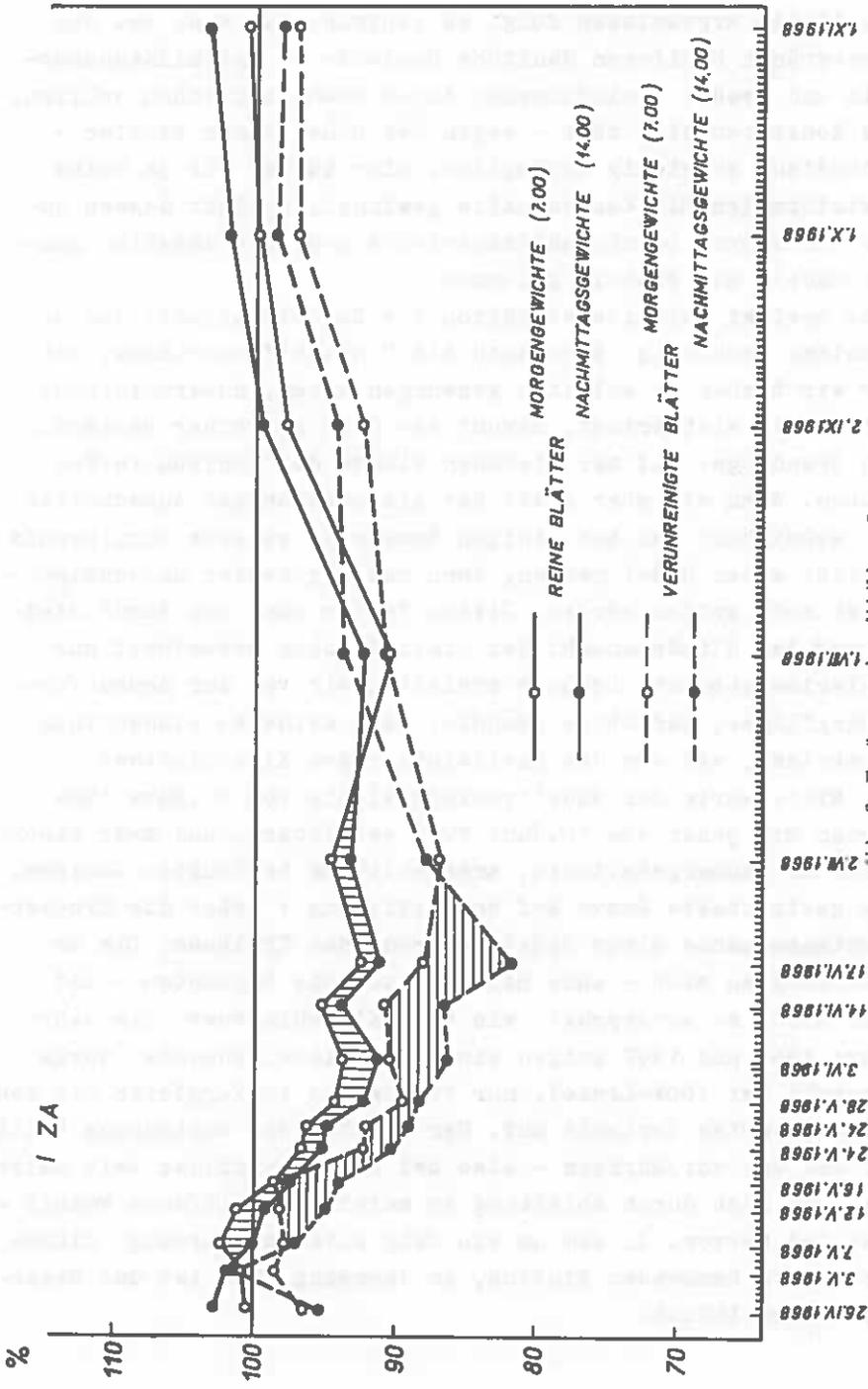


Abb. 3: Ergänzung der Abbildung 2

Aus diesen Ergebnissen folgt es logisch, daß auch bei den immergrünen Koniferen ähnliche Umstände im Assimilatenhaushalt und dessen Beeinflussung durch Staub herrschen sollten. Die Koniferen sind aber - wegen des Baues ihrer Blätter - methodisch schwierig zugänglich; hier können wir ja keine kreisförmigen Blattausschnitte gewinnen. Anstatt dessen haben wir zuerst Durchschnittsgewichte größerer Anzahlen ganzer Nadeln als Einheit genommen.

Dies bewirkt selbstverständlich die Zuverlässigkeit der Ergebnisse ungünstig. Wenn auch die Blatthälftenmethode, mit der wir bisher zu arbeiten gezwungen waren, unvermeidliche Fehler mit sich bringt, beruht sie doch auf einer beständigen Grundlage: auf der gleichen Fläche der konfrontierten Proben. Wenn wir aber statt der gleichflächigen Ausschnitte als Meßeinheit das bei einigen Baumarten so sehr variierende Gewicht einer Nadel nehmen, dann muß der Fehler notwendigerweise noch größer werden. Diesen Fehler kann man durch Steigerung der Gliederanzahl der statistischen Gesamtheit nur teilweise abbauen. Deshalb erhielten wir von der neuen Versuchspflanze, der *Abies grandis*, auch keine so eindeutigen Ergebnisse, wie von dem breitblättrigen Kirschlorbeer.

Die Mittelwerte der Nadelrockengewichte vom 11. März 1969 wurden mit jenen vom 10. Juni 1969 verglichen, und zwar einerseits an saubergehaltenen, andererseits an bestaubten Zweigen. Die gestrichelte Kurve auf der Abbildung 4 zeigt die Trockensubstanzabnahme alter Nadeln während des Treibens. Die Erschöpfung an sich - ohne Hinsicht auf die Varianten - ist hier nicht so ausgeprägt wie beim Kirschlorbeer. Die Jahrgänge 1968 und 1967 zeigen einen deutlichen Zuwachs (Werte oberhalb der 100%-Linie), nur 1966 weist im Vergleich mit den Ausgangswerten Verluste auf. Der Einfluß der Bestäubung tritt nur bei den vorjährigen - also bei denen in dieser Zeit aktivsten und auch durch Ableitung am meisten begriffenen Nadeln - deutlich hervor. In dem um ein Jahr älteren Jahrgang finden wir keinen hemmenden Einfluß, im Jahrgang 1966 ist das Ergebnis uneinheitlich.

**GEWICHTSVERÄNDERUNGEN EINZELNER NADELN  
VON 3 JAHRESTRIEBEN DER ART ABIES GRANDIS  
IM ZEITABSCHNITTE 11.III.- 10.VI. 1969.**

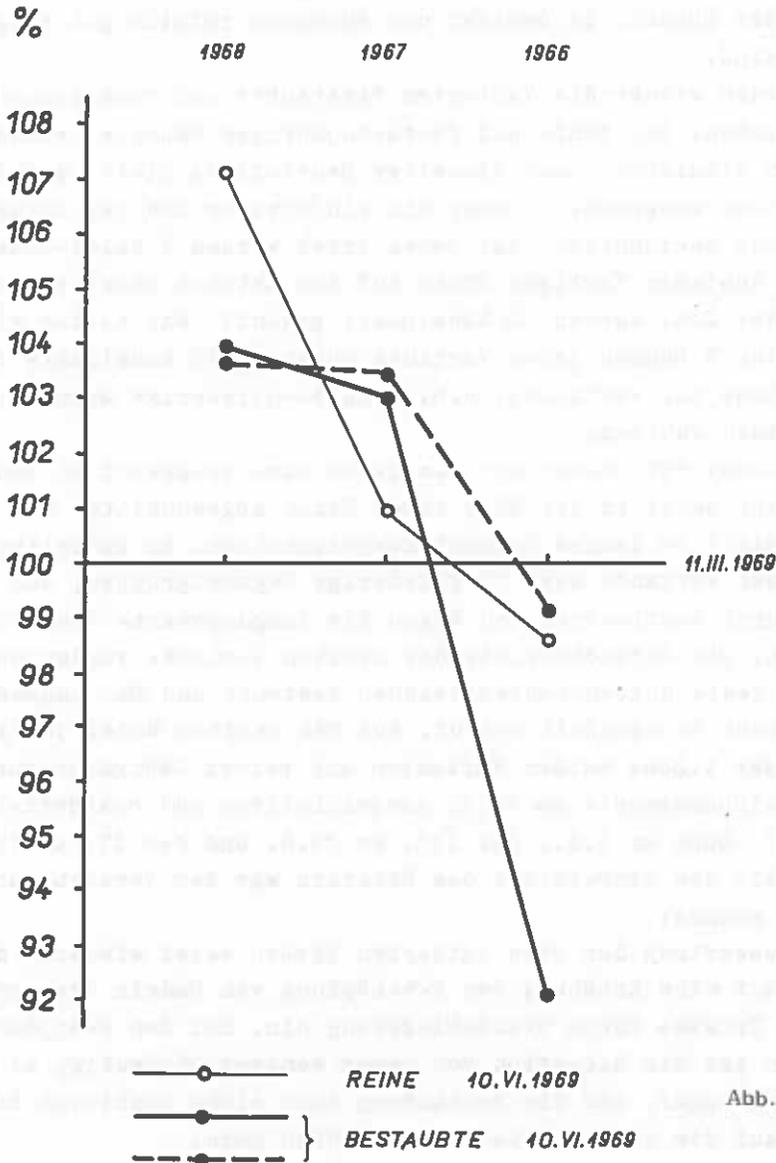


Abb. 4

Um die oben erwähnten Fehler womöglich zu vermeiden, haben wir im Frühjahr 1970 unsere Untersuchungen mit Benutzung von Nadelsegmenten fortgesetzt. Die Segmente werden mit Rasierklingen hergestellt, die in 2 cm Abständen auf einem beweglichen Griff senkrecht befestigt sind. Als Versuchspflanze haben wir diesmal die Schwarzkiefer gewählt, deren zwei Nadeln des Bündels im Gewicht und Ausmaßen relativ gut ausgeglichen sind.

Es wurden wieder die Varianten "bestaubt" und "unbestaubt" verglichen. Auf fünf- und fünfzehnjährigen Bäumchen wurden gleich situierte, nach visueller Beurteilung gleich entwickelte Triebe ausgewählt, immer ein einjähriger und der darunter liegende zweijährige. Auf jedem Trieb wurden 5 Nadel-Zonen durch Anbinden farbiger Fäden auf das Ästchen merkbar gemacht. In jeder Zone wurden 10 Nadelpaare gewählt. Wir hatten also an allen 5 Bäumen jeder Variante zusammen 50 Nadelpaare für jede Zone zur Verfügung, d.h. zehn 50-gliedrige Gruppen, 5 für jeden Jahrgang.

Am 16. Juni 1970 haben wir aus jedem dazu ausgewählten Paare die eine Nadel in der Nähe ihrer Basis abgeschnitten und daraus ein 2 cm langes Segment ausgeschnitten. So erhielten wir in jeder Variante zehn 50-gliedrige Segmentgruppen, aus denen durch Austrocknen und Wägen die Ausgangswerte ermittelt wurden. Die Versuchstriebe der zweiten Variante wurden nachher durch feste Hüttenstaubemissionen bestaubt und die Staubschicht bei jeder Gelegenheit erneut. Aus der zweiten Nadel jedes Bündels der I. Zone beider Varianten und beider Jahrgänge wurden Vergleichssegmente am 12.5. ausgeschnitten und bearbeitet, der II. Zone am 8.6., der III. am 30.6. und der IV. am 17.7. Zur Zeit des Einreichens des Referats war der Versuch noch nicht beendet.

Die Auswertung der oben datierten Proben weist wiederum deutlich auf eine Erhöhung der Erschöpfung von Nadeln des vorjährigen Triebes durch Staubablagerung hin. Bei den zweijährigen Nadeln ist die Situation von neuem weniger eindeutig, es scheint sogar, daß die Bestäubung auch einen positiven Einfluß auf die Assimilationsrate ausüben kann.

**GEWICHTSVERLUSTE DER NADELN DER SCHWARZKIEFER  
WÄHREND DER FRÜHJÄHRLICHEN BILOUNG DER TRIEBE**

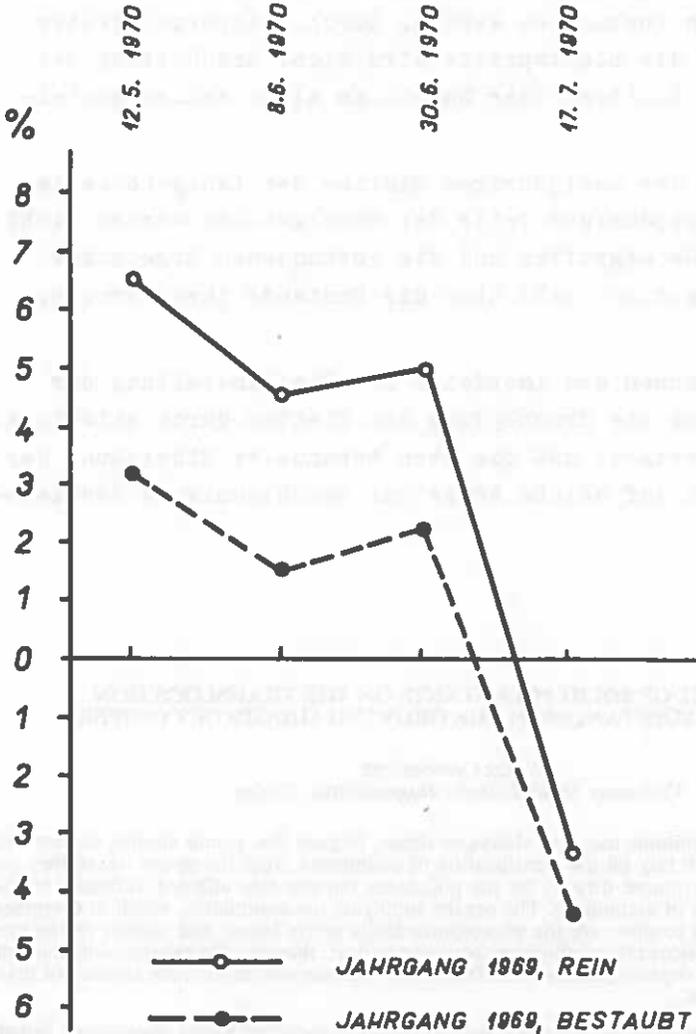


Abb. 5

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

- 1) Bei immergrünen Laubgehölzen und Koniferen werden die alten Blätter beim frühjährlichen Treiben durch Ableitung der organischen Stoffe in die wachsenden Teile und durch ihre Veratmung in solchem Maße ausgeschöpft, daß während einer gewissen Zeit auch bei intensiver Photosynthese negative Nettoassimilationsraten beobachtet werden. Durch Ablagerung fester Immissionen auf die Blattspreite wird diese Erschöpfung bei den vorjährigen Blättern oder Nadeln in allen Fällen gesteigert.
- 2) Das Benehmen der zweijährigen Blätter der Laubgehölze ist ähnlich. Die zweijährigen Teile der Nadelgehölze werden nicht in demselben Maße ergriffen und die vorhandenen Ergebnisse geben kein eindeutiges Bild über die Umstände ihrer Erschöpfung.
- 3) Eine der Ursachen des Laubfalls ist die Einstellung der Photosynthese und die Erschöpfung des Blattes durch Ableitung. Man kann voraussetzen, daß die oben behandelte Einwirkung der Immissionen auch auf solche Weise zur Beschleunigung des Laubfalls beiträgt.

## THE EFFECT OF SOLID POLLUTANTS ON THE TRANSLOCATION OF ORGANIC SUBSTANCES IN THE GROWING SHOOTS OF CONIFERS

BY GEJZA STEINHÜBEL

Vyskumny Ustav Lesneho Hospodarstva, Zvolen.

The effect of solid pollutants may not always be direct. Organs like young shoots, flowers and fruits for example, which rely on the translocation of assimilates from the places where they are produced, are not only injured directly by the pollutants but are also affected indirectly by inhibition of translocation of assimilates. The organs supplying the assimilates, which in evergreen broadleaved species and conifers are the photosynthetically active leaves and needles of the previous years, exhibit a reduced rate of photosynthesis due to dust; they are also exhausted by removal of increased amounts of organic products and fall earlier than normal, even in the absence of toxic elements in the pollution.

We have already proved the increased exhaustion of old dust-coated leaves of evergreen broadleaved species by translocation of assimilates during the spring extension growth, and we also repeated the experiment on conifers (*Abies grandis*). In the spring of the current year, we determined the exhaustion of the previous year's dust-coated and non-dusty needles of *Pinus nigra*, by means of the modified half-leaf method of Sachs and the modified method of Ivanov and Kossovich.

# DIE BESCHÄDIGUNG DES ASSIMILATIONSAPPARATES BEI DER KIEFER SOWIE DIE DADURCH ENTSTANDENEN VERLUSTE IM ZUWACHS DER HOLZMASSE

von

Jan GRESZTA

Forschungsinstitut für den oberschlesischen Industriebezirk  
der polnischen Akademie der Wissenschaften - Zabrze

## EINLEITUNG

Das mit jedem Tag anwachsende Ausmass durch industrielle Luftverunreinigungen bewirkter Schäden in Baumbeständen, stellte die Forstwirtschaft u.A. vor die dringliche Aufgabe die territoriale Reichweite dieser Schädigungen zu erfassen. Es wurden Versuche unternommen dieses Problem durch die Organisation eines Messstellennetzes zu lösen, dessen Aufgabe es wäre die Grösse der Emissionskonzentration festzustellen und die Toxizitätsschwelle der für die Pflanzen schädlichen Verunreinigungen zu bestimmen. Durch Korrelation der erhaltenen Werte der Luftverunreinigung mit dem Aussehen der Baumbestände wurde eine Gradierung, bzw. eine Zoneneinteilung der industriellen Luftverunreinigung eingeführt. In Fällen wo die Auflage eines Netzes fixer Messpunkte nicht möglich war, entschied man sich für die Beurteilung des Schädigungsgrades von Baumbeständen auf Grund äusserer Symptome.

Hierbei wurden die augenscheinlichsten Elemente als für die Beurteilung bestimmend angenommen. Es gehören hierzu: die Hemmung des Wachstums der Triebe, die Reduktion der Nadelmenge und ihre Farbänderung. In Anlehnung an die äusseren Symptome wurden von einer Reihe von Autoren Kriterien der Schäden an Baumbeständen ausgearbeitet /1,2,3/ Diese Beurteilungsmethoden stützten sich meistens auf die Färbung der Nadeln, die Anzahl ihrer Jahrgänge sowie die Länge der Triebe und der Nadeln. Es gehen die Meinungen

darüber auseinander ob alle diese angeführten Kriterien als gleichwertig zu betrachten seien, oder ob nicht die Färbung den Vorrang haben sollte, und die restlichen als ergänzende Kriterien anzusehen wären /25/. Die Schädigungen am Assimilationsapparat und die damit verbundene Art der Ausbildung der Nadeln, sowie deren Färbung hängen von einer ganzen Reihe von Faktoren ab, worunter die Grösse der Immission, die klimatischen Verhältnisse, das Entwicklungsstadium der Bäume, ja sogar auch subjektive Empfindlichkeit des Beobachters besondere Aufmerksamkeit verdienen /4,6/. Auf Grund dieser Symptome wurden zahlreiche Klassifikationen geschaffen, deren Verfasser jeweils auf ein anderes Element besonderen Nachdruck legen /4/. Diese Klassifikationen waren zum Teil eine Weiterentwicklung der Ideen von Diemitz und Härtel /Diemitz-Härtel-Text/. In der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen diese Ideen durch quantitative Daten zu bereichern, indem der Schädigungsgrad des Assimilationsapparates den stationären Messergebnissen der Immissionsgrösse gegenübergestellt wurde.

#### UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Um die gegenseitigen Beziehungen zwischen dem Schädigungsgrad des Assimilationsapparates und dem Zuwachs der Holzmasse zu untersuchen, wurden in verschiedener Entfernung vom Zentrum des oberschlesischen Industriebezirkes, längs der Nord-Südlinie Probeflächen angelegt, um Baumbestände zu charakterisieren die verschieden starker Einwirkung industrieller Luftverunreinigungen ausgesetzt sind. Auf diesen Flächen wurden für die Dauer eines Jahres fixe Emissionsmesspunkte eingerichtet und ausserdem eingehende dendrometrische Untersuchungen sowie Berechnungen der Nadelmengen und Feststellungen ihrer Beschädigung durchgeführt. Bei Kiefern wurde die Menge der Nadeln und ihre Länge bei den diversen Jahrgängen festgestellt /5,7/. Mit Hinsicht auf die geringe Anzahl der Vertreter der einzelnen Gruppen, wurden um eine statistische Charakteristik zu erlangen keine Verteilungsreihen aufgestellt, sondern das arithmetische

Tabelle 1

Längenzuwachs der Triebe und Nadelzahl auf verschiedener Höhe in Kieferbeständen

Bezeichnung	Oberteil der Krone				Unterer Teil der Krone				Nadelzahl auf dem Trieb /Stück/			
	1966	1965	1964	Nadelzahl auf den Trieb /Stück/	1966	1965	1964	Nadelzahl auf dem Trieb /Stück/				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Arithmetisches Mittel	11,2	8,9	6,8	134	78	25	5,1	5,0	4,3	92	88	36
Variabilitätskoeffi- zient	50,7	43,1	45,7	34,80	52,7	108,5	40,0	52,0	23,7	33,60	37,90	51,80
Arithmetisches Mittel	4,9	3,9	-	73	25	5,3	4,7	78	78	78	26	-
Variabilitätskoeffi- zient	34,2	22,6	-	31,9	80,0	-	39,2	23,4	-	29,3	68,8	-
Arithmetisches Mittel	4,2	3,35	-	67,0	37,0	-	3,6	5,1	4,5	59,0	60,0	43,0
Variabilitätskoeffi- zient	94,3	67,7	-	82,0	96,5	-	82,5	68,6	39,1	79,0	72,1	71,2
Arithmetisches Mittel	14,1	11,4	9,9	158,0	1030	25,0	6,6	6,2	6,4	94,0	86,0	53,0
Variabilitätskoeffi- zient	32,6	37,3	35,8	24,8	23,4	97,1	36,8	40,6	30,6	36,5	28,5	47,8

B o r o n ó w

S t o l a r z o w i c e

M a k o s z o w y

M i e d z y r z e c z e



Mittel und der Variabilitätskoeffizient berechnet /Tab.1/. Zu den Berechnungen wurden je 10 Äste von auf den Probestflächen gefällten Modellbäumen entnommen. Die Angaben bezüglich der Emissionwerte betreffen nicht einzelne Emissionsquellen, sie bilden vielmehr eine Resultante der Gesamtemission im zentralen Teil des oberschlesischen Industriebezirkes /Tab.2/. Die Probestflächen wurden in Baumbeständen auf einander ähnlichen Standorten angelegt, wobei gemischte Wälder und frische Nadelwälder, getrennt behandelt wurden. Die letzteren wurden nach der Höhe der  $SO_2$  - Konzentration zusammengestellt und nicht nach der räumlichen Anordnung. Mit Rücksicht auf das begrenzte Beweismaterial bildet die Arbeit nur einen Beitrag zu weiter angelegten Forschungen. Die Probestflächen hatten je 0,5 ha. Die Messungen gemäß der bei dendrometrischen Arbeiten üblichen Methodik durchgeführt. Die Masse der Modellbäume wurde nach dem Verfahren von Huber berechnet.

Tabelle 2

Messresultate von Luftverunreinigungen für die Zeit vom 1.VII.1964 bis zum 30.V.1965

Ortschaft	! mg $SO_2$	! Staubniederschlag	!
	! je $100 \text{ cm}^2$	! in $t/\text{km}^2$ im Jahr	!
	! auf Tag	!	!
Boronów	! 0,575	! 130,4	!
Stolarzowice	! 1,085	! 261,6	!
Kakoszowy	! 0,704	! 217,7	!
Międzyrzecze	! 0,424	! 179,6	!
Żory	! 0,495	! 133,8	!
Panewnik	! 0,888	! 265,4	!
Żygliniek	! 0,911	! 114,5	!
Knurów	! 1,066	! 235,0	!
	!	!	!

DIE KORRELATION ZWISCHEN DER KONZENTRATION  
VON LUFTVERUNREINIGUNGEN UND DEM WACHSTUM  
DER BAUME.

Die Untersuchungen wurden an zwei Standorttypen von Wäldern durchgeführt, nämlich in feuchten Mischwald und in Nadelwald, und haben eine etwas unterschiedliche Reaktion der Baumbestände je nach der Konzentration und Zeitdauer der Emissionseinwirkung erwiesen. Im Falle chronischer Schäden /Mischwald/ wurde ein deutlicher Zusammenhang der Emissionsgrösse, der Dichtigkeit sowie des Aussehens des Assimilationsapparates und der Bonitation und Holzmasse des Baumbestandes festgestellt. Im oberschlesischen Industriegebiet war im Umkreis von 50 km keine Fläche zu finden, deren  $\text{SO}_2$ -Gehalt kleiner wäre als  $400 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2 \text{PO}_2$  pro Tag. Dieser Wert wurde deswegen als Vergleichsindex angenommen. Ein Anstieg des  $\text{SO}_2$  um 100 mg hatte eine Verminderung der Nadelzahl auf Trieben um 14,3% und ein Absinken des Wachstums belaubter Triebe um 23,8% zur Folge. Dies bewirkte jedoch keine Verluste in der Holzmasse pro Hektar und somit keine Herabsetzung der Bonitation. Es hat aber eine bedeutende Schwächung der Widerstandsfähigkeit der Baumbestände gegen Insektenschädlinge verursacht, was die Notwendigkeit sanitärer Fällungen mit sich zog und somit ein beträchtliches Absinken des Bebaumungsfaktors /Tab.3/.

Auf den im Zentrum des Industriebezirkes liegenden Probestflächen verdoppelte sich die Konzentration des  $\text{SO}_2$  in der Luft und auch der Gehalt an festen Bestandteilen. Dies fand seine Auswirkung in den Baumbeständen durch eine Verminderung der Nadelzahl um ca. 64% und einer Verkürzung der belaubten Triebe um 82% /Tab.4/. Eine weitere Folge dieser Umstände war die Verringerung der Holzmasse der Baumbestände um 30% was einer Herabsetzung der Bonitation um 2-3 Klassen entspricht. Nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen sind das maximale Verluste bei welchen der Baumbestand eben noch am Leben bleibt /Vegetieren/. Dagegen drückt sich die Korrelation zwischen der Dichtig-

Tabelle 3

 Charakteristik der Probeflächen  
 Nadelwald

Ortschaft	Areal der Probe-fläche ha	Boden typ	Alter Jahre	Mittlerer Brusthöhenmesser cm	Durchschnittliche Höhe m	Bonita-tion	Bebau-mung	Holz-masse pro m <sup>3</sup> /ha
Żory	0,50	Podsolboden	110	27,1	22,5	III	0,7	279,26
Panewnik	0,50	Podsolboden	110	23,3	15,5	V	9,6	131,78
Żyglinek	0,50	Podsolboden	95	25,9	18,5	IV	0,8	231,84
Knurów	0,50	Podsolboden	90	26,8	17,5	IV	0,8	261,60
F e u c h t e r M i s c h w a l d								
Borunów	0,50	Podsolboden	80	34,0	26,5	I	0,5	260,22
Stolarzowice	0,50	Pseudo-gley Boden	90	23,1	18,3	IV	0,8	219,31
Makoszowy	0,50	Pseudo-gley Boden	80	26,3	21,0	III	0,5	171,87
Międzyrzecz	0,50	Pseudo-gley Boden	80	27,9	23,0	II	0,6	258,48

Tabelle 4

## Trieblänge und Nadelzahl auf der Proberfläche

Ortschaft	Zahl der Nadeljahrgänge		Gesamtlängenzuwachs der belaubten Triebe				Gesamtnadelzahl			
	Oberteil der Krone	Unterer Teil der Krone	Oberteil der Krone		Unterer Teil der Krone		Oberteil der Krone		Unterer Teil der Krone	
			cm	%	cm	%	Stück	%	Stück	%
M i s c h w a l d										
Boronów	3	3	26,9	76,2	14,4	75,0	246	85,7	216	92,7
Stolarzowice	2	2	8,8	22,0	10,0	52,0	98	24,3	104	44,6
Makoszowy	2	3	8,6	21,0	13,2	58,7	104	36,3	162	96,6
Międzyrzecze	3	3	35,4	-	19,2	-	286	-	233	-
N a d e l w a l d										
Żory	3	3	28,4	-	17,0	-	225	-	188	-
Panewnik	3	3	11,3	42,6	12,4	72,9	149	66,2	161	85,6
Żygliniek	3	3	20,9	73,6	11,5	67,6	150	66,4	135	71,8
Knurów	19	3	9,0	31,3	13,5	79,4	144	63,5	160	85,1

Bemerkung: - das Prozent wurde im Verhältnis zu einer ausserhalb der industriellen

Vorreinigungszone wachsenden Baum berechnet

- Nadelwald unter Bezug auf die Daten der Proberfläche in Żory

- Mischwald unter Bezug auf die Daten der Proberfläche in Międzyrzecze

keit der Bäume in Fällen wo der Baumbestand der Einwirkung von industriellen Luftverunreinigungen verhältnismässig kurze Zeit ausgesetzt ist, nicht ganz deutlich aus, obwohl die allgemeinen Tendenzen in die vorher beschriebene Richtung weisen. Dies betrifft insbesondere die Einwirkung neu-entstehender oder intensiv ausgebauter Industriezentren. Die Abb. 1 zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Anstieg des  $\text{SO}_2$  und dem intensiveren Auftreten aller beschriebenen Folgeerscheinungen. Aus der Zusammenstellung geht hervor, dass als empfindlichstes Kennzeichen die Nadelzahl auf den Trieben gelten muss. Im Falle der Verdoppelung des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes sank die Nadelzahl um ca. 34% mit deutlicher Tendenz nach unten. Die Länge der belaubten Triebe fiel auf Probeflächen die ein gleichzeitiges Ansteigen des  $\text{SO}_2$  und des Staubbiederschlages aufwiesen um etwa 50% und sogar mehr /in Panewaik 69%/ , hingegen in Fällen wo nur einer der schädlichen Faktoren in höherem Masse wirksam war /Probefläche Žyglinek/ betrug der Zuwachsverlust kaum 26%. Dies bildet eine Analogie zur vorher festgestellten Verminderung der Holzmasse des Baumbestandes um 32,5% bis 52,8% beim Absinken der Trieblänge um 57%, wogegen eine Reduktion der Nadelzahl um 34% eine Verminderung der Holzmasse nur um 17% zur Folge hatte.

In den beschriebenen Fällen bewirkte dieser Umstand eine Herabsetzung der Bonitation der Baumbestände um eine bis zwei Klassen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden das eine enge Beziehung zwischen dem Grad der Luftverunreinigung, dem Aussehen des Baumbestandes und seiner Bonitation besteht, was mit Zuwachsverlusten verbunden ist. Die diesbezüglichen Werte können genauer erfasst werden, wenn der dem Zuwachs der Bäume hemmende Faktor chronisch also durch längere Zeitperioden auftritt. Dagegen ist in Fällen wo die industrielle Produktion nicht stabil verläuft und somit die Emission wechselnd ist, hat der Baumbestand gewisse Zeitabschnitte zur Regeneration seines Assimilationsapparates zur Verfüg-

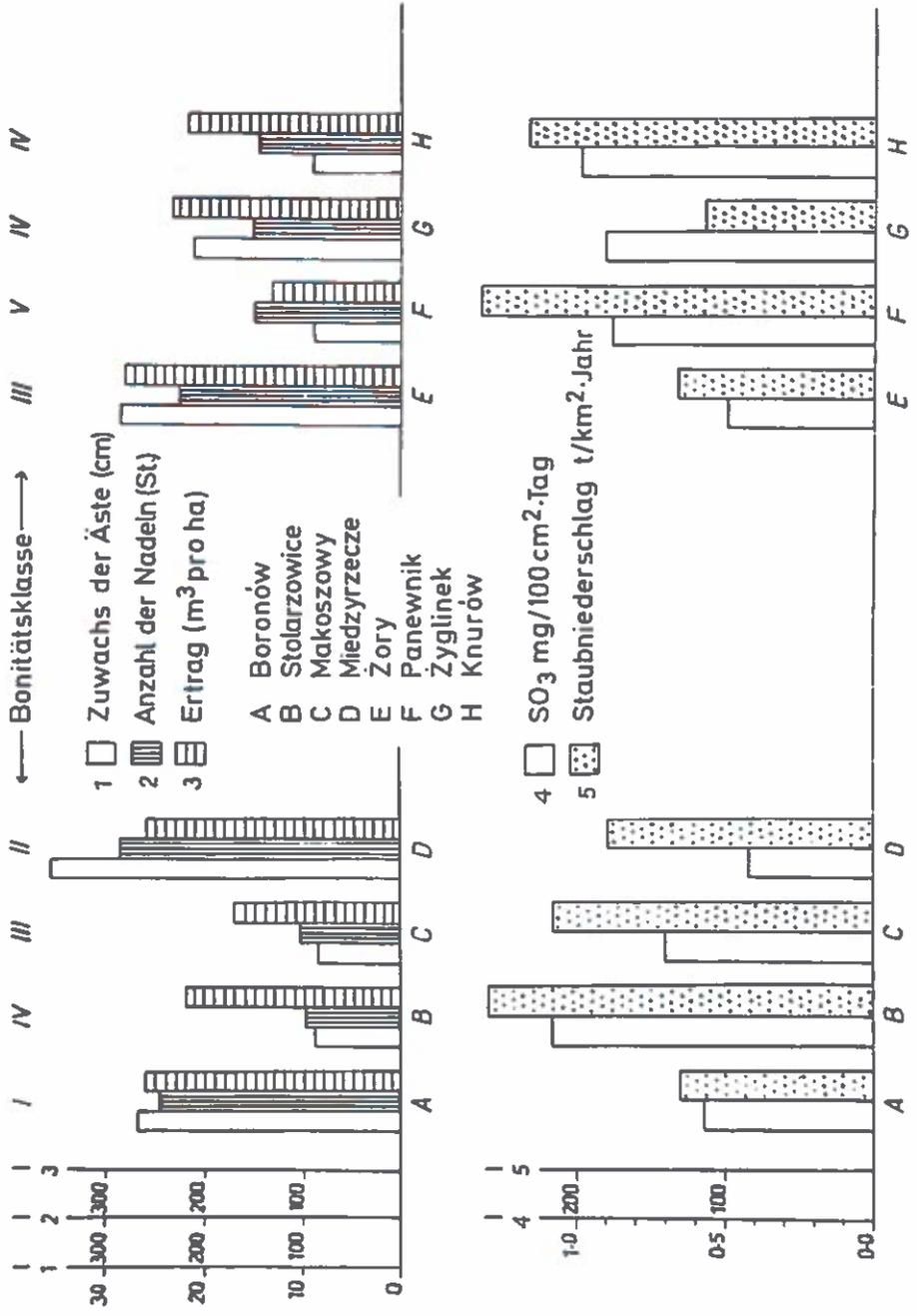


Abb.1 Beziehung zwischen Verunreinigungsgrad der Luft u. Baumwachstum

ung, wodurch eine strikte Erfassung der Zusammenhänge nicht möglich ist.

#### LITERATUR

- GRESZTA J., GODZIK S., OLSZOWSKI J., CZYZ A. /1967/  
Wrażliwość sosny, świerka i modrzewia na przemysłowe  
zanieczyszczenie powietrza. Oddziaływanie przemysłu  
na lasy. Zakład Badań Naukowych GOP-PAN, Zabrze
- HARTEL O. /1958/ Zur Trennung der Schadenteile gleichzeitig  
auf die Vegetation einwirkender Abgasquellen.  
Allg. Forstz. 13, Nr.52
- PAPRZYCKI E. /1962/ Wpływ zanieczyszczeń powietrza na lasy  
Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Biuletyn Komitetu  
GOP-PAN, 59
- FELZ E., TELILOVA B., TESAR V. /1966/ Die Nadelfarbe von  
Fichten als Hilfsmittel bei Rauchschadenuntersuchun-  
gen. Biologisches Zentralblatt, Band 85, Heft 3
- PERKAL J. /1963/ Matematyka dla przyrodników i rolników.  
Państwowe Wydawnictwo Naukowe
- SKAŁINA T., BOJARSKI Z., GRESZTA J., KAMIEŃIECKI F.,  
ŻULAWSKI CZ. /1965/ Zasady inwentaryzacji szkód przemysłowy-  
ch w lasach. Biuletyn GOP-PAN, Nr.5 Zabrze
- WŁOCZEWSKI T., KEDZIEBSKI Z. /1965/ Metodyka leśnych badań  
hodowlanych. Warszawa PWRiL

#### DAMAGE TO THE ASSIMILATION APPARATUS IN SCOTS PINE AND THE RESULTANT LOSSES IN WOOD VOLUME INCREMENT

BY J. GRESZTA  
*Polish Academy of Sciences, Research Institute  
for the Upper Silesian Industrial Region.*

The investigations were made on trial plots laid out in different zones of industrial air pollution. The zones were determined on the basis of one year's pollution measurements. The sample trees and the wood volume on the trial plots were determined by Hartig's method, and the volume of the felled sample trees was determined by Huber's sectional formula. After the trees were felled, disks were taken for stem analysis.

The investigations showed that parallel to the 35-50% reduction in the number of needles, there was a reduction in the ages of the needles from 2-3 to 1-2 years, with a simultaneous reduction in the site class of the stands by 2 classes. This is a result of the diameter increment being reduced by 46-60%. If the reduction in needle numbers does not exceed 35%, the reduction in diameter increment is scarcely 25%. The values vary according to the site category, the concentration of the pollutants and the duration of their effect.

# EFFECTS OF AIR AND SOIL POLLUTION BY INDUSTRIAL WASTE ON THE FRUCTIFICATION OF SCOTCH PINE IN THE URALS

by

S. A. MAMAJEV and O. D. SHKARLET

Institute of Plant and Animal Ecology, USSR Academy of  
Sciences - Urals Branch

## INTRODUCTION

The pollution of aerial environment with smoke gases gives rise to heavy weakening of the forest stands and to reduction of their increment. This was demonstrated convincingly enough, especially in the works of numerous German, Czech, Polish, and Soviet foresters and physiologists. There is far less information on the change of the forest species reproductive capacity in the conditions of heavy pollution. We have not enough observations, showing the effects of smoke gases on characteristics of the forest tree fructification. Therefore in essence it is not known till now, how great is the degree of these effects. It is obscure, too, what are the characteristics of quality changes of the seeds of trees suffering from smoke gases.

In the present paper are given the results of the investigations carried out in the pine forests growing near industrial centres in the Urals. The main task of the investigations was the establishing of smoke gas effects on the seeding intensity and quality.

## MATERIALS AND METHODS

The material was collected in pine forests of III - V age classes, heavily suffering from the smoke wastes of copper-smelting plants. Ripe cones were collected in winter period 1969, the seeds were extracted and treated with common methods

adopted in the forestry practice. The seeds germinated in petri dishes with the use thermostats.

During two years in the periods of pollen-shedding of Scotch pine was accomplished the collection of pollen, preparation of which and storage were the conventional ones. The biometrical values of pollen were measured after the alkaline treatment and the microphotographing of permanent slides.

## RESULTS

### 1. General changes of forest stands.

The chronic (during 3-4 decades) atmosphere pollution (mainly  $SO_2$ , in concentration of 1-3  $mg/m^3$ ) caused the drastic change of habitat environment. The soil consolidation, nearly always accompanying this pollution, was almost absent. In place of the previously predominant forest types Pinetum vacciniosum, Pinetum graminoso-mixtoherbosum and oth., here formed a new specific complex - Pinetum rariherbosum with extremely thin cover consisting of separate groups of Calamagrostis epigeios, Equisetum ramosissimum, Tussilago farfara, Poa angustifolia, Brachipodium pinnatum, Agropiron repens with the updried top soil horizon, incomplete stand (completeness 0,3 - 0,5, composition 10P + B), lowered productivity (III - IV quality classes as against II - III classes in not polluted areas). The tops of most trees were dried in, their crowns were thin in connection with the fact that the needles are held up the shoots only 1 - 3 years, whereas normally the duration of the needle life is up to 4 - 5 years, in this region. The density of needle arrangement on the yerly shoots is not lowered, however, in comparison with the check. In the age approximately up to 20 years the young pines thrive relatively well, they have the dark green, rather long needles and quite good increment. Their characteristic feature is the low arrangement of their neddled shoots above the ground; commonly these spread vigorously, and that confers to young trees a characteristic

habitus. Later the inhibition of trees increases, and in age of the IV-V classes they begin to die up.

## 2. Changes of fructification intensity and of generative organ arrangement.

Numerous investigators (Dopp, 1931; Krasinsky, 1937; Krotova, 1959; Pelz, 1963; Podzorov, 1967; Scheffer and Hadgcock, 1955 and oth.) noted the fructification lowering in smoke-damaged areas. In fact, the physiologic tree weakening is reflected on the intensivity of the stand fructification. Our observations have demonstrated, that some individuals lose their ability for cone formation. In the IV age class the cones are developing on 80 - 100 % of trees in the uncomplete, but not damaged pine forests, and in the conditions of the smoke-pollution they are developing only on 40 % of trees. These trees can bear the appreciable quantity of cones, being not inferior in this respect to the individuals growing in the favourable conditions. Thus in smoke-damaged areas one can observe the high variability of fructification intensity that is determined with the individual characteristics of trees. Another peculiarity of the natural forests in the smoke-damaged areas is the transformation of the sex form of trees, viz. the increase of the proportion of "female trees" and the lessening of that of "male" trees. This circumstance compensates in some degree the lowering seed production in the forest, and in certain cases it permit to get the sufficient seed renewal in a heavy polluted area. In smoke -damaged plots it is common also the higher fluctuation degree of the fructification intensity and of the sexual type of "flowers" produced in each year.

## 3. Change of size of the generative organs.

Krotova (1959), Podzorov (1967), Antipov (1970), Pelz (1963)



centage of full-weight seeds remains almost unchanged: in a not damaged plot it reached 24 per cent, whereas in a smoke-damaged one - 22 per cent.

We may suggest that the seed number reduction is caused not by the inhibition of the fecundation process, but by the inhibition of the ovules formation.

Reduction of the cone number takes place also on the male shoots, where the strobile number on each shoot reduces by 10 - 30 %.

The size and shape of the pollen grains change not much (Table 2). One can observe the small (5-6 per cent) diminution of the linear dimension. Commonly the available printed information ex-aggregates the smoke gas effects on the generative organs.

Table 2: Size of the Scotch pine pollen grains under different smoke pollution conditions (1969) (in microns)

Index	Area	
	smoke-damaged	not damaged
Total pollen grain length (L)	63.6 ± 0.92	67.5 ± 0.38
Body length (A)	45.4 ± 0.40	46.7 ± 0.48
Body width (B)	37.3 ± 0.57	38.6 ± 0.37
Aerial bladder length (C)	25.1 ± 0.28	27.2 ± 0.18
Pollen grain shape: A/L	0.71	0.69
A/B	1.22	1.21
A/C	1.8	1.72

#### 4. Changes of the seed and pollen quality.

Generally, 90 - 100 % of the full-weight Scotch pine seeds do germinate. In tried seeds collected in polluted areas, their germination was reduced rather appreciably (Table 3). This is

especially marked during germination in the unfavourable conditions. e.g. under the increased temperature and in water with the added salt NaCl. In these cases the seeds collected from the heavy damaged trees reduce their germination sharply - two to three times. There were no signs of any adaptation of the seeds, formed under smoke pollution, to the unusual reagent effects. In a case of light smoke damage, there were no notable deterioration of the seed quality.

Table 3: Absolute germinating capacity of the Scotch pine seeds collected in different smoke conditions (yield of 1969) (percentages)

Area	Substratum			
	H <sub>2</sub> O, temperature:		NaCl, concentration:	
	20 <sup>0</sup> C	30 <sup>0</sup> C	0.1 N	0.2 N
Heavily damaged	72.0	14.5	37.5	0
Slightly damaged	89.3	37.7	69.0	6.3
Not damaged	90.0	69.6	74.1	23.6

The smoke pollution of an area reflects negatively on the pollen grain quality (Table 4).

Table 4: Germination energy of the Scotch pine pollen grains. Substratum: agar (1 %) plus sucrose (30 % solution) (percentages)

Area	1969 trial		1970 trial	
	20 <sup>0</sup> C	27 <sup>0</sup> C	20 <sup>0</sup> C	23-24 <sup>0</sup> C
Smoke-damaged	20.8	44.6	68.9	82.5
Not damaged	38.4	73.0	90.5	89.5

In different years the formed pollen has a different quality. In the 1969 it had the relatively low germination energy, even on the favourable substratum such as the sucrose agar. In the 1970 high quality pollen have formed, but in both years the pollen grain germination energy was lowered on a smoke-damaged area. One must remember that, according to data of Antipov (1970), the pollen fumigation with sulphur dioxide can lower or, on the contrary, increase the pollen viability.

#### CONCLUSION

1. The raised content of  $SO_2$  in the air environment gives rise to the significant weakening of the Scotch pine stands; in turn, this entails the lower reproductive capacity of trees. Many individuals lost entirely the ability for the generative organs formation. The seed number in the cones decreases, and the sex ratio of cones and trees changes in favour female ones.
2. The generative organ size in the trees on the smoke-damaged areas diminute. This is most notable in respect of the ripe cone weight and of the staminate cone size. The size of the most important organs, namely, of seeds and pollen grains, are characterized by the higher stability grade.
3. The quality of seeds and of pollen grains on the trees growing in the smoke-damaged areas is far worse than that in the not damaged stands. Any specific effects of the smoking damage was not observed. The effects of smoke gases on the seed and pollen quality is similar to the effects of natural unfavourable factors.

#### LITERATURE CITED

1. АНТИПОВ В.Г. 1970. Деревья и кустарники в условиях атмосферного воздуха, загрязненного промышленными газами. - Автореферат диссертации на соиск. уч. степени доктора биол. наук., Л.

2. КРАСИНСКИЙ Н.П. 1937. Озеленение промплощадок дымоустойчивым ассортиментом. - М., Изд-во "Власть Советов".
3. КРОТОВА Н.Г. 1959. Влияние задымления воздуха на сосну в лесной опытной даче сельскохозяйственной академии им. Тимирязев и мероприятия по созданию устойчивых насаждений. - Автор фферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. с.-хоз. наук, М.
4. ПОДЗОРОВ Н.В. 1967. Влияние задымления атмосферного воздуха на плодоношение сосны обыкновенной. - "Научн. тр. Ленинг. лесотехн. академии", вып. 100, 91-93.
5. DÖPP, W., 1931. Über die Wirkung der schweflligen Säure auf Blütenorgan. Der Deutch. Bot. Gesellsch., 49.
6. PELZ, E., 1963. Untersuchungen über die Fruchtfifikation rauchgeschädiger Fichtenbestände. Archiv. für Forstwesen. Band 12, Heft 10, Berlin.
7. SCHEFFER, T. and G. HEDGCOCK, 1955. From G. SCURFIELD, 1960: Air pollution and tree growth. Forestry abstracts, vol. 21, N 3.

# SCHÄDIGUNG DES WALDES DURCH WASCHMITTELSTAUB

von

Felix LAMPADIUS

Ehemals Institut für Forstschutz und Jagdwesen der  
Forstwirtschaftlichen Fakultät der TU Dresden

## 1. EINLEITUNG

Trotz allseitiger Bemühungen um Eindämmung der Immissionsgefährdung der Lebewesen ist gegenwärtig noch nicht abzusehen, ob und wie weitgehend dem in absehbarer Zeit merklich Erfolg beschieden sein wird. Noch steht die zivilisierte Welt vor der Tatsache, daß sich die hauptsächlich durch Schwefel- und Fluorverbindungen hervorgerufenen Verunreinigungen der Atmosphäre ständig ausbreiten und steigern. Dazu treten stellenweise neue, bisher unbekannte Immissionsgefährdungen in Erscheinung, und einzelne wegen ihres seltenen Auftretens zunächst unbeachtet gelassene Schädigungsursachen gewinnen schließlich so tiefgreifend an Bedeutung, daß sich die Rauchschaadensforschung mit ihnen befassen muß. Zu solchen die Pflanzenwelt schädigenden Stoffen sind u.a. die Detergentien zu rechnen, die einen wesentlichen Bestandteil der Waschmittel darstellen. Als neuartiger Abwasserinhaltsstoff haben sie in letzter Zeit Untersuchungen ausgelöst, die zum Teil durch Freilandversuche im Bereich einer Waschmittelfabrik und Wäscherei zu klären hatten, welche direkten und indirekten Schäden kurzlebigen Kulturpflanzen durch Detergentien zugefügt werden (KNAUTH, 1963). Soweit sich aus der uns zugänglichen Fachliteratur hat feststellen lassen, ist die Frage, ob und in welcher Weise Waschmittel als fester Rauchbestandteil schädigend auf Waldbäume einwirken, bisher als Gegenstand besonderer Untersuchungen noch nicht publikatorisch behandelt worden. Für unser diesbezügliches Untersuchungsobjekt liegt lediglich ein forstfachliches Gutachten von MÜNCH (1930/31) vor, das die Phyto-

toxizität von Waschmittelstaub grundlegend in Frage stellt. Im Immissionsbereich des Waschmittelwerkes Genthin (Bez.Magdeburg), um das es sich dabei als Emissionsquelle handelt, hat nach diesem Gutachten das leeseitig sich ausbreitende Ki-Waldgebiet seit 1923 unter der Immissionseinwirkung durch Waschmittel-Staub ( -im weiteren als W-Staub bezeichnet-) gestanden, wobei die ständige Zunahme dieser Waldgefährdung schließlich vor mehreren Jahren seitens des betroffenen Forstbetriebes zur Forderung der Schadensabgeltung und der Eindämmung dieser Gefährdung geführt hat. Damit war die Notwendigkeit gegeben, sich als Zusammenarbeit mehrerer Fachspezialisten mit Untersuchungen zur Klärung der Phytotoxizität des W-Staubes zu befassen.

## 2. GEGENSTAND DER UNTERSUCHUNG

### 2.1. Immissionsituation

#### 2.1.1. Lage, Klima und Boden des Rauchschadensgebietes

Das infolge W-Staub-Einwirkung geschädigte, gegenwärtig hauptsächlich mit Ki bestockte Waldgebiet liegt ostwärts der Stadt Genthin in durchschnittlich 40 m Höhe ü.NN. Es ist nahezu eben und wird im Westteil unmittelbar durch die bebaute Fläche dieser Stadt begrenzt. Die auf Grund des von LUX und PELZ (1968) vorgeschlagenen Verfahrens durch die Forsteinrichtung vorgenommene Schadstufenaufnahme hat 544 ha Holzbo-denfläche als rauchgeschädigt bzw. -gefährdet ausgewiesen. Das Klima des Schadensgebietes ist durch folgende Mittelwerte gekennzeichnet:

Lufttemperatur	jährlich 8,7 <sup>0</sup> C,	Vegetationsperiode 15,1 <sup>0</sup> C (Mai-Aug.)
Niederschlag	537 mm	231 mm
rel. Luftfeuchte	82 %	75 %

Aus langjährigen Wetterbeobachtungen wurde das Überwiegen der Winde aus Richtung SW bis NW mit mehr als 50 % gegenüber anderen Himmelsrichtungen ermittelt. Der Oberboden dieses Ge-

bietes besteht zum größten Teil aus Talsanden mittlerer Korngrößen. Es dominiert die Standortsform der mittleren grundwasserbeeinflussten Sande.

### 2.1.2. E m i s s i o n s v e r h ä l t n i s s e

Die leewärts von Genthin festgestellten forstlichen Rauchschädigungen sind hauptsächlich auf die Emissionen von drei Industriebetrieben zurückzuführen, die dicht aneinandergrenzend am Ostrand dieser Stadt liegen und mit ihren Emissionen einer einzigen Rauchquelle (Punktquelle) gleichkommen. Die Emissionen der weiterhin im Stadtgebiet Genthin vorhandenen Rauchquellen des Hausbrandes, des Verkehrs und kleiner Industrieanlagen sind unwesentlich und können darum, im besonderen für die Dauer der Vegetationsperiode, bei der Beurteilung der  $\text{SO}_2$ -Vorbelastung des Immissionsgebietes außer Ansatz bleiben. Diese drei Industriebetriebe (Waschmittelwerk, Zuckerfabrik, Dauermilchwerk) emittieren aus vier 48 bis 81 m hohen Schornsteinen ihrer auf Braunkohlenbasis betriebenen Dampfkesselanlagen im Jahresdurchschnitt 1,69 t  $\text{SO}_2$ /h, zuzüglich - mengenmäßig nicht erfaßbar - Asche und Ruß. Daneben kommen bei höchstens 15 m über Grund außerdem noch seitens der Zuckerfabrik Kalk-Staub und seitens des Waschmittelwerkes W-Staub zur Emission, wobei zwischen WA-Staub aus der Aufbereitungsanlage und WZ-Staub aus der Zerstäuberanlage stammend, zu unterscheiden ist. Diese W-Staub-Emissionen enthalten lt. Angabe des Emittenten neben Natriumsulfat, Natriumchlorid, Phosphat, Silikate und Wasserstoffperoxyd (in ganz geringer Menge) als wesentlichen Bestandteil waschaktive Substanz (WAS). Der prozentuale Anteil aller dieser Stoffe ist davon abhängig, welches Waschmittel jeweils fabriziert wird. Das Charakteristikum der im Waschmittel enthaltenen WAS, die u.a. als besonders bleichende Stoffe Natriumperborat, Percarbonat und das sehr hygroskopische Mersulat (Alkylsulfonat) enthält, ist die den Detergentien eigene oberflächenentspannende Wirkung. Die A-Anlage besorgt den Umschlag des künstlich über-trockneten Fabrikates, während in der Z-Anlage die Sortierung

und Mischung desselben erfolgt. Damit erklärt sich, daß die WZ-Stäube feinkörniger als die WA-Stäube sind. Die Emission der W-Stäube wird durch die in diesen beiden Anlagen aus betriebssanitären Gründen eingesetzten Filter verursacht, wobei der Produktionsvorgang die Filter der Z-Anlage weit mehr als die der A-Anlage in Anspruch nimmt. Mit Filterrissen, die zur eigentlichen Ursache für hochgradige W-Staub-Emissionen werden, war darum bisher bei der Z-Anlage häufig zu rechnen. So erwecken alles in allem die durch das Waschmittelwerk emittierten W-Stäube im Augenblick ihrer Verfrachtung durch den Wind den Eindruck, als unterliege die Landschaft einer künstlichen Vernebelung. Aus diesen Umständen ergibt sich dann leewärts der Emissionsquelle, mit zunehmender Entfernung sich abstufoend, die Sedimentation des W-Staubes auf der Vegetation, die noch in weiter Entfernung vom Waschmittelwerk auch ohne optische Hilfsmittel auf Nadeln und Blättern der Waldbäume wahrzunehmen ist.

### 2.1.3. I m m i s s i o n s v e r h ä l t n i s s e

Die Erfassung der Immissionsverhältnisse hat sich auf die SO<sub>2</sub>-Beaufschlagung der bodennahen Luftschicht und die Sedimentation fester Luftverunreinigungen bis zu Entfernungen von rd. 3,5 km leewärts und rd. 1,5 km luvwärts der drei Emissionsquellen erstreckt. Damit ist das laut Schadstufenaufnahme insgesamt als rauchgeschädigt nachgewiesene Waldgebiet in die Luftuntersuchungen einbezogen worden. Um die jahreszeitlichen Unterschiede der Immissionsverhältnisse zu erfassen, sind beide Ermittlungen für die Dauer eines Jahres auf der Basis eines einheitlichen Meßpunktsystems durchgeführt worden. für die Erfassung der SO<sub>2</sub>-Beaufschlagung der Luft kamen von HERMANN (1963) entwickelte, auf der Pararosanilin-Methode beruhende Luftmeßgeräte zum Einsatz. Mit der Auswertung der i. gz. rd. 2300 Meßergebnisse ist der Nachweis für die Verminderung der SO<sub>2</sub>-Beaufschlagung der bodennahen Luftschicht in der Vegetationszeit um etwa das 3fache der Vegetationsruhe erbracht worden. Der für die Vegetationszeit unter der Voraus-

setzung der Windeinwirkung aus westlichen Richtungen errechnete Durchschnittswert von  $0,06 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  schließt mit 13 %  $\text{SO}_2$ -Werte zwischen  $0,10$  und  $0,19 \text{ mg}/\text{m}^3$  und mit 5 %  $\text{SO}_2$ -Werte von  $0,20$  bis  $0,39 \text{ mg}/\text{m}^3$  in sich. Der vereinzelt kurzfristig auftretenden hochgradigen  $\text{SO}_2$ -Beaufschlagung folgten zumeist lange Zeit andauernde Erholungsphasen niedriger  $\text{SO}_2$ -Beaufschlagung.

Für die Erfassung der zur Sedimentation gekommenen Stäube ist, ebenfalls für die Dauer eines Jahres, das standardisierte Leuna-III-Staubsammelgefäß (KNAUER u.a.1962) verwendet worden. Die Expositionsdauer dieses im Naßverfahren arbeitenden und an 8 Geländepunkten der Luftströmung frei ausgesetzten Gerätes betrug einheitlich 14 Tage. Da diese Luftuntersuchung vornehmlich der Beantwortung der Frage galt, inwieweit unter Berücksichtigung der Windrichtungshäufigkeit Relationen zwischen dem Gehalt an WAS in der Luft und den offensichtlichen Schäden an der Vegetation bestehen, lag das Schwergewicht der Laboruntersuchung des wässrigen Inhaltes des Sammelgefäßes nach Abtrennung des nicht weiter untersuchten unlöslichen Rückstandes auf der Erfassung der WAS. Diese ist nach der 2-Phasen-Titration von EPTON-GÖTTE (SCHWARZ, 1961) durchgeführt worden. Dabei titriert man die in der Chloroformphase gelösten anionenaktiven Substanzen mit einer kationenaktiven Substanz (Quartolan). Von den luftfremden Stoffen WAS und Kalk, die auf die Emission seitens des Waschmittelwerkes einesteils und der Zuckerfabrik andernteils zurückzuführen sind, wurden die nachstehend angegebenen Mengen durch den Staubfang erfaßt. Dabei ist die Herkunft der WAS unbestritten, während das erfaßte  $\text{CaO}$  vermutlich z.T. auch anderer, unbekannter Herkunft ist; dies mit Sicherheit im Zeitraum Mai-Okt. 1968, in welchem es durch die Zuckerfabrik infolge Produktionspause in der Regel zu keiner Kalk-Emission kommt.

Meßpunkt	insges. Dez. 1967 - Nov. 1968		Vegetationszeit Mai - Aug. 1968	
	mg WAS/m <sup>2</sup> /30 T. Mittel- wert	Max. wert	mg CaO/m <sup>2</sup> /30 T. Mittel- wert	Max. wert
leewärts				
Rauchquelle				
800 m nord- östlich I	25,6	168,0	2179	8274
900 östl. II	3,2	25,2	4024	8920
1300 m östlich III	1,5	10,5	4520	10206
1500 m nord- östlich IV	1,8	11,3	3072	6417
1500 m nord- nordöstl. V	3,0	19,1	1558	2981
3300 m nord- östl. VI	0,0	0,0	-	-
2100 m nord- nordöstl. VII	-	-	-	-
luvwärts				
Rauchquelle				
1200 m west- lich VIII	41,0	352,0	2114	2552
			68,1	353,0
			1818	2226

Aus der folgenden Zusammenfassung des Gesamtergebnisses der Erfassung des Staubniederschlages ist zu entnehmen, daß leewärts der Emissionsquellen einestells bei zunehmender Entfernung mit rascher Abnahme des Gehaltes der Immission an festen Bestandteilen zu rechnen ist und daß andernteils beim Vergleich dieser Zusammenfassung mit dem Nachweis des im Staubniederschlag gefundenen WAS diese Substanz innerhalb des gesamten Staubniederschlages quantitativ weit zurücktritt.

Meßpunkt	insgesamt Dez. 1967 - Nov. 1968		Vegetationszeit Mai - Aug. 1968	
	Staubsedimentation g/m <sup>2</sup> /30 Tage	Anteil % löslich	Staubsedimentation g/m <sup>2</sup> /30 Tage	Anteil % löslich
I	29,4	62	20,3	68
II	39,9	45	48,5	63
III	38,9	52	27,6	45
IV	30,3	56	18,8	46
V	18,3	52	17,4	45
VI	-	-	16,8	46
VII	-	-	13,3	59
VIII	42,4	40	38,9	48

## 2.2. Besondere Kennzeichen der Waldschädigung

Bereits die erste vor Inangriffnahme der diagnostischen Aufgabe durchgeführte Begehung des rauchgeschädigten Waldgebietes zeigte im Vergleich mit den anderswo in  $\text{SO}_2$ -geschädigten Ki-Wäldern angetroffenen Schädigungserscheinungen bemerkenswerte symptomatische Unterschiede. Die Tatsache, daß im Nahbereich der Emissionsquellen bis zu etwa 1 km leewärts nahezu kein Nadelbaum mehr anzutreffen ist, alte Laubbäume abgestorben oder wipfeldürr sind und bei jungen Laubbäumen strauchartige Wuchsform überwiegt, wecken Zweifel, ob dieser Zustand intensiver Vegetationsschädigung allein auf die für die Vegetationszeit festgestellte mäßige  $\text{SO}_2$ -Immissionseinwirkung ursächlich zurückzuführen ist. Bei Berücksichtigung der Höhen der  $\text{SO}_2$  emittierenden Schornsteine des Waschmittelwerkes und der Zuckerfabrik wären in dieser ebenen Landschaft erfahrungsgemäß erst bei etwa 1 km leewärts der Rauchquellen bedeutende  $\text{SO}_2$ -Einwirkungen zu erwarten. Statt dessen zeigen die in dieser und weiterer Entfernung stockenden Ki-Bestände, scharf gegen die westlich vorgelagerte Intensiv-Schadfläche abgegrenzt, weithin in Richtung Lee nur mäßige Schädigung der Benadelung und im Vergleich zu Normal nur geringe Verschlechterung des Bestockungsgrades.

Dagegen sind an den nach W exponierten Bestandesrändern und Schlagwänden engbegrenzt und besonders auf hochragende Bäume beschränkt Symptome akuter Schädigung an Nadeln und Blättern festzustellen. Bei näherem Zusehen sind an diesen Stellen Nekroseerscheinungen verschiedenartigen Gepräges an den Assimilationsorganen, überwiegend der Rauchquelle zugewandt, zu erkennen, und besonders die starke Bleichung des entrindeten Holzes toter Bäume weist auf eine Schädigungsursache hin, die der Fachmann nicht im  $\text{SO}_2$  suchen wird. Die offensichtliche, graduell von der Witterung abhängige und als Sedimentation sich leewärts deutlich abstufoende graue Staubauflage auf Bäumen und Sträuchern erlaubt es nicht, neben der Immissionseinwirkung durch  $\text{SO}_2$  auch die des W-Staubes in Frage zu stel-

len. Als besonders bemerkenswert sind Schädigungen hervorzuheben, die in nur wenig aufgelichteten Ki-Beständen an der Bnadeldung der unterwüchsigen Naturverjüngung zu erkennen sind und die wir als durch von den Altkiefern herabtropfende W-Staublösung verursacht deuten. Schließlich trifft man im Bereich bis zu etwa 2-3 km leewärts der Emissionsquellen als Bodenvegetation weitgehend Pflanzen an, die auf die Änderung des Säurezustandes der Humusauflage infolge Staubsedimentation schließen lassen (ENDERLEIN und STEIN 1964).

### 3. NACHWEIS DER PHYTOTOXIZITÄT DER STÄUBE

Von den im Schadensgebiet niedergeschlagenen festen Rauchbestandteilen sind nennenswert nur vom Kalk- und vom W-Staub Schädigungen der Vegetation zu erwarten. Der Nachweis der Phytotoxizität dieser Stäube war darum als diagnostische Aufgabe grundlegende Voraussetzung für sachgerechte Entschädigungsregelung.

#### 3.1. Die Phytotoxizität des Kalk - Staubes

Die Frage, welche pflanzenschädigende Wirkung von kalkhaltigen Stäuben ausgeht, ist als weitgehend geklärt zu bezeichnen (GARBER 1967). Die hierbei auf die ätzende Wirkung des Kalkhydrates ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) zurückzuführende Schädigung an Nadeln und Blättern der Bäume ist besonders von CZAJA (1962) vielfach untersucht und beschrieben worden, worauf hinzuweisen wir uns begnügen. Im Rahmen der für das Untersuchungsgebiet Genthin vorzunehmenden Rauchschadendiagnose wurde auf die Vornahme diesbezüglicher besonderer Untersuchungen besonders deshalb verzichtet, weil der Emittent (Zuckerfabrik) infolge alljährlich etwa von April bis Oktober andauernder Produktionspause als Quelle von Staubschädigungen während der Vegetationszeit ausfällt und weil diese Schädigungsursache der Vegetationsruhe wenig schwer wiegt.

### 3.2. P h y t o t o x i z i t ä t   d e s   W - S t a u b e s

Die anfängliche Vermutung, daß die im Rauchschadengebiet Genthin angetroffenen Immissionschädigungen außer auf  $\text{SO}_2$ -Einwirkung nennenswert auf W-Staub-Einwirkung zurückzuführen sind, wurde durch Beobachtung schwerster Schädigungen an einzelnen im engeren Betriebsbereich des Waschmittelwerkes stokkenden Bäumen gestützt. In dieser Vermutung wurden wir durch die ersten Ergebnisse der Ermittlung des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes der Luft gestützt, deren niedrige Werte sich nicht mit den an exponierten Wald- und Bestandesrändern vorliegenden starken Schäden in Einklang bringen lassen und die an der Mitbeteiligung des W-Staubes als Schädigungsursache keinen Zweifel erlaubten. Die Notwendigkeit, die Phytotoxizität des W-Staubes nachzuweisen, war nicht nur durch die Unverläßlichkeit der speziellen Fixierung der Urheberchaft der Schädigung geboten. Damit mußte auch gegen den etwaigen Einwand Stellung bezogen werden, der erwiesen sehr geringe Anteil der WAS an der Gesamtmenge des Staubniederschlages erlaube nicht, dem W-Staub als Schädigungsursache Bedeutung beizumessen. Obgleich bei der notwendigen Beweisführung gegen das Beweismittel der Nachahmung des natürlichen Staubniederschlages auf Blättern und Nadeln durch künstliche Bestäubung manches einzuwenden ist, wurde trotzdem auf diese experimentelle Möglichkeit zurückgegriffen. Die im Freiland und Labor vorgekommene künstliche mechanische Bestäubung ist weiterhin durch Sprühen in Wasser gelösten W-Staubes auf die Assimilationsorgane ergänzt worden. Neben der Erfassung des Schädigungseffektes mit dem Auge ist der Schädigungsvorgang schließlich mit Hilfe des Mmium-Testes nach CZAJA (1966) offensichtlich gemacht worden. Bei allen diesen Untersuchungen wurde ein- und dieselbe Charge des W-Staubes verwendet und zwar in der Beschaffenheit, wie sie sich am Austritt des Staubes aus dem Filter auf dem Dach der Aufbereitungs- bzw. Zerstäuberanlage niederschlägt. Ausgehend von der hohen Alkalität des exhaliierten W-Staubes ( $\text{P}_\text{H}$ -Wert für WA-Staub = 10,5, für WZ-Staub = 11,6) wurde bei Vornahme der Untersuchungen unterstellt, daß Voraussetzung für Schädigung-

## D I S K U S S I O N

ZAHN:

Sie haben bezüglich der Ursache der Zuwachsverluste keine gute Korrelation zur  $\text{SO}_2$ -Immission gefunden. Auf Grund der Fluormengen, die auch emittiert werden, würde ich annehmen, daß es sich um einen Fluorschaden handelt.

KELLER:

Ihre Untersuchungen basieren auf einen Zeitraum vor beinahe 50 Jahren. In dieser Zeit kommt es zu mancherlei Umschichtungen im Bestand (z.B. durch die Durchforstung), sodaß aus beherrschten unter Umständen herrschende Bäume werden. Konnten sie dieses Problem in ihrer Untersuchung berücksichtigen?

VINŠ:

Dies ist tatsächlich eine komplizierte Frage bei der ertragskundlichen Zuwachsbestimmung. Nach unseren Erfahrungen kommt es zu solchen Übergängen bei einzelnen Individuen; wenn man aber die Durchschnittswerte der Zuwachsentwicklung nach Baumklassenkollektiven auswertet, ist dies niemals der Fall.

DONAUBAUER:

Ich möchte fragen, ob Sie den Ausfall von Jahrringen nur in Brusthöhe festgestellt haben?

VINS:

Es wurden Stammanalysen durchgeführt. Mit zunehmender Höhe ist die Anzahl der fehlenden Jahrringe kleiner. Im unteren Drittel ist die Anzahl immer größer. Jahr-

ringe können auch nur auf einer Seite des Stammes ausfallen und auf der anderen Seite noch bemerkbar sein. Auskeilen im Querschnitt und Längsschnitt möglich.

ULLRICH:

Die  $\text{SO}_2$ -Immissionen haben auch in der Bundesrepublik Deutschland in verschiedenen Gebieten zu PH-Werten im Oberboden von 3 geführt. Wenn die  $\text{SO}_2$ -Belastung weiter anhält, muß man erwarten, daß die Versauerung in tiefere Bodenschichten vordringt. Zum Zuwachsverlust ist auch der Verlust an Ca in Rechnung zu stellen, denn, um den Boden wieder auf seinen vorherigen Ca-Gehalt zu bringen, sind Düngungsaufwendungen notwendig, die sich auch berechnen lassen. Ein weiteres Problem kommt hinzu: Bei anhaltender Immission gibt der Boden das  $\text{SO}_2$  an Grundwasser weiter und es kommt zu einem Ansteigen der Sulfatwerte des Wassers.

MATERNA:

Der Schwefel gelangt durch direkte Adsorption aber auch durch den Bestandesabfall (der in Immissionsgebieten einen höheren S-Gehalt aufweist) in den Boden. Nach unseren Berechnungen werden pro Jahr in einem Fichtenbestand 20 - 30 kg S/ha in den Boden gelangen. In weiten Zeiträumen kann diese S-Anreicherung im Boden eine große Bedeutung erlangen.

# REPORT ON STUDY OF DISEASED WHITE PINE IN EAST TENNESSEE

by

Birger W. ELLERTSEN, Claude J. POWELL,  
and Charles L. MASSEY

Tennessee Valley Authority

In the spring and early summer of 1955, discolored unhealthy white pine (Pinus strobus L.) were observed intermingled among healthy trees in parts of Morgan and adjoining counties, Tennessee. Symptoms were similar to those previously reported for white pine blight and fumigation injury caused by SO<sub>2</sub> and other gases. The next year TVA began studying various aspects of the disease as an outgrowth of its air pollution botanical surveillance activities. Soon thereafter, the U. S. Forest Service started other investigations on the nature and cause of the disease which were reported by Amman and Berry (1963), Berry (1961), Berry and Hepting (1964), Berry and Ripperton (1963), and Hepting and Berry (1961). The following report describes two studies conducted by TVA.

## PROCEDURE AND RESULTS

A surveillance study employing permanent plots was established in 1956, and continued for nine years. Later, a bioassay test was conducted with grafted white pine ramets originating from a single disease-susceptible tree.

These investigations substantiated findings of the U. S. Forest Service and provided additional insights into the nature of the disease. The disease was localized in vicinity of the Harriman-Kingston-Oak Ridge-Rockwood industrial complex in east Tennessee. The causal agent was airborne and of abiotic origin. Resistance of individual trees was genetically controlled. The atmospheric constituent causing the disease was not identified, although efforts were made to associate disease occurrence with the presence of industrial effluents.

## PERMANENT PLOT STUDY

In March 1956, 25 permanent plots containing 348 dominant and codominant white pine trees were established (Figure 1). Atmospheric sulfation levels were measured on all plots with lead peroxide cylinders and SO<sub>2</sub> concentrations were monitored at four locations with Thomas autometers. During the study, 87 trees were discarded because of severe winter storm injury or because they were cut. Of the remaining 261 trees, 28 died before March 1965, after exhibiting disease symptoms.

Principal symptoms listed in the usual sequence of development were: (1) premature needle cast--shedding of more than 70 percent of previous year needles, (2) stunted shoot growth--shoot lengths less than 3 inches (7.6 centimeters), (3) short needles--current year needles less than 2 inches (5.1 centimeters) in length, and (4) severely discolored current year foliage. Three of these precursor symptoms in severe form and the fourth in an intermediate stage (a combination of symptoms called the fatal syn-

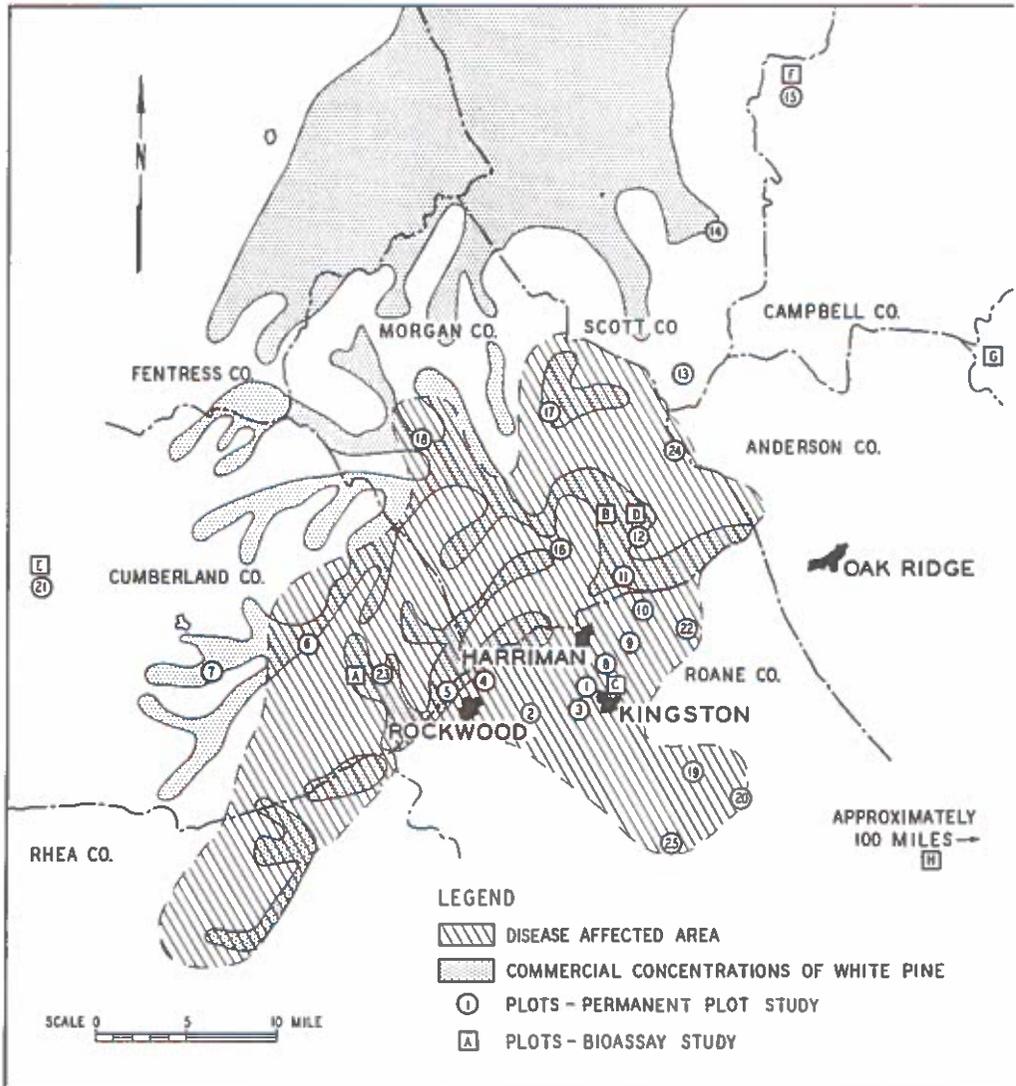


Fig. 1: White Pine Disease Study Area

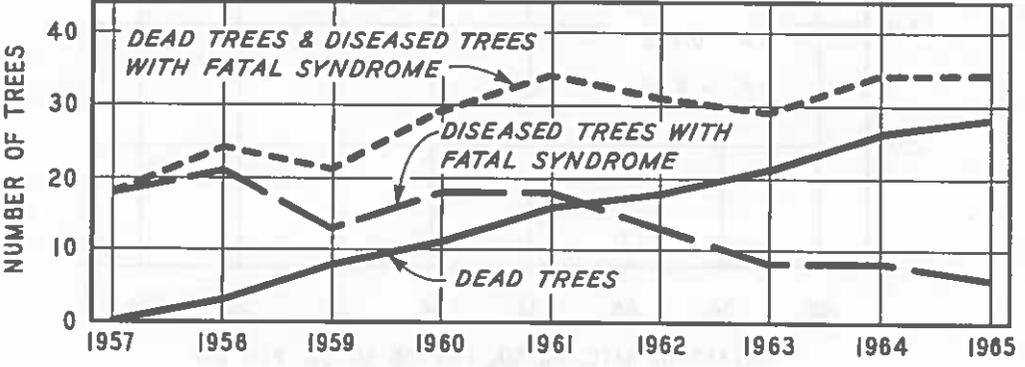
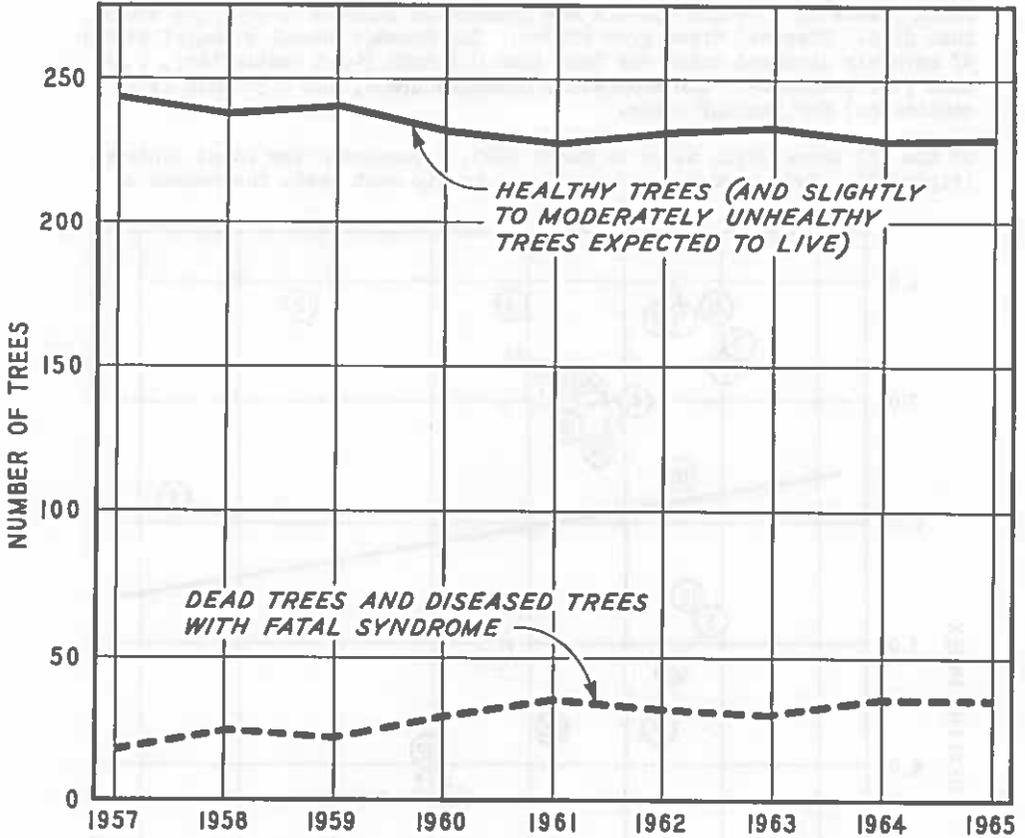


Fig.2: Condition of White Pine Trees on Permanent Plots, 1957-1965.

drome) were present in 96 percent of the cases at least two years before death (Table 1). Needle dieback was present on three of every five trees that died. Diseased trees grew slower. The average annual diameter growth of severely diseased trees was less than 0.1 inch (<0.3 centimeter), 0.24 inch (0.6 centimeter) for moderately diseased trees, and 0.38 inch (1.0 centimeter) for healthy trees.

Of the 233 trees still alive in March 1965, 6 possessed the fatal syndrome (Figure 2). Even though trees continued to die each year, the number of

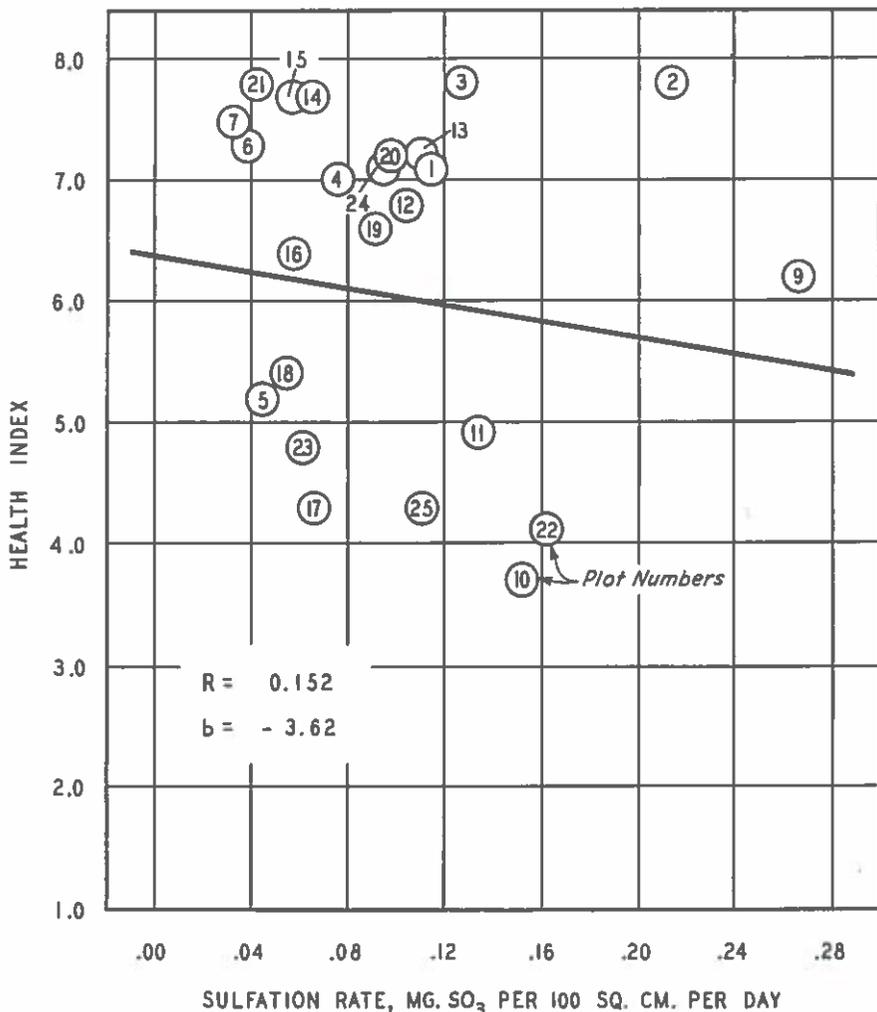
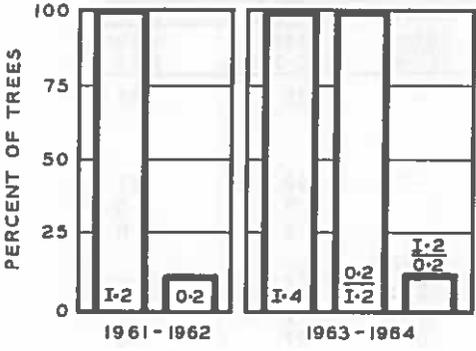
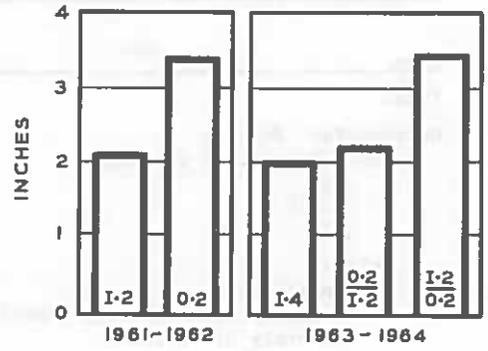


Fig. 3: Relationship Between Average Atmospheric Sulfation Level and Health Index of White Pine Trees on Permanent Plots.

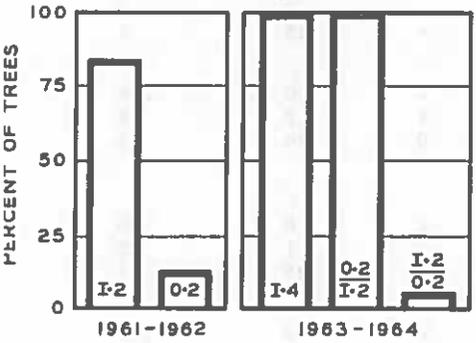
**NEEDLE CAST..PREMATURE SHEDDING OF OLDER NEEDLES**



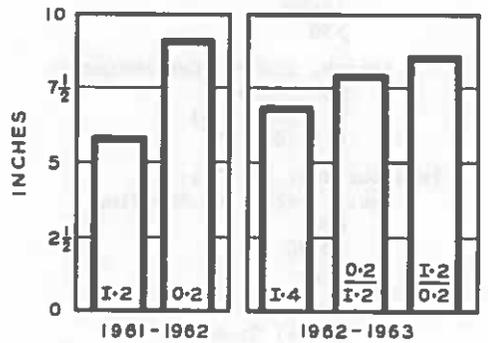
**LENGTH OF CURRENT YEAR NEEDLES**



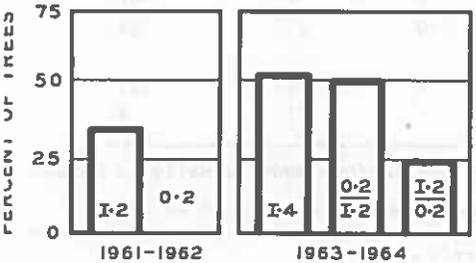
**DISCOLORED FOLIAGE**



**CURRENT SHOOT GROWTH**



**TIP DIEBACK OF CURRENT YEAR NEEDLES**



**LEGEND**

- RAMETS ON PLOTS WITHIN AND OUTSIDE OF AFFECTED AREA**
- I-2 ..... WITHIN, 2 YEARS (1961-62)
  - I-4 ..... WITHIN, 4 YEARS (1961-64)
  - O-2 ..... OUTSIDE, 2 YEARS (1961-62)
  - I-2 ..... WITHIN, 2 YEARS (1961-62)
  - O-2 ..... AND OUTSIDE, 2 YEARS (1963-64)
  - O-2 ..... OUTSIDE, 2 YEARS (1961-62)
  - I-2 ..... AND WITHIN, 2 YEARS (1963-64)

Fig. 4: Condition of White Pine Ramets at End of Second and Fourth Growing Season.

Table 1    CONDITION PRECEDING DEATH<sup>a</sup> OF TREES THAT DIED BETWEEN  
1957 AND 1965 AND OF TREES THAT WERE STILL ALIVE IN 1965

Item	Health Index <sup>b</sup> Score	Number of Trees	
		Died 1957-1965	Alive 1965
Total	-	28	233
Current Year Needles:			
Cast, Percent of Shedding:			
<50	-	20	233
50-70	-	2	0
>70	-	6	0
Color:			
Normal Green	2	0	200
Slightly to Moderately Discolored	1	1	5
Severely Discolored	0	27	28
Dieback, Percent of Affected Needles on Tree:			
None	-	10	232
1-10	-	0	0
11-50	-	3	0
>50	-	15	1
Length, Inches (Centimeters):			
>3 (>7.6)	2	0	204
2-3 (5.1-7.6)	1	2	24
0-2 (0-5.1)	0	26	5
Previous Year Needles:			
Cast, Percent of Shedding:			
<50	2	0	180
50-70	1	1	22
>70	0	27	31
Color:			
Normal Green	-	0	192
Slightly to Moderately Discolored	-	1	15
Severely Discolored	-	27	26
Shoot Growth, Inches (Centimeters):			
>5 (>12.7)	2	0	198
3-5 (7.6-12.7)	1	1	21
<3 (<7.6)	0	27	14
Trees with Fatal Syndrome <sup>c</sup>			
No	-	1	227
Yes	-	27	6

- During one or more years before death--observations made annually in March.
- Overall or composite condition of an individual tree relative to four precursor symptoms is obtained by adding appropriate score for each symptom, and ranges from 8 (healthy) to 0 (severely diseased).
- At least three of the following precursor symptoms in severe stage (health index score 0) and the fourth in an intermediate stage (health index score 1) present--premature shedding of older needles, stunted shoot growth, and short and discolored current year needles.

dead trees plus those with the fatal syndrome was relatively constant after 1960 and 1961. A health index was developed to designate the relative condition of each live tree. The index ranging from 0 to 8 takes into account the progressive development of each of the four precursor symptoms: 0 denoting the severe stage as previously defined, 1 an intermediate stage, and 2 a normal healthy condition. Thus, the composite index of a healthy

Table 2

AVERAGE SULFATION LEVELS ON PERMANENT PLOTS BETWEEN  
JULY 1956 AND AUGUST 1960 DETERMINED BY  
LEAD PEROXIDE CANDLE MEASUREMENTS

Permanent Plot Number	Average Sulfation Rate, Milligrams of SO <sub>3</sub> Per 100 Square Centimeters Per Day			
	July to November	November to March	March to July	Entire Year
1	0.105	0.148	0.093	0.114
2	0.174	0.262	0.163	0.214
3	0.120	0.169	0.095	0.127
4	0.051	0.131	0.059	0.076
5	0.031	0.068	0.036	0.044
6	0.027 <sup>a</sup>	0.071 <sup>a</sup>	0.033 <sup>a</sup>	0.039 <sup>a</sup>
7	0.016	0.057	0.023	0.032
8	0.103	0.150 <sup>a</sup>	0.136 <sup>a</sup>	0.140 <sup>a</sup>
9	0.228	0.286 <sup>a</sup>	0.240 <sup>a</sup>	0.266 <sup>a</sup>
10	0.108	0.204	0.131	0.152
11	0.071	0.147	0.170	0.134
12	0.095	0.174	0.181	0.104
13	0.066	0.150	0.125	0.110
14	0.026	0.086	0.080	0.065
15	0.065	0.071	0.078	0.057
16	0.030	0.060	0.083	0.058
17	0.032	0.077	0.086	0.066
18	0.023	0.068	0.072	0.055
19	0.048	0.172	0.055	0.091
20	0.042	0.138	0.111	0.097
21	0.020	0.087	0.035	0.042
22	0.131	0.222	0.138	0.162
23	0.042	0.107	0.048	0.062
24	0.052	0.130	0.078	0.095
25	0.083 <sup>a</sup>	0.203 <sup>a</sup>	0.073 <sup>a</sup>	0.111 <sup>a</sup>
Average	0.070	0.134	0.095	0.099

a. Sulfation rates are averages from 1956-1960 except for plots terminated before 1960. Sulfation rates for these plots is the average of measurements collected while the plots remained in the study.

tree is 8, of severely diseased trees between 0-2, and of moderately un-healthy trees between 3-7. The average index of all trees not possessing the fatal syndrome did not deteriorate during the nine years of study.

Atmospheric sulfation measurements were made at each plot for four years (Table 2). Marked differences were associated with plot location and time of year. When average sulfation levels were compared with the average health index of trees on the plots, no significant relationship was evident (Figure 3). Similarly, no correlation was observed between disease occurrence and SO<sub>2</sub> concentrations measured on four plots with the Thomas autometer.

The disease did not occur uniformly throughout the affected area. Healthy stands were observed near stands containing diseased trees. The distribution of diseased trees appeared related to topography, for practically all occurred at lower elevations in airsheds where gravitational flow occurs during periods of stable atmospheric conditions. Although there was some overlap, most of the affected area lay outside of the zone of maximum sulfation, as determined by lead peroxide cylinder measurements.

Table 3

SULFUR AND FLUORIDE CONTENT OF FOLIAGE OF WHITE PINE TREES

Characteristic Used in Grouping Trees	Sulfur content		Fluoride content	
	Number of trees	Percent of oven-dry weight	Number of trees	Parts mill.
Current year needles:				
Color:				
Normal green	57	0.153	32	5.0
Slightly to moderately discolored	10	.169	4	6.0
Severely discolored	7	.189	0	-
Length, inches (centimeters):				
>3 (>7.6)	54	.152	25	5.0
2-3 (5.1-7.6)	11	.168	10	6.0
0-2 (0-5.1)	9	.186	1	9.0
Previous Year Needles--Cast, Percent of Shedding:				
<50	41	.152	26	5.0
50-70	8	.142	2	6.0
>70	25	.173	8	7.0
Shoot growth, inches (centimeters):				
>5 (>12.7)	38	.155	27	5.0
3-5 (7.6-12.7)	27	.154	6	5.0
<3 (<7.6)	9	.189	3	6.0

Foliage collected from 74 healthy and diseased white pine trees were analyzed to determine their sulfur and fluoride content, two possible pollutants from industrial sources in the area. Differences between healthy and unhealthy categories were not pronounced although some relationships were suggested (Table 3).

Table 4

CONDITION OF RAMETS IN AUGUST 1962 DURING SECOND GROWING SEASON ON BIOASSAY TEST PLOTS LOCATED WITHIN AFFECTED AREA

em	Bioassay Plots					Chi-Square a/
	A	B	C	D	Total	
<u>Sulfation rate b/</u>						
	<u>Mg. SO<sub>3</sub> per 100 sq. cm. per day</u>					
	0.063	0.080	0.123	0.167	-	-
<u>Number of trees</u>						
Current year needles:						
Color:						
Normal green	7	1	1	0	9	
Slightly to moderately discolored	5	12	4	4	25	
Severely discolored	0	1	8	8	17	
Total	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>51</u>	34.4
Dieback:						
Absent	7	1	13	8	29	
Present	5	13	0	4	22	
Total	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>51</u>	24.4
Length, inches (centimeters):						
>2.5 (>6.4)	2	9	0	1	12	
2.0-2.5 (5.1-6.4)	8	4	7	1	20	
≤2.5 (≤6.4)	2	1	6	10	19	
Total	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>51</u>	32.6
Previous year needles--cast,						
Percent of shedding						
<20	1	0	1	0	2	
20-80	0	5	0	0	5	
>80	11	9	12	12	44	
Total	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>51</u>	16.4
Root growth, inches (centimeters):						
>7.0 (>17.8)	8	9	0	0	17	
4.5-7.0 (11.4-17.8)	3	4	4	5	16	
≤4.5 (≤11.4)	1	1	9	7	18	
Total	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>51</u>	30.7

Chi-square at the 99 percent level of significance is 16.8 for six degrees of freedom and 11.3 for three degrees of freedom.

Average daily sulfation rates during May 1961-August 1962.

### Bioassay Study

In May 1961, white pine disease-susceptible ramets and seedlings from nursery seed beds were planted at four locations within and four outside of the affected area (Figure 1). All trees were healthy at time of planting. Lead peroxide cylinders were placed on each plot to measure atmospheric sulfation levels. In April 1963, some ramets were exchanged among the various plots, others were left in place. The study was terminated in 1965.

During the first two years, ramets on plots within the affected area deteriorated while trees on plots outside of the affected area remained healthy (Figure 4). During the following two years, ramets left within the affected area continued to decline; healthy ramets moved into the affected area became unhealthy, and ramets moved from within to outside the affected area showed signs of recovery.

Seedlings, in contrast to ramets, showed practically no difference in growth and appearance after two years, and therefore were left on the same plots for the duration of the test. However, after four years, the following growth differences were observed. Shoot growth of seedlings on plots within the affected area averaged 15.6 inches (39.6 centimeters) and 21.3 inches (54.1 centimeters) on the "outside" plots. Current year needles averaged 2.9 inches (7.4 centimeters) in length on the "within" plots and 3.5 inches (8.9 centimeters) on the "outside" plots.

Statistically significant correlation between tree condition and sulfation levels on plots within the affected area was observed in the bioassay study (Table 4) even though a similar relationship was not evident in the permanent plot study. Increased sulfation levels were associated with shorter needles, decreased shoot growth, and increased foliage discoloration. Premature needle cast was so prevalent on all plots that plot-to-plot differences in this respect were not discernible. Neither was there a clear relationship between plot sulfation levels and incidence of needle dieback.

### DISCUSSION

U. S. Forest Service investigations (Berry and Hepting, 1964) failed to associate any biotic factor with the disease. TVA studies have corroborated their conclusion that the causal agent appears to be an unidentified atmospheric substance. Principal industrial installations in or near the affected area are a pulp mill at Harriman, a coal-burning power plant at Kingston, a major uranium refining operation at Oak Ridge, and a ferroalloy reduction plant and an iron smelter in or near Rockwood. However, it has not been determined whether a single gas, several gases acting separately or in combination, or photo-chemical compounds are responsible.

Symptoms commonly associated with ultimate death of the white pine are among those observed in studies by Berry and Hepting (1964) in the same study area, by Linzon (1960) of a white pine needle blight in Canada, and by Dochinger (1968) of a chlorotic dwarf disease of white pine in Ohio. In each instance, an abiotic atmospheric constituent was linked with the disease. In addition, the four precursor symptoms preceding eventual death of white pine in east

Tennessee are identical with symptoms associated with the chlorotic decline of Ponderosa pine in southern California (Parmeter, J. R. et al, 1962), where air pollution has been found responsible.

There were indications in the TVA study that height growth of white pine may be affected before foliar symptoms of the disease appear. For example, only a small proportion of seedlings exhibited foliar symptoms of the disease in the bioassay test. Yet, after four years the shoot growth of seedlings on plots inside the affected area was appreciably less than on plots outside the affected area. In another study to be reported elsewhere, the growth rate of apparently healthy trees within the affected zone was appreciably less than of healthy trees in another area where the disease had never been observed.

Approximately 10 percent of the dominant and codominant trees on the permanent plots died between 1957 and 1965. All of this mortality occurred on plots within the affected area and is attributed to the disease, because all trees that were killed outright or severely damaged by other positively identified agents were disregarded. On an individual plot basis, mortality within the affected area ranged from 0 to 30 percent. This compares with a range of 2-1/2 to 30 percent noted by the U. S. Forest Service on four plots, also situated within the affected area (Berry and Hepting, 1964).

Atmospheric sulfation levels were measured on the plots because SO<sub>2</sub> is one of the principal products of combustion of fuel used in the area. If the white pine malady under study was caused by SO<sub>2</sub> or any associated gas, the health of the tree should be poor where sulfation levels are highest and should improve as sulfation levels diminish. While a significant relationship was observed between disease incidence and atmospheric sulfation measurements in the bioassay test, no relationship was evident in the permanent plot study. Slightly higher sulfur and fluoride concentrations were measured in foliage of diseased trees, but the differences were not considered significant. Attempts to measure ozone in the atmosphere were unsuccessful because of technical difficulties. The frequent lack of correlation between sulfation measurements and disease incidence suggests factors other than mere SO<sub>2</sub> exposure are involved, such as, for example, time and possibly photo-oxidation along with interactions between either primary or secondary pollutants.

Practically all of the plot trees that had died or were severely diseased at the end of the observation period in 1965 had some disease symptoms when the study began. Some trees died rapidly while others declined more gradually. However, most of the trees on the plots continued to live and grow without developing any overt symptoms of the disease. Observations made during the latter part of the nine-year study period suggest that a state of equilibrium had been reached and that the remaining trees were relatively resistant.

Information needed to accurately evaluate the economic effect of the white pine disease in this area is not available. Trees that died have caused some loss in wood volume. In spite of this, the white pine, which comprises less than five percent of the merchantable sawtimber volume in the affected area, is holding its own. Three inventories covering portions of this area were made in the early 1950's and were repeated 10 to 16 years later. Sawtimber volumes showed a pronounced increase in two of the surveys, and only a slight decrease in the third. The number of pole-sized trees showed an increase in each instance. Although there are still trees with disease symptoms in the area, they are less common, and most of the remaining trees appear resistant to the disease.

#### LITERATURE CITED

- Amann, Gene D., and Charles R. Berry. 1963. Insects not a cause of post-emergence chronic tipburn of white pine in eastern Tennessee. U. S. Forest Service Res. Note SE-2, Southeast. For. Expt. Sta. 3 pp.
- Berry, Charles R. 1961. White pine emergence tipburn, a physiogenic disturbance. U. S. Dept. Agric. Southeast. For. Expt. Sta. Paper 130. 8 pp.
- \_\_\_\_\_ and George H. Hepting. 1964. Injury to eastern white pine by unidentified atmospheric constituents. Forest Science 10:2-13.
- \_\_\_\_\_ and L. A. Ripperton. 1963. Ozone, a possible cause of white pine emergence tipburn. Phytopathology 53:552-557.
- Dochinger, Leon S. 1968. The impact of air pollution on eastern white pine: the chlorotic dwarf disease. J. Air Pollut. Cont. Assoc. 18:814-816.
- Hepting, George H. and Charles R. Berry. 1961. Differentiating needle blights of white pine in the interpretation of fume damage. Inter. J. Air and Water Pollut. 4:101-105.
- Linzon, S. N. 1960. The development of foliar symptoms and the possible cause and origin of white pine needle blight. Canadian J. Botany 38:153-161.
- Parmeter, J. R., Jr., R. V. Bega, and T. Neff. 1962. A chlorotic decline of ponderosa pine in southern California. Plant Disease Reporter 46:269-273.

#### ABSTRACT

In 1956, TVA started investigating a white pine disease first observed in east Tennessee in 1955. This study supplemented other investigations by the U. S. Forest Service and provided additional insights into the nature of the disease. It confirmed the conclusion that the causal agent is airborne and of abiotic origin, and that resistance of individual trees is genetically controlled. Although efforts were made to associate disease occurrence with industrial effluents, the atmospheric constituent causing the disease was not determined.

Principal symptoms were premature shedding of older needles, stunted shoot growth, short needles, and discolored foliage. Needle tip dieback was frequently but not always present. Growth of diseased trees was poor; and there was some indication of a reduction in height growth of apparently healthy trees. Disease-susceptible white pine ramets deteriorated on plots in the affected area. They recovered when moved to remote locations. Conversely, disease-susceptible ramets on the remote plots remained healthy until moved to within the affected zone where they also began to fail.

By 1965 approximately 10 percent of dominant and codominant trees on the permanent study plots had died from the disease. Practically all of these had exhibited some abnormality in the beginning. Although trees continued to die, the total number of severely diseased and dead trees remained rela-

tively constant after 1961. Timber mortality apparently has been restricted to white pine, which is a minor component of timber stands in the area, comprising less than 5 percent of the total merchantable volume.

## D I S K U S S I O N

KELLER:

Haben Sie in Ihrem Untersuchungsgebiet Messungen des Ozongehaltes der Luft vorgenommen ?

ELLERTSEN:

Wegen technischer Schwierigkeiten ist dies bisher nicht geschehen, doch beabsichtigen wir, derartige Untersuchungen nun durchzuführen und außerdem Be- gasungsversuche durchzuführen.

KELLER:

Welche Maßnahmen zur Reduktion der Emmission wurden von den Kraftwerken unternommen ? Was bewirken die Emmissionen ?

BRANDT:

Meines Wissens werden keine Schäden verursacht. Die Kohle hat einen gleichbleibenden S-Gehalt. Es gibt keine Bemühungen eine Entschwefelung durchzuführen, meines Wissens gibt es auch keine (stag control) Filter im Kamin. Man hofft, daß die 300 m hohen Schloten für eine so gute Verteilung der Emmission sorgen, daß keine schädlichen Konzentrationen auftreten. Es gibt Elektrofilter für die Entstaubung.

SCHÜTT:

Haben Sie auch gesunde Kiefern gepfropft und gibt es Unterschiede im Anwuchsprozent der Pfropflinge ?

ELLERTSEN:

Die kranken Pflanzen wachsen schlechter an.

SCHÜTT:

Haben Sie irgendwelche Zusammenhänge zwischen der Anfälligkeit gegenüber Strobenblasenrost und Stroben-Pissodes einerseits und den Rauchschäden andererseits beobachtet ?

ELLERTSEN:

Im Untersuchungsgebiet ist der Rost in den dreißiger Jahren stark aufgetreten, seither nie mehr so bedeutend - dasselbe gilt für den Rübler.

# UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE SCHÄDEN AN KULTURPFLANZEN IN DER NÄHE EINES METALLURGISCHEN KOMBINATES

von

M. WARTERESIEWICZ, I. SZALONEK

Polnische Akademie der Wissenschaften Forschungsinstitut für  
den Oberschlesischen Industriebezirk, Zabrze

## EINLEITUNG

Das Problem der Rauchschäden und Beschädigungen der Pflanzen bildet den Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten, die sowohl unter den Bedingungen künstlicher Rauchwirkung in Klimakammern und Gewächshäuschen, wie auch in natürlichen Umständen im Freiland geführt wurden. Die letzten haben besonders große praktische Bedeutung (Guderian u. Stratmann 1962 u. 1968, Koziel u. Maly 1964 u. a.).

Untersuchungen über Ertragsverminderungen an Kulturpflanzen durch industrielle Luftverunreinigungen werden in Polen seit einigen Jahren im ober-schlesischen Industriebezirk durchgeführt; es sind dies Freilanduntersuchungen in der Umgebung von Kokereien, Eisen- und Zinkhütten sowie Elektrizitätswerken (Szalonek und Warteresiewicz 1966 a, b, Warteresiewicz 1968).

Die Ertragsverminderungen waren in einigen Gegenden dieses Bezirkes sehr hoch und die Schäden erreichten sogar eine Höhe von 70 %.

Die hier dargestellten Untersuchungen wurden in der Umgebung eines Eisenhüttenkombinates durchgeführt. Eine große Kokerei und eine Zementfabrik gehören gleichfalls zu diesem Industriekomplex, welcher in einem landwirtschaftlich genutzten Gebiet liegt.

## MATERIAL UND METHODE

Die Untersuchungen wurden im Verlauf der Jahre 1968 und 1969 durchgeführt. Es wurden 7 Experimentalstellen angelegt; 5

Punkte wurden in der Entfernung bis zu 1000 m in verschiedene Richtungen von den diversen Emissionsquellen des Kombines situiert (Punkte I,II,III,IV,VI). Ein Punkt lag in der Entfernung von ca.3000 m im Osten (Punkt V) und der Bezugspunkt (VII) war ca. 15 km entfernt.

An den Versuchspunkten wurden in der Vegetationsperiode Messungen der Luftverunreinigung durch Schwefeldioxyd und Staub geführt. Das Schwefeldioxyd wurde nach der Kontaktmethode mit Bleidioxyd bestimmt (British Standard 1963). Der Staubniederschlag wurde in Weckgläsern in einmonatlichen Abständen gesammelt. In die Erde eingelassene Rahmen wurden mit Boden aus luftverunreinigungsfreiem Gebiet gefüllt und danach bepflanzt. Die Dicke der Bodenschicht betrug 1 m und darunter war eine Kiesschicht von 10 cm, ähnlich wie dies Schönbeck, 1968 angibt. Es wurde die den einzelnen Pflanzenarten entsprechende Düngung angewandt. Die Experimente wurden bei sechsfacher Wiederholung mit folgenden Kulturpflanzen durchgeführt: Sommergerste (Sorte Skrzyszowicki) Kartoffeln (Sorte Flisak) Halbzuckerrübe (Sorte Cyklop) Bohnen (Sorte Saxa).

Im Verlauf der Vegetationsperiode wurde in den Blättern der Kartoffeln und der Bohnen der Chlorophyllgehalt bestimmt. Das Chlorophyll wurde mit Aceton extrahiert und auf einer chromatographischen Kolonne getrennt; die Bestimmung erfolgte mittels eines Unicam-Spektrometers SP-700 (Holden 1965).

Die Änderungen des Wassergehaltes in abgeschnittenen Blättern wurden über eine Zeitdauer von 15 Stunden in einstündigen Abständen bestimmt. (Godzik und Piskornik,1966). Die Erträge der Versuchspflanzen wurden statistisch ermittelt bei Anwendung der Varianzanalyse.

## ERGEBNISSE

### L u f t v e r u n r e i n i g u n g

Der Verunreinigungsgrad der Luft war an den Versuchspunkten im Bereich der Hütte im Verlauf beider Vegetationsperioden

weit höher als am Kontrollpunkt und im zweiten Jahr größer als im ersten (Tab.1, 2).

Tab. 1: Luftverunreinigung durch Schwefeldioxyd an den Versuchspunkten

Punkt	mg SO <sub>3</sub> /100 cm <sup>2</sup> Monat					
	1968			1969		
	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.
I	25,36	31,52	20,20	30,20	38,80	26,22
II	35,20	46,44	29,82	41,11	53,32	36,96
III	30,21	41,21	27,22	35,29	40,96	31,20
IV	33,40	46,32	22,10	48,25	65,56	29,43
V	20,23	26,24	12,61	23,70	28,51	15,21
VI	26,10	33,66	22,12	29,50	36,93	22,23
VII	10,61	12,74	8,38	14,08	16,60	10,85

Tab. 2: Staubniederschlag an den Versuchspunkten

Punkt	Staubniederschlag g/m <sup>2</sup> . Monat					
	1968			1969		
	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.
I	24,02	29,80	17,80	26,25	35,44	18,99
II	50,42	76,40	34,10	58,25	85,38	39,98
III	48,22	60,24	36,16	66,25	79,86	56,40
IV	38,82	54,20	28,22	42,20	57,20	29,82
V	16,20	20,30	14,02	17,10	22,59	14,12
VI	23,62	30,10	17,24	24,10	31,54	18,54
VII	12,08	16,80	8,84	14,22	16,52	10,84

## M e s s u n g e n   d e s   W a s s e r v e r l u s t e s d e r   P f l a n z e n b l ä t t e r

Es wurde ebenfalls versucht, den Grad der Einwirkung von Luftverunreinigungen auf die Pflanzen durch Messung der Geschwindigkeit zu bestimmen, mit der die Blätter ihr Wasser verlieren. Die Untersuchungen wurden an Kartoffel- und Bohnenblättern durchgeführt (Tab.3).

Bei Kartoffeln traten Unterschiede in der Menge und Geschwindigkeit des Wasserverlustes der Blätter zwischen den Kontrollpflanzen und denen aus dem Hüttenbereich in beiden Untersuchungsperioden auf. Im späteren Verlauf der Vegetation waren die Unterschiede deutlicher. Das Gewicht der frischen Blattmasse im Verhältnis zur Masse nach 5 Stunden nach dem Abschneiden der Blätter war bei Pflanzen aus der Hüttennähe geringer als bei den Pflanzen des Kontrollpunktes.

Bei Bohnenblättern waren die Unterschiede in beiden Untersuchungsperioden groß, mit Ausnahme der Pflanzen von Punkt I und II. Die höchste Luftverunreinigung trat bei den Punkten II, III und IV auf, die sich auf den benachbarten Feldern der Hütte befanden. Die Punkte I und VI wiesen etwas niedrigere Werte auf. Am Punkt V wird die Luftverunreinigung schon deutlich kleiner.

Tab. 3: Gewicht der abgeschnittenen Kartoffel- und Bohnenblätter nach 5 Stunden in Prozenten der frischen Masse

Punkt	Kartoffelblätter		Bohnenblätter	
	9.VII.	25.VII.	9.VII.	25.VII.
I	32,5	31,0	54,0	66,0
II	34,0	28,0	33,7	44,0
III	30,0	32,9	36,1	42,8
IV	31,2	28,9	38,2	43,8
V	38,0	39,5	56,5	66,9
VI	31,8	43,5	41,1	56,0
VII	50,0	66,2	59,0	69,1

Die erhaltenen Ergebnisse bestätigen, daß im Industriegebiet größere Wasserverluste in abgeschnittenen Blättern stattfinden, worauf auch frühere Untersuchungen mit Kastanienblättern hinweisen. (Godzik und Piskornik, 1966).

### D e r   C h l o r o p h y l l g e h a l t   i n P f l a n z e n b l ä t t e r n

Der Chlorophyllgehalt der Pflanzenblätter änderte sich im Verlauf der Vegetationsperiode (Tab. 4).

Gegen Mitte des Monats Juni waren noch keine Differenzen bei den Kartoffeln zu sehen. Anfangs Juli bei Bohnen gab es schon Unterschiede im Chlorophyllgehalt, doch am Ende dieses Monats waren bei beiden Pflanzenarten beträchtliche Differenzen nachweisbar. Der Chlorophyllgehalt war bei den Kontrollpflanzen vom Punkt VII und bei Pflanzen vom Punkt V, die immer dunkelgrün waren, weit höher als in den Blättern der im Umkreise des Kombines wachsenden Pflanzen.

Tab.4: Chlorophyllgehalt in Pflanzenblättern in  
mg pro g Trockensubstanz

Punkt	Kartoffeln				Bohnen			
	Chlorophyll		Chlorophyll		Chlorophyll		Chlorophyll	
	a	b	a	b	a	b	a	b
	12.VI.		23.VII.		4.VI.		23.VII.	
I	7,70	1,94	4,38	1,16	6,70	1,78	4,98	1,35
II	7,13	1,71	3,24	0,91	6,00	1,68	3,23	0,98
III	7,32	1,84	4,20	1,10	5,70	1,42	3,61	1,02
IV	7,23	1,90	4,86	1,26	6,65	1,75	4,32	1,13
V	7,58	1,80	6,62	1,60	7,18	1,94	6,01	1,49
VI	7,53	1,86	4,94	1,30	6,34	1,76	5,12	1,38
VII	7,62	1,77	6,84	1,66	7,04	1,80	6,22	1,56

## Ernteerträge der Pflanzen

Die Verunreinigung der Luft übte in beiden Versuchsjahren einen bedeutenden Einfluß auf die Erträge (Tab.5) aus.

Tab. 5: Erträge der Versuchspflanzen

Punkt	Erträge in Prozenten im Vergleich zum Kontrollpunkt = 100 %							
	Kartoffeln Knollen		Rüben Wurzeln		Bohnen Körner		Gerste Körner	
	1968	1969	1968	1969	1968	1969	1968	1969
I	85,4+	82,2+	84,2+	82,4+	89,8+	88,4+	-	-
II	80,4+	60,2+	85,2+	66,4+	89,1+	68,0+	97,2	78,8+
III	82,6+	73,6+	83,6+	81,6+	86,6+	78,6+	96,4	86,4+
IV	81,2+	76,2+	78,2+	74,2+	97,4	82,2+	94,5	84,2+
V	96,7	102,6	98,1	97,6	98,1	95,2	98,2	97,8
VI	88,0+	84,4+	88,1+	87,2+	92,6	94,0	94,4	92,2
VII	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

+ Differenz ist signifikant.

Eine sehr starke Herabsetzung der Erträge von Kartoffeln und Rüben wurde an den Versuchspunkten II, III und IV festgestellt. Der Ertrag in Bohnenkörnern war ebenfalls bei den Punkten I, II und III in beiden Versuchsjahren kleiner, am Punkt IV jedoch nur im Jahre 1969. Der Gerstekornertrag wies im Jahre 1968 keine wesentlichen Unterschiede im Vergleich zu den Kontrollpflanzen auf, dagegen waren im nächsten Jahre die Erträge an den Punkten II, III und IV niedriger.

## FOLGERUNGEN

Die Ergebnisse der zweijährigen Untersuchungen im Gebiet eines Eisenhüttenkombinates haben auf deutliche Weise den Einfluß emittierter Luftverunreinigungen auf die Pflanzenwelt erwiesen. Diese Einwirkung äußert sich auch im Wasserverlust der Blätter im Chlorophyllgehalt und in der Herabsetzung der Erträge. Die

beiden erstgenannten Untersuchungselemente können zusätzliche Informationen über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Pflanzen geben, bei welchen noch keine makroskopischen Blattschäden festzustellen sind. Stärkste Verluste traten in der Nachbarschaft des Kombinates in östlicher und südlicher Richtung auf. Diese Verluste erreichten bei den untersuchten Kulturpflanzenarten bis zu 40 %, was ein bedeutendes Problem für das landwirtschaftliche Gebiet in der Umgebung des Kombinates darstellt.

### ZUSAMMENFASSUNG

In der Umgebung eines großen Eisenhüttenkombinates wurden Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluß der Luftverunreinigungen auf Kulturpflanzen zu erforschen. Die ausgeführten Analysen weisen auf einen hohen Schwefeldioxydgehalt und großen Staubbiederschlag im Bereich des Kombinates hin.

Um möglichst ausgeglichene Wachstumsbedingungen für die Versuchspflanzen zu gewährleisten, wurden die Experimentalkulturen in Kisten angelegt, die alle mit demselben Boden gefüllt waren. Die Einwirkung der Luftverunreinigungen auf Pflanzen war in der Nachbarschaft des Kombinates sehr deutlich. Festgestellt wurden: beschleunigter Wasserverlust durch die Blätter, Änderungen im Chlorophyllgehalt, Herabsetzung der Erträge. Sehr hohe Verluste (bis 40 %) wurden bei den Kartoffeln und Futterrüben festgestellt, bei Gerste waren die Differenzen geringer. Verminderung der Erträge wurden besonders im zweiten Untersuchungsjahr beobachtet, wo auch das Auftreten stärkerer Rauchbeschädigungen der Pflanzen sehr häufig war.

### LITERATUR

- 1.) British Standard 1747, 1963: Measurement of Air Pollution Part. 4. The lead dioxide Method (B.S.1747).

- 2.) GODZIK S., Z.PISKORNIK, 1966: Transpiration of Aesculus hippocastanum Leaves from Areas of Various Air Pollution. Bull.de l'Acad.Pol.des Scienc. XIV 181-184.
- 3.) GUDERIAN R., H.STRATMANN, 1962: Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxydwirkungen auf die Vegetation. I.Teil: Übersicht zur Versuchsmethodik und Versuchsauswertung. Westdeutscher Verlag - Köln und Opladen.
- 4.) GUDERIAN R., H.STRATMANN, 1968: Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxydwirkungen auf die Vegetation. III.Teil: Grenzwerte schädlicher SO<sub>2</sub>-Immissionen für Obst- und Forstkulturen sowie für landwirtschaftliche und gärtnerische Pflanzenarten. Westdeutscher Verlag - Köln und Opladen.
- 5.) HOLDEN M., 1965. Chlorophyls. In: Goodwin T.W."Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment" Academie Press London.
- 6.) KOZEL J., V.MALY, 1964: Vliv prumyslowych exhalatu na zhorseni urodnosti zemedelskych pud a na snizeni vynosu. Vedecke prace Vyzkumneho ustavu melioraci v Praze, 51-80.
- 7.) SCHÖNBECK H., 1968: Die Anwendung der Testpflanzenmethode, eine Modifikation der Sorauer'schen Fangpflanzenverfahren zum Nachweis von pflanzenschädigenden Immissionen. Materiały VI Międzynarodowej Konferencji "Wpływ zanieczyszczeń powietrza na lasy" Katowice, 313-327.
- 8.) SZALONEK I., M.WARTERESIEWICZ, 1966: Wzrost i plonowanie ziemniaków w warunkach przemysłowego zanieczyszczenia powietrza. Biuletyn Zakładu Badań Naukowych GOP PAN 8, 59-74.
- 9.) SZALONEK I., M.WARTERESIEWICZ, 1966: Wpływ zanieczyszczenia powietrza na niektóre rośliny warzywne. Biuletyn Zakładu Badań Naukowych GOP PAN. 8, 75-84.
- 10.) WARTERESIEWICZ M., 1966: Einfluß der Luftverunreinigungen auf Pflanzen in der Nähe einiger Zinkhütten. Materiały VI. Międzynarodowej Konferencji "Wpływ zanieczyszczeń powietrza na lasy." Katowice, 185-195.

## INVESTIGATIONS ON THE DAMAGE TO CROP PLANTS NEAR A METALLURGICAL COMBINE

BY MARIA WARTERESIEWICZ AND IRENE SZALONEK

In the vicinity of a large ironworks, investigations were made to determine the effect of air pollution on crop plants. The measurements of air pollution indicate a high content of sulphur dioxide and also a high dust content.

In order to assure identical growth conditions for the plants as far as possible, the experiments were made in wooden boxes on uniform soils. The unfavourable effect of the air pollution on the plants was very obvious. Growth rate was reduced, water loss via the leaves was accelerated, and there were changes in the content of assimilation pigments. The damage to the plants was irregular and occurred in differing degrees, and the number of species damaged was high. The yields were lower than the control plants. Very severe losses (up to 40%) were determined in the case of potatoes and fodder beet, but losses in barley were smaller. The lower yields were particularly noticeable in the second year of the experiment, when the incidence of acute damage was very high.



# EINFLUSS NIEDRIGER SCHWEFELDIOXYDKONZENTRATIONEN AUF DIE FICHTE

von

Jan M A T E R N A

Forschungsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen Zbraslav

## EINFÜHRUNG

Der geplante Ausbau neuer thermischer Kraftwerke in der CSSR brachte die Gefahr mit sich, daß durch die großen emittierten Schwefeldioxydmengen, die Waldbestände auf großen Flächen beschädigt werden. Die Berechnung der Schwefeldioxydverbreitung hat jedoch zu dem Schluß geführt, daß die Immissionskonzentrationen ziemlich niedrig liegen werden (maximale Immissionskonzentration bei 30 Min. Dauer unter  $0,5 \text{ mg/m}^3$ ). Eine solche Konzentration sollte nach den Untersuchungen von Katz (1949) für verschiedene Nadelholzarten nicht mehr toxisch sein. In diesen Versuchen handelte es sich um Holzarten, von welchen einige als widerstandsfähiger als *Picea abies* bekannt sind und weil auch die Anordnung der Versuche nicht unseren Verhältnissen entsprach, war uns die Aufgabe gestellt, die Einwirkung niedriger Konzentrationen von  $\text{SO}_2$  auf die Fichte in einem langdauernden Versuch zu überprüfen.

Die Einwirkung von  $\text{SO}_2$  sollte nicht nur durch die äußeren Merkmale, sondern auch durch chemische Nadelanalysen kontrolliert werden. Dieser Versuch sollte durch eine Reihe von Untersuchungen (von verschiedenen Gesichtspunkten aus: Laboratoriumsversuche, Messungen von  $\text{SO}_2$  in unterschiedlich stark beschädigten Beständen) den Zusammenhang zwischen der  $\text{SO}_2$  - Konzentration und der Reaktion der Holzarten erkennen lassen.

## MATERIAL UND METHODEN

### B e g a s u n g

Da es sich um einen langdauernden Versuch handeln sollte,

konnte er nicht unter Laboratoriumsbedingungen durchgeführt werden. Darum wurden die Pflanzen einer Schwefeldioxydkonzentration unter Freilandbedingungen ausgesetzt, wobei nur eine Abdeckung der seitlichen Luftbewegung durch Plastikfolie erfolgte. Die Schwefeldioxydkonzentration wurde laufend durch ein registrierendes Meßgerät kontrolliert.

Der Begasung wurden 270 Fichtenpflanzen, die am Anfang des Versuches 5 Jahre alt waren, unterworfen. Als Kontrolle diente dieselbe Anzahl der Pflanzen. Der Versuch wurde in einer alten Baumschule mit gut ausgeglichenem Boden angelegt. Die Begasung der Pflanzen begann im Jahre 1963, wurde im Jahre 1968 beendet; die Entwicklung der Pflanzen wurde jedoch bis zum Jahre 1970 verfolgt. Die  $\text{SO}_2$ -Konzentration während der Begasung wurde unter  $1 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  Luft gehalten, wobei sich die meisten Konzentrationen unter 0,5 befanden. Die Begasung erfolgte nur während der Vegetationszeit in verschiedenem Umfang, der teilweise auch von der herrschenden Witterung abhängig war.

#### P r o b e e n t n a h m e   u n d   A n a l y s e n

Die Probenahme erfolgte in unregelmäßigen Abständen sowohl während der Begasung, als auch außer dieser Zeit (auch im Winter). Von den begasteten Pflanzen sowie von der Kontrolle wurden immer je 9 Nadelproben entnommen. Als Proben dienten die Nadeln des laufenden Jahres oder vom vorigen Jahr (im Frühjahr vor dem Austreiben des neuen Jahrganges). Diese Anzahl der Proben reicht zur Beurteilung der event. Unterschiede in den meisten Fällen aus. Nur wegen der großen Streuung der Analyseergebnisse bei den Zuckern wäre eine höhere Probeanzahl wünschenswert. Durch chemische Analyse wurden bestimmt:

- 1.) Gehalt an Kali, Kalk, Magnesia, Phosphor und Schwefel nach den üblichen Verfahren, die bei der Blattanalyse für die Zwecke der Ernährungsuntersuchung angewendet werden.
- 2.) Gehalt an Glukose, Fruktose und Saccharose - nach der papierchromatographischen Auftrennung des alkoholischen Extraktes nach Somogy und Nelson.
- 3.) Gehalt an Stärke nach einer Methode, die Adams und Merle

(1961) an *Pinus ponderosa* benutzten und welche dem Material angepaßt wurde.

4.) Vitamin C - Gehalt - kolorimetrische Methode mit alfa-alfa-dipyridil (Sullivan, Clarke 1955).

5.) Chlorophyll a und b Gehalt - kolorimetrisch nach chromatographischer Auftrennung.

### A u s w e r t u n g

Ausgewertet wurden die Schwefeldioxydkonzentrationen der Meßstreifen für 30 Min. Intervalle, und zwar alle Angaben über dem Nullwert. Das äußere Schadbild wurde die ganze Zeit verfolgt, es erfolgte aber nur in einem Falle die Auswertung subjektiv, nämlich bei welcher Intensität der Begasung eine Beschädigung der einzelnen Nadeljahrgänge der Pflanzen erfolgte. Der Höhenzuwachs wurde in den einzelnen Jahren gemessen und als Durchschnitt ausgewertet. Die Ergebnisse der Analysen wurden als Durchschnitt für die einzelnen Probeentnahmetermine berechnet und die Signifikanz der Unterschiede statistisch ausgewertet.

### ERGEBNISSE

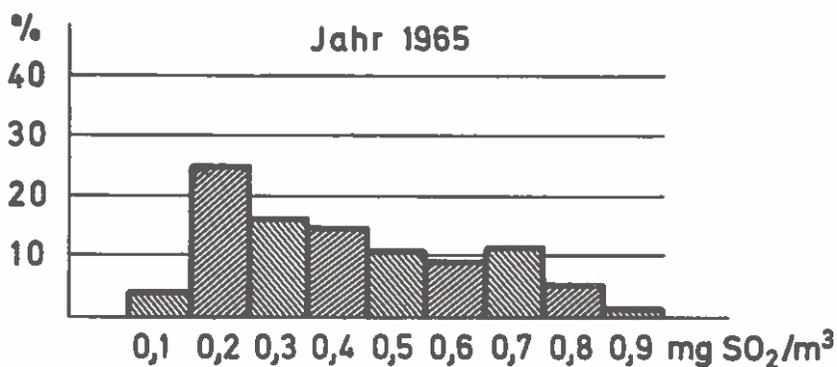
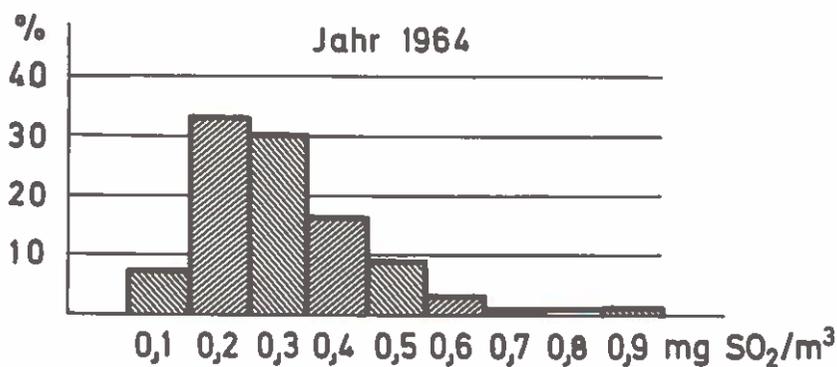
Aus dem umfangreichen Material sind hier nur die wesentlichen Punkte enthalten oder Beispiele erwähnt.

#### S c h w e f e l d i o x y d k o n z e n t r a t i o n e n

Die Konzentrationen des Schwefeldioxyds, welche bei der Begasung der Pflanzen erzielt wurden, sind in den einzelnen Jahren wie folgt.

Jahr	1963	1964	1965	1966	1967	1968
Dauer der Begasung in Stunden	260	205,5	170	696	227	407
Durchschnittliche SO <sub>2</sub> -Konzentration während der Begasung mg/m <sup>3</sup>	0,40	0,24	0,37	0,34	0,35	0,33

Als Beispiel der Verteilung der Schwefeldioxydkonzentrationen bei der Begasung sind die Meßergebnisse in den Jahren 1964 und 1965 graphisch dargestellt (Vgl. Abb.1)




---

## Häufigkeitsverteilung der Schwefeldioxyd- konzentrationen im Begasungsversuch

## B e s c h ä d i g u n g   d e r   F i c h t e

Unter diesen Bedingungen der Luftverunreinigung konnten wir nur in einem Falle eine klare Beschädigung durch Schwefeldioxyd feststellen, und zwar im zweiten Jahr des Versuchs, unter einem Zusammenspiel einer höheren Schwefeldioxydkonzentration (um  $0,8 \text{ mg/m}^3$ ), bei großer Luft- und Bodenfeuchtigkeit und intensiver Sonnenstrahlung. Unter diesen Umständen zeigten sich klare Anzeichen einer akuten Beschädigung der Pflanzen. Die Pflanzen wurden in recht unterschiedlichem Umfang betroffen, 45 % erlitten keinen Schaden, bei den übrigen zeigte sich ein stark differenziertes Schädigungsbild. Bei 23 % der Pflanzen wurden die jungen Nadeln stärker, bei 46 % wurden alle Jahrgänge im gleichen Umfang beschädigt und bei 31 % der beschädigten Pflanzen hat sich die Schwefeldioxydkonzentration auf den älteren Nadeln stärker ausgewirkt. Daraus ergab sich eine durchschnittliche Schädigungsstufe:

bei den Nadeln des neuen Triebes (1964)	1,4
bei den Nadeln des vorigen Jahres (1963)	2,0
bei den Nadeln des Jahrganges 1962	1,7

Im allgemeinen war die Beschädigung ziemlich gering.

Während des weiteren Verlaufes des Versuches, konnte weder eine äußere Beschädigung der Pflanzen beobachtet werden, noch konnte man eine Reduktion der älteren Nadeln, wie sie für die chronisch beschädigten Fichtenbestände typisch ist, nachweisen. Es muß aber betont werden, daß wegen der starken Heterogenität des Pflanzmaterials ein solcher Nachweis auch sehr schwierig wäre.

## E r g e b n i s s e   d e r   c h e m .   A n a l y s e n

In den Tabellen 1 - 3 sind hier als Beispiel die Ergebnisse der chemischen Analysen der Proben vom Jahre 1965 vorgelegt. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Veränderungen, die im Gehalt an einigen Nährelementen unter Schwefeldioxydeinfluß eingetreten sind. Die Unterschiede in den Schwefelgehalten sind mit einer Ausnahme zu jedem Entnahmetermin signifikant. Nur in den neu gebildeten Trieben kurz nach dem Austreiben ist

T a b e l l e 1

Gehalt an Schwefel und anderen Elementen in den Nadeln der Fichten im Begasungsversuch  
(in % der Trockensubstanz)

Proben- nahme am	S		P		K		Ca		Mg		
	O	SO <sub>2</sub>	O	SO <sub>2</sub>	O	SO <sub>2</sub>	O	SO <sub>2</sub>	O	SO <sub>2</sub>	
Nadeljahr- gang 1964											
3.5.65	0,181 <sup>xxx</sup>	0,251	0,150	0,160	0,385 <sup>xxx</sup>	0,454	0,700 <sup>x</sup>	0,767	0,114 <sup>x</sup>	0,136	
Nadeljahr- gang 1965											
31.5.65	0,284	0,307	0,495	0,423	1,079	1,087	0,271	0,243	0,171	0,174	
15.6.65	0,144 <sup>xxx</sup>	0,182	0,227 <sup>x</sup>	0,268	0,710 <sup>x</sup>	0,783 <sup>x</sup>	0,357 <sup>x</sup>	0,287	0,102	0,100	
14.7.65	0,128 <sup>xxx</sup>	0,164	0,168	0,185	0,400 <sup>x</sup>	0,475	0,467 <sup>x</sup>	0,585	0,128	0,119	
3.8.65	0,130 <sup>xxx</sup>	0,201	0,148 <sup>xxx</sup>	0,194	0,351 <sup>xxx</sup>	0,418	0,608 <sup>xxx</sup>	0,735	0,122 <sup>x</sup>	0,158	
31.8.65	0,168 <sup>xxx</sup>	0,237	0,149 <sup>xxx</sup>	0,192	0,501 <sup>xxx</sup>	0,605	0,785 <sup>xxx</sup>	0,890	0,153 <sup>xxx</sup>	0,196	
21.9.65	0,174 <sup>xxx</sup>	0,305	0,161 <sup>xxx</sup>	0,213	0,543 <sup>xxx</sup>	0,687	0,830 <sup>xxx</sup>	0,957	0,181	0,196	
12.10.65	0,228 <sup>xxx</sup>	0,323	0,158 <sup>x</sup>	0,188	0,508 <sup>xxx</sup>	0,634	0,830 <sup>x</sup>	0,908	0,171	0,173	
15.12.65	0,195 <sup>xxx</sup>	0,343	0,147 <sup>xxx</sup>	0,192	0,485 <sup>xxx</sup>	0,616	0,787 <sup>xxx</sup>	0,948	0,218	0,208	

Gehalt an Fruktose, Glukose, Saccharose und Stärke in den Nadeln der Fichten im Begabungsversuch (in % der Trockensubstanz)

Probeentnahme am	Fruktose		Glukose		Saccharose		Stärke	
	0	SO <sub>2</sub>	0	SO <sub>2</sub>	0	SO <sub>2</sub>	0	SO <sub>2</sub>
Nadeljahrgang 1964:								
2.5.65	1,12	1,23	1,40	1,64	4,59 <sup>xxx</sup>	3,49	1,82 <sup>xxx</sup>	1,41
Nadeljahrgang 1965:								
31.5.65	1,44	1,33	1,20	1,12	0,17 <sup>xxx</sup>	0,11	1,81 <sup>xxx</sup>	1,20
15.6.65	1,73	1,60	1,72	1,57	0,97 <sup>xxx</sup>	0,67	1,24	1,04
14.7.65	1,74	1,58	2,29	2,09	1,17	1,03	1,23	1,18
2.8.65	1,98	2,00	2,78	2,71	2,03 <sup>xxx</sup>	1,59	2,25	2,21
31.8.65	1,72	1,60	2,71 <sup>xxx</sup>	2,27	2,24	2,26	1,85 <sup>x</sup>	1,52
21.9.65	1,38	1,38	2,57 <sup>xxx</sup>	2,15	2,87	2,84	1,68	1,48
12.10.65	1,56	1,51	2,76 <sup>xxx</sup>	2,17	3,34	3,31	1,10	0,90
15.12.65	2,00	1,83	3,05 <sup>xxx</sup>	2,44	3,12 <sup>xxx</sup>	3,57	0	0

T a b e l l e 3

Gehalt an Aminosäuren, Vitamin C, Chlorophyll a und b in den Nadeln der Fichten am Bergungsversuch (mg/l g bei Aminosäuren in der T.S., bei anderen Stoffen in F.S.)

Probeentnahme am	Aminosäuren		Vitamin C		Chlorophyll a		Chlorophyll b	
	0	SO <sub>2</sub>	0	SO <sub>2</sub>	0	SO <sub>2</sub>	0	SO <sub>2</sub>
Nadeljahr- gang 1964:								
2.5.65	29,5	27,6	1,64 <sup>xxx</sup>	1,27	0,102 <sup>xx</sup>	0,079	0,027 <sup>xxxx</sup>	0,023
Nadeljahr- gang 1965:								
31.5.65	27,8	27,7	0,31	0,32	Spuren	Spuren	0,054	0,054
15.6.65	28,6	28,3	0,37	0,37	Spuren	Spuren	0,055	0,049
14.7.65	66,4	68,1	0,82	0,77	0,121 <sup>xxx</sup>	0,093	0,105	0,105
2.8.65	59,0	58,6	0,82	0,71	0,310	0,290	0,150	0,170
31.8.65	42,2	43,3	1,08	0,92	0,540	0,560	0,170	0,190
21.9.65	34,6 <sup>x</sup>	37,2	0,81	0,70	0,460	0,500	0,170	0,188
12.10.65	47,9 <sup>x</sup>	51,7	1,12	1,04	0,560 <sup>xxx</sup>	0,720	0,210	0,210
15.12.65	33,7 <sup>xxx</sup>	38,9	1,32 <sup>x</sup>	1,15	0,510	0,580	0,140 <sup>x</sup>	0,170

der Unterschied nicht gesichert. Die Ursache ist klar: Die Nadeln standen nur eine kurze Zeit unter dem Einfluß von Schwefeldioxyd. Der signifikante Unterschied bei der ersten Probenentnahme ist durch die Einwirkung des Schwefeldioxyds im Vorjahr gut erklärbar. Einen ähnlichen Verlauf zeigen auch die Gehalte an Kali und Kalk. Auch hier sind die Unterschiede in den vorjährigen Nadeln signifikant, in den neuen Trieben nicht, und wieder erst nach längerer Begasung vergrößern sich die Unterschiede. Auf den, durch Schwefeldioxydeinwirkung hervorgerufenen Anstieg von Kalk, Kali und Magnesia in den Nadeln, wurde schon auf Grund der Blattanalyse in einem rauchgeschädigten Kiefernbestand (Themlitz 1960) und auf Grund kurzfristiger Versuche (Materna 1961) hingewiesen. Eine bisher nicht beobachtete Tatsache ist die hier klar zu Tage kommende Erhöhung des Phosphorspiegels in den durch Schwefeldioxyd beeinflussten Nadeln in der zweiten Vegetationshälfte.

Nicht so klar und ausgeprägt sind die Unterschiede in den Gehalten an einigen organischen Substanzen, die analytisch bestimmt wurden. Praktisch keine Unterschiede konnten bei der Fruktose gefunden werden. bei Glukose- und Saccharosegehalt gab es nur in einigen Fällen Unterschiede. Diese Unterschiede in den Gehalten sind aber nicht so hoch, daß dadurch der normale Rhythmus gestört wird; d.h. auch in den rauchbeeinflussten Nadeln stieg vom Frühjahr bis zum Winter der Gehalt an Saccharose in den Nadeln ganz deutlich, dasselbe gilt auch von der Glukose. Der Stärkespiegel liegt in den durch Schwefeldioxyd beeinflussten Nadeln im Frühjahr deutlich niedriger, zu anderen Entnahmetermen ist der Unterschied nicht signifikant.

Der Gehalt an Aminosäuren unterscheidet sich erst am Ende der Vegetationsperiode und ist durch Schwefeldioxydeinwirkung etwas angestiegen. Diese Tatsache ist auch in anderen Versuchen bei kürzerer Einwirkungsdauer feststellbar. Es kann aber bei keiner der analysierten Aminosäuren gesagt werden, daß die Veränderungen ihres Gehaltes den Gesamtgehalt wesentlich beeinflussen. Der Ascorbinsäuregehalt ist zwar während des ganzen Jahres mit einer Ausnahme in den Nadeln der begasten

Pflanzen niedriger, der Unterschied ist jedoch nur in zwei Fällen signifikant. Die Analysenergebnisse der Chlorophyllgehalte geben einen klaren Rückgang des Gehaltes der beiden Farbstoffe nach der Begasung im Frühjahr; es konnte aber auch ein deutlicher Anstieg in den Nadeln der begasten Pflanzen verzeichnet werden, (bei zwei Entnahmetermenen).

#### H ö h e n z u w a c h s

Im Jahre 1964 lag der Höhenzuwachs der begasten Fichten noch um 25 % höher als jener der Kontrolle. Während der weiteren Jahre der Begasung verminderte sich der Unterschied und vom Jahre 1966 an waren die Terminaltriebe der Kontrollfichten länger. Im Jahre 1968 bei Beendigung der Begasung war der Höhenzuwachs der begasten Fichten um 12 % kleiner als jener der Kontrolle.

#### DISKUSSION

Die Ergebnisse des Versuches lassen erkennen, daß die Begasung mit Schwefeldioxyd auf die Fichte eine Auswirkung ausübte, welche sich in die Stufe A, resp. B der Einteilung von Vogl und Mitarbeitern (1965) einreihen läßt. Nach dieser Definition wird die Schädigungsstufe A durch geringe  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen bei sehr langer Einwirkung hervorgerufen und beruht wesentlich in der Belastung des Puffersystems. Diesem entsprechen die in unserem Versuch beobachteten inneren Veränderungen, z.B. der Anstieg des Schwefelgehaltes sowie der Kationen in den Nadeln. Biochemisches Schadbild der Stufe B ist durch Beeinträchtigung der Photosynthese und verminderte Assimilatbildung gekennzeichnet. Ein wesentlicher Unterschied unserer Ergebnisse gegenüber den Definitionen besteht nur darin, daß es doch zu einer Zuwachsdepression während der ganzen Dauer des Versuches gekommen ist. Für beide Stufen wird keine, resp. nicht meßbare Schädigung der Gesamtpflanze angegeben.

Im Vergleich mit dem Rauchschadensgebiet Erzgebirge, entsprechen die im Versuch angewendeten Schwefeldioxydkonzentrationen wie im jährlichen Durchschnitt ( $c < 0,01 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ) so

auch im Immissionstyp den Verhältnissen am Rand der rauchgeschädigten Wälder, wo keine sichtbare Schädigung der Kronen vorliegt, wo aber auch Zuwachsdpression festgestellt wurde.

Auf Grund bisheriger Kenntnisse kann nicht beurteilt werden, ob die festgestellten Veränderungen in der inneren Zusammensetzung der Fichtennadeln eine Bedeutung für die Zuwachsleistung oder für den Gesundheitszustand der Fichte haben könnten. Der Anstieg an Kalium, Kalk eventuell Magnesia ist zwar deutlich nachweisbar, bleibt jedoch überwiegend in solchen Grenzen, daß dadurch eine Beeinflussung der Mineralstoffernährung der Holzart kaum zu erwarten ist.

Was die organischen Bestandteile der Fichtennadeln betrifft, so sind die durch Schwefeldioxydeinwirkung hervorgerufenen Unterschiede wesentlich weniger ausgeprägt. Die Unterschiede des Aminosäuregehaltes haben denselben Trend, wie er von Arndt (1970) für die freien Aminosäuren in verschiedenen Pflanzen und von Guderian und Stratmann (1962) für den Eiweißstoffgehalt der Kartoffel beobachtet wurde. Der Einfluß von Schwefeldioxyd auf den Gehalt von Glukose, Saccharose und Stärke, der zu einigen Entnahmeterminen festgestellt wurde, kann mit der, durch mehrere Forscher festgestellten Senkung der Assimilation, in Einklang gebracht werden.

Für die Anwendung der Blattanalyse zur Diagnostik der  $\text{SO}_2$ -Einwirkung auf die Fichte ist die Erkenntnis wichtig, daß der Schwefelgehalt der Nadeln unter allen untersuchten Stoffen und Elementen die größte Veränderung erfährt, die auch wesentlich beständiger ist als die Veränderungen in den Gehalten organischer Stoffe. Die Veränderungen in den Konzentrationen an Kali und Kalk sind zwar auch beständig, die Konzentrationsverschiebung in den Nadeln ist aber nicht so ausgeprägt wie beim Schwefel. Das bedeutet, daß die Untersuchung des Schwefelgehaltes bei der Blattanalyse für den Nachweis der Schwefeldioxydeinwirkung wichtiger ist als die Untersuchung anderer Stoffe, die in dieser Arbeit überprüft wurden.

Es sei noch erwähnt, daß während des weiteren Verlaufes des Versuches (bis zum Jahre 1968) die hier erwähnten Tatsachen

bestätigt wurden. Zu einem völligen Ausgleich der Zusammensetzung der Nadeln zwischen begasten Pflanzen und der Kontrolle ist es erst im Jahre 1970 gekommen.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Im Laufe von 6 Jahren wurde eine Gruppe von Fichtenpflanzen fast 2.000 Stunden mit niedrigen Konzentrationen von  $\text{SO}_2$  ( $< 1 \text{ mg/m}^3$  Luft) begast. Die Begasung hat eine signifikante Erhöhung des Schwefelspiegels in den Nadeln verursacht und gleichzeitig zu einem Anstieg an Kali, Kalk, teilweise auch Magnesia und Phosphor geführt. In einigen Fällen konnte auch ein Anstieg des Gesamtgehaltes an Aminosäuren und die Senkung des Gehaltes an Stärke, Glukose, Saccharose, Vitamin C und Chlorophyll a- und b-Gehalt festgestellt werden. Die Entwicklung des Höhenzuwachs der begasten Fichten war ungünstig beeinflusst.

#### LITERATUR

- Adams D.T., Emerson M.T.; 1961, Variations in starch and total polysaccharide content of *Pinus ponderosa* needles with fluoride fumigation; *Plant Physiology*, 36, 261 - 265
- Arndt U.; 1970, Konzentrationsveränderungen an freien Aminosäuren unter dem Einfluß von Fluorwasserstoff und Schwefeldioxyd; *Staub*, 30, 256 - 259.
- Guderian R., Stratmann H.; 1962, Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxydwirkungen auf die Vegetation; *Forschungsberichte des Landes Nordrhein - Westfalen* Nr.1118,
- Katz M.; 1949, Sulfur dioxide in the atmosphere and its relation to plant life; *Ind.Eng.Chem.*, 41, 2450 - 2465.
- Materna J.; 1961, Einfluss des Schwefeldioxyds auf die mineralische Zusammensetzung der Fichtennadeln; *Naturwissenschaften* 46, 270 - 271

Sullivan M., Clarke M.C.; 1955, J.Assoc.Offic.Agr.Chemists  
38, 514 - 518

Themlitz N.; 1960, Die individuelle Schwankung des Schwefel-  
gehaltes gesunder und rauchgeschädigter Kiefern und  
seine Beziehung zum Gehalt an übrigen Hauptnährstof-  
fen. Allg.Forst- und Jagdzeitung 131, 261 - 264

Vogl M., Bürtitz S., Polster H.; 1965, Physiologische und  
biochemische Beiträge zur Rauchschaadensforschung 6.  
Mitt. Biol. Zbl.84, 763 - 777

## EFFECT OF LOW SULPHUR DIOXIDE CONCENTRATIONS ON SPRUCE

BY J. MATERNA

*Research Institute for Forestry and Hunting, Zbraslav, Czechoslovakia.*

The purpose of the work was to check on the influence of long-term effects of low sulphur dioxide concentrations on the increment and the state of health of Norway spruce. The concentrations of certain contents of the needles were also investigated at the same time. The work was carried out in the framework of testing previous views as to critical concentrations of sulphur dioxide in the air.

A group of spruce plants which were four years old at the start of the experiments were exposed to the effect of sulphur dioxide during the growing season in six successive years. The concentrations of the gas were between 0.24 and 0.40 mg per cu m of air (average values during exposure in the various years) and thus gave an average over the whole period of investigation of 0.01 mg SO<sub>2</sub> per cu m of air. In no case did the concentration exceed 1 mg, even for a short time. In each year, samples were taken several times for needle analysis. The results can be summarized as follows:

- (1) only once during the period of the experiment could external damage be observed on some of the plants. Otherwise, exposure to the gas produced no distinct external changes.
- (2) height increment was slightly reduced by the effect of SO<sub>2</sub>.
- (3) with the individual samplings, clear changes were found in the contents of certain substances in the needles as a result of the effect of sulphur dioxide, viz.:

- the content of amino acids generally rose;
- the starch content fell, as did the vitamin C content;
- contents of glucose and fructose dropped slightly, and there was a significant drop in sucrose, in most cases;
- the contents of potassium, calcium, magnesium and sulphur rose.

## D I S K U S S I O N

ZAHN:

Während der Vegetationsperiode ist zwischen 170 und 696 Stunden begast worden und zwar mit Konzentration zwischen 0,24 - 0,40 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Daraus hat sich für

die gesamte Vegetationsperiode ein Durchschnittswert von  $0,01 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  ergeben. Dieses rechnerisch erhaltene Ergebnis kann leicht zu Fehlschlüssen Anlaß geben: Sie haben während einer kurzen Zeit begast - während einer Zeit, in der die Pflanzen empfindlich waren. Hätten Sie das ganze Jahr über - also auch in der weniger empfindlichen Periode begast, wären Sie zu einem wesentlich höheren Jahresdurchschnittswert gelangt ohne daß die Pflanzen stärker in Mitleidenschaft gezogen worden wären. Es dürfte aus Ihren Ergebnissen nicht abgeleitet werden, daß die gefundenen Werte eine Art von Grenzkonzentration darstellen.

MATERNA:

Die Versuchsanordnung wurde gewählt, um einen Vergleich zu unseren Messungen im Erzgebirge herstellen zu können. Die Durchschnittsbildung muß lediglich als Hilfsmittel betrachtet werden und kann nur in einem solchen Fall angewendet werden, wo die Struktur der Emissionen vergleichbar ist.

BEUSCHL:

Ist es denkbar, daß in den begasten Nadeln das Trockengewicht abgenommen hatte, sodaß lediglich die Bezugsgröße verändert worden ist, d.h. daß lediglich Schwefel echt zugenommen hat, aber alle anderen Stoffe gleich geblieben sind?

MATERNA:

Wir haben in diesem Fall auf Frischgewichte bezogen. Wir haben aber andere Untersuchungen durchgeführt, in denen sich gezeigt hat, daß die Trockengewichte zwischen begasten und unbegasten Zweigen desselben Baumes keine signifikanten Unterschiede ergaben.

# THE INFLUENCE OF OZONE ON DECIDUOUS FOREST TREE SPECIES

by

Francis A. WOOD and John B. COPPOLINO

Pennsylvania State University

Research Associate, Center for Air Environment Studies and  
Professor of Plant Pathology, Department of Plant Pathology; Research  
Assistant, Center for Air Environment Studies, The Pennsylvania State  
University, University Park, Pennsylvania 16802.

Contribution No. 681, from the Department of Plant Pathology,  
Contribution No. 261-72, of the Center for Air Environment Studies.

We acknowledge the Environmental Protection Agency for providing  
grant no. AP 00436; the School of Forest Resources for providing space  
and facilities in the Forest Resources Laboratory.

## ABSTRACT

Two- to five-year-old seedlings of 21 species of deciduous trees  
commonly found in northeastern U. S. A. were exposed to  $O_3$  dosages  
of 25 pphm for 4 or 8 hr and to 10 pphm for 2, 4, 6 or 8 hr at 21° C,  
a relative humidity of 75%, and 1400 ft-c of light. All plants were  
exposed to 1 hr of darkness prior to fumigation. Symptoms developed  
on green ash, white ash, sweet gum, pin oak, scarlet oak, white oak,  
hybrid poplar, mountain ash, sycamore, redbud, honeylocust and tulip  
poplar following exposure to 25 pphm for 8 hr. The most common  
symptoms observed were stipples of the upper leaf surface, necrotic  
flecks, overall leaf chlorosis, marginal leaf necrosis, overall leaf

necrosis, and tissue collapse. Exposure of these species to 25 pphm  $O_3$  for 4 hr injured green ash, white ash, mountain ash, honeylocust, white oak, hybrid poplar, and tulip poplar. Exposures at 10 pphm  $O_3$  for 8 hr injured white ash, honeylocust, hybrid poplar, tulip poplar, and sycamore. Symptoms failed to develop on European white birch, gray dogwood, flowering dogwood, little-leaf linden, Norway maple, sugar maple, English oak, red oak, and shingle oak exposed to 25 pphm for 8 hr. The incidence of sensitive plants within seedling population of each species ranged from 19% to 100%; with the exception of white ash, all species were resistant during the first two weeks of growth following bud break in the spring.

The phytotoxicity of photochemical air pollutants was established by Haagen-Smit et al. in 1952 in the Los Angeles area. They demonstrated that irradiated mixtures of oxides of nitrogen and hydrocarbons resulted in reaction products that caused "typical" smog injury to plants. Data obtained since 1952 indicate that ozone ( $O_3$ ) and peroxyacetyl nitrate (PAN) are among the two most important phytotoxic photochemical air pollutants in the United States (Wood, 1968). At the present time,  $O_3$  is thought to be the most important photochemical air pollutant affecting plants.

Ozone was demonstrated to be the cause of "stipple" of grape by Richards et al. in 1958. Subsequently, Heggstad and Middleton (1959) found that  $O_3$  was the cause of weather fleck of tobacco. During 1964, Heggstad et al. reported that  $O_3$  injury developed on the upper leaf surface of tobacco leaves, that damage accumulated on a given leaf as the number of fumigations increased, and that leaves at the base

of the plant, the older leaves, were most severely affected. Hill et al. (1961) studied the response of 34 species of plants to  $O_3$ . Plants were fumigated for 2 hr with concentrations from 13 to 72 pphm in controlled atmosphere greenhouses. Twenty-eight species were sensitive with the small grains, alfalfa, spinach and tobacco among the most sensitive. Hill et al. included two woody species in their work, peach (Prunus persica L.) and grape (Vitis vinifera L.). Peach was injured at 28 pphm and grape at 34 pphm. Daines et al. (1963) reported 20 species of herbaceous plants to be sensitive to  $O_3$ ; symptoms observed were similar to those of weather fleck on tobacco.

In a review of the literature on the influence of the  $O_3$  on plants, Rich (1964) listed 57 different species as being susceptible to  $O_3$ . Pinus was the only forest tree genus among the 57 different plants listed.

Ozone was initially implicated as the cause of injury to forest trees in the early 1960's. Berry and Ripperton (1963) detected concentrations of  $O_3$  in the field as high as 6.5 pphm; the exposure of susceptible ramets of eastern white pine (Pinus strobus L.) to similar concentrations caused injury typical of that observed on eastern white pines. Chlorotic decline of ponderosa pine (Pinus ponderosa Laws.) in the San Bernardino mountains east of Los Angeles, California, is now thought to be caused by  $O_3$  (Miller et al. 1963; Parmeter and Miller, 1968; Richards et al. 1968). Ozone concentrations of 14 pphm were recorded in affected stands and needles of ponderosa pines treated with 50 pphm  $O_3$  for 9 hr per day for 9 or 18 days under field conditions developed the typical chlorotic mottle associated with the disease in the field. Additional studies showed that the chlorophyll

content of ozonated foliage was generally less than that of ambient controls.

During the mid-1960's we began a series of studies to determine the effects of  $O_3$  and PAN on woody plants with emphasis on forest tree species. The relative sensitivity of 21 deciduous tree species and the relationship between phenological condition and sensitivity were examined and the results are reported herein. A portion of these data were presented in abstract form elsewhere (David and Wood, 1968; Wood, 1970; Wood and Coppolino, 1971).

MATERIALS AND METHODS.--Twenty-one species of two- to five-year-old deciduous tree seedlings, potted in a 2:1 peat:perlite mixture, were used in this study. The plants were maintained either on greenhouse benches, where they received charcoal filtered air and were watered regularly or in outside beds, where they received ambient air and were watered and fertilized regularly. Prior to exposure, five plants per species were placed in the darkness in a controlled environment chamber for 1 hr at a temperature of 21° C and a relative humidity in the range of 70% to 85%. The pre-dark period has been shown to enhance symptom development. Four seedlings per species were transferred to the exposure chamber and one plant per species was left in the original chamber as a check. Throughout the period of growth, from 4 to 19 weeks, plants were exposed to concentrations of 10 ppm  $O_3$  for 2, 4, 6 and 8 hr and 25 ppm for 4 and 8 hr.

Ozone was generated by passing pure oxygen through a commercial (ultraviolet light) ozonator. The desired  $O_3$  concentration was maintained by regulating either the amperage or oxygen flow through the  $O_3$  generator. The gas was transferred to the exposure chamber through

stainless steel or Teflon tubing. Once inside the chamber, the O<sub>3</sub> mixed with incoming charcoal filtered air. The exposure chamber was a modified version of a commercially available chamber (Environmental Growth Chamber Co., Chagrin Falls, Ohio) and has been described elsewhere (Wood et al. 1968).

Exposures were conducted at a temperature of 21° C, a relative humidity of 75%, and a light intensity of approximately 1400 ft-c. During exposures, O<sub>3</sub> levels were monitored continuously with a Mast (Mast Development Co., Davenport, Iowa) meter connected to a strip chart recorder. Oxidant values of the Mast meter were compared to the determination of oxidants by the neutral buffered potassium iodide method; meter efficiencies ranged from 80% to 95% during these studies and a second meter was used as a check on the first. Continuous and intermittent temperature measurements were made during exposures using copper-constantan thermocouples connected to a 24-point recorder, and relative humidity was monitored using lithium chloride sensors (Hygro-dynamics Inc., Silver Springs, Maryland) and a single pen strip chart recorder.

After exposure, plants were placed in controlled environment chambers maintained at 21° C and a relative humidity of 75%. A 12 hr photoperiod of approximately 1400 ft-c beginning at 0700 hr was utilized. The seedlings were held in this chamber approximately one week or until after visible symptom development ceased, at which time the foliage was examined.

RESULTS.--Relative susceptibility of species.--Twelve of the 21 species exposed to 25 pphm O<sub>3</sub> for 8 hr were sensitive (Table 1). Eight

of the 12 species were available in quantities large enough to permit subsequent exposure to 25 pphm of O<sub>3</sub> for 4 hr. All eight species, green ash, white ash, white oak, tulip poplar, hybrid poplar, thornless

Table 1. Hardwood species resistant or sensitive to 25 pphm O<sub>3</sub> for 8 hr.

Susceptible Species	Resistant Species
Ash, European mountain ( <u>Sorbus aucuparia</u> L.)	Birch, European white ( <u>Betula pendula</u> Roth.)
Ash, green ( <u>Fraxinus pennsylvanica</u> March.)	Dogwood, gray ( <u>Cornus racemosa</u> Lam.)
Ash, white ( <u>Fraxinus americana</u> L.)	Dogwood, white ( <u>Cornus florida</u> L.)
Gum, sweet ( <u>Liquidambar styraciflua</u> L.)	Linden, little-leaf ( <u>Tilia cordata</u> Mill.)
Locust, honey (thornless) ( <u>Gleditsia triacanthos inermis</u> L. zabel)	Maple, Norway ( <u>Acer platanoides</u> L.)
Oak, pin ( <u>Quercus palustris</u> Muenchh.)	Maple, sugar ( <u>Acer saccharum</u> Marsh.)
Oak, scarlet ( <u>Quercus coccinea</u> Muenchh.)	Oak, English ( <u>Quercus robur</u> L.)
Oak, white ( <u>Quercus alba</u> L.)	Oak, northern red ( <u>Quercus rubra</u> L.)
Poplar, Hybrid - mixed ( <u>Populus maximowiczii</u> x <u>trichocarpa</u> Clone #388) ( <u>Populus maximowiczii</u> x cv. <u>berolinensis</u> Clone #48)	Oak, shingle ( <u>Quercus imbricaria</u> Michx.)
Poplar, tulip ( <u>Liriodendron tulipifera</u> L.)	
Redbud, eastern ( <u>Cercis canadensis</u> L.)	
Sycamore, American ( <u>Platanus occidentalis</u> L.)	

honeylocust, European mountain ash and American sycamore were sensitive. White ash, thornless honeylocust, hybrid poplar and tulip poplar were sensitive to 10 pphm  $O_3$  for 2, 4, 6 and 8 hr. American sycamore was not exposed to 10 pphm  $O_3$  for 2, 4, and 6 hr. Nine of the 21 species exposed to 25 pphm  $O_3$  for 8 hr were resistant (Table 1).

The frequency of plants sensitive to 25 pphm  $O_3$  for 8 hr within the seedling populations is shown in Table 2. Incidence varied from 19% to 100%. The incidence of sensitive individuals was lowest in pin oak, eastern redbud, and European mountain ash and was highest in thornless honeylocust, American sycamore and white ash. Symptom sever-

Table 2. Incidence of  $O_3$  sensitive plants among seedling populations exposed to 25 pphm  $O_3$  for 8 hr.

Species	Plants exposed	Plants sensitive
	number	percent
Ash, European mountain	50	46
Ash, green	48	81
Ash, white	208	92
Gum, sweet	25	50
Locust, thornless honey	34	100
Oak, pin	37	19
Oak, scarlet	40	75
Oak, white	40	73
Poplar, hybrid	40	80
Poplar, tulip	76	62
Redbud, eastern	39	41
Sycamore, American	40	98

ity varied among the sensitive individuals within a given species population. Consequently, severely affected individuals were observed within the seedling populations of each of the sensitive species. However, a higher percentage of severely affected individuals occurred in those populations in which a high percentage of individuals were sensitive.

Susceptible species were ranked in order of decreasing sensitivity (Table 3). The susceptibility value used as a basis for ranking

Table 3. Relative sensitivity of 12 hardwood species to  $O_3$ .

Species	Sensitivity value
Locust, thornless honey	300 <sup>a</sup>
Sycamore, American	294
Ash, white	276
Poplar, hybrid	240
Poplar, tulip	186
Ash, green	162
Oak, white	146
Ash, European mountain	92
Oak, scarlet	75
Gum, sweet	50
Redbud, eastern	41
Oak, pin	19

Based on (percent population susceptible) x (severity factor).

Severity factor of 1 for 25 pphm  $O_3$  for 8 hr; factor of 2 for 25 pphm  $O_3$  for 4 hr; factor of 3 for 10 pphm  $O_3$  for 8 hr.

the species was obtained by multiplying the incidence of sensitive members in each of the species populations by a severity factor. A severity factor of "1" indicated that the species was injured only by a dosage of 25 ppm for 8 hr, a factor of "2" indicated injury at 25 ppm for 4 hr and a factor of "3" indicated injury after an exposure to 10 ppm for 8 hr. With this procedure, the dose at which injury occurred and the incidence of susceptible members in the species population were expressed in one value and even though the value is non-

Table 4. Distribution of various symptoms types among sensitive hardwood species.

Species	Chlorosis	Stipple	Necrotic areas	Tissue collapse
Ash, European mountain		++	+	
Ash, green		++	+	+
Ash, white	+	++	+	+
Gum, sweet		++		
Locust, thornless honey	+	++	+	
Oak, pin	+	+	++	
Oak, scarlet	+	++	+	
Oak, white		++	+	+
Poplar, hybrid		+	++	
Poplar, tulip	+	++	+	
Rudbud, eastern	+	++		
Sycamore, American	+	++	+	

+ symptom observed

++ symptom common

linear, it does reflect the relative sensitivity of the species populations. Thornless honeylocust, American sycamore, white ash and hybrid poplar were among the most sensitive species and pin oak, eastern redbud, sweet gum and scarlet oak were among the most resistant species.

Relation of age to sensitivity.--In order to determine the relationship between phenological condition and sensitivity, plants of each species were fumigated at approximately two week intervals following bud break in the spring. The exposures were continued through the growing season and the data are summarized in Table 5. Species were sensitive for periods varying from four to 14 weeks with most species sensitive from the fourth through the twelfth week after bud break. Due to the unavailability of acceptable plants, sweet gum, honeylocust and American sycamore were not exposed beyond the twelfth week and European mountain ash, white oak and hybrid poplar were not exposed beyond the eighteenth week. Symptom severity was estimated following each exposure and symptoms were classified as light, moderate or severe. On this basis, the most severe symptoms usually developed between the fourth and twelfth week after bud break. However, this was not always the case and in some instances severe symptoms developed on plants fumigated at 18 and 20 weeks after bud break.

Description of symptoms.--Interveinal stipples, interveinal necrotic areas, overall tissue collapse and premature defoliation were the symptoms most commonly encountered on hardwoods exposed to  $O_3$ . Stipples were small pigmented areas (1 mm or less in diameter) scattered across the leaf surface; this symptom was similar to stipple of grape which is caused by  $O_3$  (Richards et al. 1958). Chlorosis was an overall yellowing of a portion or all of a given leaf. Necrotic areas

Table 5. Relationship between age of current foliage and the occurrence of symptoms on hardwoods sensitive to 0<sub>3</sub>.

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Ash, European mountain <sup>1</sup>																					
Ash, green																					
Ash, white																					
Gum, sweet <sup>2</sup>																					
Locust, thornless honey <sup>2</sup>																					
Oak, pin																					
Oak, scarlet																					
Oak, white <sup>1</sup>																					
Poplar, hybrid <sup>1</sup>																					
Poplar, tulip																					
Redbud, eastern																					
Sycamore, American <sup>2</sup>																					

<sup>1</sup>Plants were not exposed beyond 18 weeks after bud break.

<sup>2</sup>Plants were not exposed beyond 12 weeks after bud break.

and flecks were larger, somewhat irregular bifacial areas of dead tissue. Tissue collapse involved the interveinal areas and resulted in an accentuation of the veinal network as viewed from the upper leaf surface. Distribution of the various symptom types by species is presented in Table 4. Symptoms observed on the various species are described below:

European mountain ash.--Light to dark brown stippling was the most common symptom observed and moderate to severely affected leaflets often developed an overall chlorosis followed by premature defoliation. Stippling was confined to the upper leaflet surface and stipples were uniformly distributed in the interveinal areas. In some instances the stippling was followed by an overall brown necrosis and premature defoliation.

Green ash.--The most common symptom of this species was a dark brown, interveinal stipple of the upper leaflet surface. At four weeks following bud break, stippling was most severe on the terminal leaflets; from the sixth through the fourteenth week following bud break, this symptom was not confined to any particular leaf size or position. The stippling was usually apparent within 24 hr after removal from the exposure chamber and in some instances, the stipples coalesced and resulted in a smoke-colored appearance of the leaflets. In other instances, necrotic spots were associated with stipples and on some of the plants there was tissue collapse, probably of the palisade layer; the latter was associated with severe stippling.

White ash.--Stippling of the upper leaflet surface was the most common symptom observed. Initially, the stipples were dark and water-soaked in appearance; later they turned white or light brown. In some instances, stipples remained dark and eventually turned purple or dark

brown in color. The size of the stipples varied from plant to plant, from leaflet to leaflet on a given leaf and from leaf to leaf on a given plant. Stipples were either distributed uniformly across the leaf surface, or concentrated near the leaflet margin, or near the veins, or in the interveinal areas in the upper or lower half of the leaf. In addition to the stipples, interveinal necrotic spots were also observed. These spots were initially evident on the upper leaflet surface, but within one to two days following exposure, they extended through the lower leaflet surface. These spots were initially bleached water-soaked areas which eventually turned light brown and became almost transparent. In some instances a purple halo surrounded the spots. Tissue collapse was observed on very sensitive plants or on plants that had been exposed to relatively high concentrations. The collapse was usually confined to the margin and tip areas of the leaflets and collapsed areas retained a dark, water-soaked appearance for about one day following exposure. Affected areas eventually turned light brown and became translucent.

Sweet gum.--The most common symptom was a purple or brown stippling of the upper leaf surface. The stipples were larger than those of white ash and green ash and there were fewer per unit area of leaf. Leaves of all sizes and at all positions on the tree were similarly affected. Severe interveinal tan to brown necrotic flecks and larger areas were also observed. These symptoms were apparent within 48 hr after exposure and were bifacial. A diffuse purple discoloration of the entire upper leaf surface was observed on plants exposed at different times during the growing season. These symptoms were similar to normal autumnal coloration in this species.

Thornless honeylocust.--Light to dark brown stippling of the upper leaflet surface and overall chlorosis and brown necrosis followed by defoliation was the most common symptom sequence in thornless honeylocust. Defoliation often occurred prior to overall chlorosis and individual leaflets usually dropped before the rachis. Symptom development was similar throughout the growing season.

Pin oak.--Dark brown stipples of the upper leaf surface or light to dark brown bifacial necrotic spots were the initial symptoms. In some instances, stipples subsequently coalesced to form necrotic spots. The stippling was evident within a few hours after the plants had been removed from the exposure chamber and the brown necrotic spots were evident within 20 hr after removal from the chamber.

Scarlet oak.--The exposure of plants four weeks following bud break resulted in the development of a light, chlorotic interveinal stippling of the upper leaf surface. In some instances, the chlorotic stippling developed into a uniform overall chlorosis of the leaf. At six and nine weeks following bud break, the most common symptom was a light brown stipple over the upper leaf surface. Eleven weeks following bud break, brown to dark brown interveinal stippling was the most common symptom and at 14 weeks following bud break, dark brown to black stipples were most common. There was also a higher density of stipples per unit area of leaf surface than during the earlier exposures. As time after bud break increased, the intensity of stippling increased which suggested an increase in sensitivity with age. Scarlet oak was one of the few species that showed a distinct increase in sensitivity with an increase in age of current foliage.

White oak.--The most common symptom observed was a dark brown to black interveinal stipple of the upper leaf surface. Tissue collapse

also occurred and it usually developed within 36 hr after exposure. This symptom sequence occurred following exposures four through 14 weeks after bud break. At the 4, 6 and 8 week periods, symptoms were not confined to any particular part of the plant. Following exposures at 11, 12 and 14 weeks, symptoms were most severe on the basal leaves. Stipples were also visible on the lower leaf surface at the 14 week exposure period. In many instances, within 14 days after fumigation, heavily stippled areas developed into large necrotic spots.

Hybrid poplar.--Interveinal dark brown to black stipples and bifacial necrotic flecks and lesions were the most common symptoms observed. Of these, dark brown to black bifacial necrosis was the most common. Middle- to older-aged leaves appeared to be most sensitive and in many instances all leaf tissues except the veins showed symptoms within 24 hr after exposure. The initial symptom was an interveinal water-soaked area which was usually visible immediately after exposure. Affected leaves usually dropped within two to five days after exposure. The symptoms on hybrid poplar were dramatically different from those on all other species.

Tulip poplar.--Dark brown to black stippling of the upper leaf surface was the most common symptom observed. Unlike the other hardwood species, symptoms developed on the lower leaf surface in approximately 50% of the plants. In most instances, the symptoms were initially evident on the upper leaf surface and as symptom development progressed they became evident on the lower leaf surface. Injury following exposures at seven weeks after bud break consisted of water-soaked areas near the apex of terminal leaves. These water-soaked areas were apparent within 18 hr after exposure and developed into chlorotic areas within 40 hr. The chlorotic areas subsequently de-

veloped into necrotic areas within 65 hr. A dark interveinal stipple of the upper leaf surface was the symptom most commonly observed following exposures from eight to 15 weeks after bud break. From 14 through 19 weeks following bud break, stippling was most severe on leaves on the basal one-half to one-third of individual plants. Within the basal portion of the plant, both large and small leaves were similarly affected. Within seven to 10 days following the various exposures, leaves that possessed the most severe symptoms developed an overall chlorosis followed by necrosis, and subsequently fell. This symptom sequence developed more rapidly in plants that were placed out-of-doors following exposure. Tulip poplar produces prominent stipules at the base of the leaf petiole and in most instances when a given leaf was affected, the stipules at the base of the leaf were similarly affected. This was especially true following exposures at 14 through 19 weeks after bud break.

Redbud.--This was one of the least sensitive of the sensitive species and relatively few plants developed symptoms. Dark brown interveinal stippling was the most frequent symptom type and the stipples usually occurred adjacent to the veins. Affected leaves often developed an overall chlorosis within three to five days after exposure.

American sycamore.--Frequently occurring symptoms included dark brown stippling, overall chlorosis, overall necrosis, premature defoliation, marginal chlorosis and marginal necrosis. Stippling was the initial and most common symptom type; chlorosis, necrosis and defoliation were usually preceded by some degree of stippling. Stipples were apparent within 24 hr after exposure whereas chlorosis and necrosis usually developed within one to two weeks after exposure. The

marginal necrosis symptom was similar to that induced by halogens such as fluoride.

DISCUSSION.--Thornless honeylocust, American sycamore, white ash, hybrid poplar and tulip poplar, the five most sensitive species of the 21 hardwood species examined were sensitive to an exposure of 10 ppm  $O_3$  for 8 hr. In addition, green ash, white oak and European mountain ash were sensitive to 25 ppm for 4 hr. These results generally agree with those of Treshow (1970, 1971). He reported that woody species such as snowberry, sumac, trembling aspen and bridal wreath were sensitive to 25 ppm  $O_3$  for 4 hr. At higher dosages such as 25 ppm for 4 hr per day, for one to two weeks, species such as grape, cherry, privet, green ash, honeylocust and English walnut showed symptoms. In the same studies, 40 ppm for 4 hr per day for several days was required to injure arborvitae, blue spruce, Japanese boxwood, red oak, Japanese pagoda tree and pinyon pine.

Hill et al. (1961) studied the response of 34 species of plants to  $O_3$ . Two woody species, peach (Prunus persica L.) and grape (Vitis vinifera L.) were included in the studies. Peach was sensitive to a dosage of 28 ppm for 2 hr and grape to 34 ppm for 2 hr. Hibben (1969) reported injury to sugar maple following an exposure to 30 ppm  $O_3$  for less than 3 hr. The above data suggest that many deciduous woody plant species are sensitive to a dosage of  $O_3$  in the order of 20-30 ppm for exposure periods of 2 to 4 hr.

Results obtained during our studies showed that a number of species were sensitive to 10 ppm for exposure periods of 2, 4, 6 or 8 hr. Wilhour (1970) observed symptoms on white ash following an exposure to 10 ppm  $O_3$  for 30 minutes. Ozone concentrations in the

order of 10 ppm for periods of 8 hr commonly occur in urban areas and have been reported in rural areas. The above data indicate that woody plant species such as white ash, thornless honeylocust, hybrid poplar, tulip poplar and American sycamore would be injured by ambient  $O_3$  concentrations in both urban and rural areas.

Pigmented stippling of the upper leaf surface was the most common symptom observed on the 12 sensitive species. Stippling of the upper leaf surface of the leaves of grape was reported by Richards et al. (1958) in the original paper demonstrating the phytotoxicity of  $O_3$ . Stippling of the upper leaf surface was also the most common symptom reported by Treshow (1970, 1971). In an examination of the relative sensitivity of 23 woody ornamental species to  $O_3$ , Wood and Coppolino (1971) reported stippling of the upper leaf surface to be the most common symptom observed. These data indicate that pigmented stippling of the upper leaf surface of  $O_3$  sensitive broadleaved woody plants is a common symptom of  $O_3$  injury. Upper leaf surface stippling has not been associated with the response of plants to other pollutants and it may be specific for  $O_3$ . There are few other pathogens, either biotic or abiotic, that induce such symptoms. Consequently, this symptom type can be used as a basis for diagnosing  $O_3$ -type injury in the field.

Other symptoms less commonly associated with  $O_3$  injury in the studies reported herein, included an interveinal necrosis which was confined to rather small areas in some species and rather extensive areas in other species. An overall leaf chlorosis, necrosis and premature defoliation were also observed frequently. A marginal necrosis similar to that induced by fluorides was observed following the exposure of species such as American sycamore. Treshow (1970) reported a similar response in Chinese lilac, pear, peach and apricot. The

symptoms Treshow observed developed following exposures to concentrations ranging from 10 to 80 pphm for 4 to 6 hr.

The period of time that deciduous woody plants are susceptible to  $O_3$  varies from a few weeks to several months. Species such as white ash, scarlet oak and hybrid poplar were sensitive throughout the growing season. These results are similar to those reported by Davis and Wood (1972) for a series of conifers that were sensitive to  $O_3$ . In general, woody plants are sensitive for a longer period during the growing season than are most herbaceous plants. This is principally a result of the growth habit of woody plants. The period of maximum sensitivity for a number of species occurred during mid-summer. Since all plants were handled uniformly throughout the growing season, the period of peak sensitivity is possibly a function of phenological condition (age) or photoperiod.

#### Literature Cited

1. BERRY, C. R., & L. A. RIPPERTON. 1963. Ozone, a possible cause of white pine emergence tipburn. *Phytopathology* 53:552-557.
2. DAINES, R. H., E. BRENNAN, & I. LEONE. 1963. Ozone injury to vegetation in the northeastern U. S. *Phytopathology* 53:348.
3. DAVIS, D. D., & F. A. WOOD. 1972. The relative susceptibility of eighteen coniferous species to ozone. *Phytopathology* 62:14-19.
4. DAVIS, D. D., & F. A. WOOD. 1968. Relative sensitivity of twenty-two tree species to ozone. *Phytopathology* 58:399.
5. HAAGEN-SMIT, A. J., E. F. DARLEY, M. ZAITLIN, H. HULL, & W. M. NOBLE. 1952. Investigations on injury to plants from air pollution in the Los Angeles area. *Plant Physiol.* 27:18-24.

6. HEGGESTAD, H. E., F. R. BURLESON, J. T. MIDDLETON, & E. F. DARLEY. 1964. Leaf injury on tobacco varieties resulting from ozone, ozonated hexene - 1 and ambient air of metropolitan areas. *Int. J. Air Poll.* 8:1-10.
7. HEGGESTAD, H. E., & J. T. MIDDLETON. 1959. Ozone in high concentrations as a cause of tobacco weather fleck. *Science* 129:208-210.
8. HIBBEN, C. R. 1969. Ozone toxicity to sugar maple. *Phytopathology* 59:399.
9. HILL, A. C., M. R. PACK, M. TRESHOW, R. J. DOWNS, & L. G. TRANSTRUM. 1961. Plant injury induced by ozone. *Phytopathology* 51:356-363.
10. MILLER, P. R., J. R. PARMETER, JR., O. C. TAYLOR, & E. A. CARDIFF. 1963. Ozone injury to the foliage of *Pinus ponderosa*. *Phytopathology* 53:1072-1076.
11. PARMETER, J. R., & P. R. MILLER. 1968. Studies relating to the course of decline and death of ponderosa pine in southern California. *Pl. Dis. Repr.* 52:707-711.
12. RICH, S. 1964. Ozone damage to plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2:253-261.
13. RICHARDS, B. L., D. C. TAYLOR, & G. F. EDMUNDS, JR. 1968. Ozone needle mottle of pine in southern California. *J. Air Poll. Control Assoc.* 18:73-77.
14. RICHARDS, B. L., J. T. MIDDLETON, & W. B. HEWITT. 1958. Air pollution with relation to agronomic crops: V. Oxidant stipple of grapes. *Agron. J.* 50:559-561.
15. TRESHOW, M. 1970. Ozone damage to plants. *Environmental Pollution* 1:155-162.

16. TRESHOW, M. 1971. Influence of ozone on woody plants. (Personal Communication).
17. WILHOUR, R. G. 1970. The influence of ozone on white ash (Fraxinus americana L.). Ph. D. Thesis. The Pennsylvania State University, University Park, Pa. 98 p.
18. WOOD, F. A., D. B. DRUMMOND, R. G. WILHOUR, & D. D. DAVIS. 1968. An exposure chamber for studying the effects of air pollution on plants. *Phytopathology* 58:504.
19. WOOD, F. A., & J. B. COPPOLINO. 1971. The influence of ozone on selected woody ornamentals. *Phytopathology* 61:133.
20. WOOD, F. A. 1970. The relative sensitivity of sixteen deciduous tree species to ozone. *Phytopathology* 60:579.
21. WOOD, F. A. 1968. Sources of plant pathogenic air pollutants. *Phytopathology* 58:22-31.



# EIN BIOLOGISCHES VERFAHREN ZUM NACHWEIS VON FLUORVERBINDUNGEN IN IMMISSIONEN

von

Gerhard SCHOLL

Landesanstalt für Immissions - und Bodennutzungsschutz des  
Landes Nordrhein - Westfalen

## EINLEITUNG

Der Nachweis einzelner Stoffe bzw. Stoffgruppen in den Immissionen, ist eine der wichtigsten Aufgaben auf dem Gebiet der Luftreinhaltung. Für die Lösung dieses Problemes sind chemisch physikalische Verfahren entwickelt worden, die außer der rein qualitativen Bestimmung der jeweiligen Immissionskomponenten auch eine exakte Konzentrationsmessung in der Luft ermöglichen. Mit Hilfe der gewissermaßen klassischen Luftanalyse gelingt es nicht nur, die Höhe des Immissionsangebotes in einem Gebiet zu ermitteln, sondern auch die Herkunft und Ausbreitung der Immissionen nachzuweisen. Daneben aber stehen zahlreiche Versuche, auch Pflanzen oder sonstige biologische Objekte für den Nachweis von Immissionen heranzuziehen. Anlaß dafür waren von jeher die empfindlichen und teilweise sogar ganz spezifischen Reaktionen auf Schadstoffeinwirkungen sowie die Standortsgebundenheit der Pflanzen.

Insbesondere ist bei der Untersuchung und Begutachtung von Schadensfällen versucht worden, aus dem Schadstoffgehalt der Blätter und anderer Pflanzenteile. Rückschlüsse auf die Art des Schadstoffes und seine Herkunft zu ziehen. Die dabei gewonnenen Ergebnisse haben jedoch immer nur relativ grobe Aussagen ermöglicht, weil die Aufnahme einer Immissionskomponente von vielen Faktoren beeinflußt wird. Entscheidend für die Anreicherung ist

zweifelloos das Immissionsangebot in der Luft, das nicht nur in der stofflichen Zusammensetzung, sondern auch in der zeitliche Verteilung beträchtlich variieren kann. Die Anreicherung hängt weiterhin ab von der Pflanzenart und -sorte, dem Resistenzverhalten, dem jeweiligen Entwicklungsstadium, der Bodenart, der Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen, den meteorologischen Faktoren und anderen, sowohl auf die Pflanzen als auch auf das Immissionsangebot einwirkenden Umweltfaktoren.

Aus zahlreichen Blattanalysen von wildwachsenden Pflanzen und von Kulturpflanzen geht zudem hervor, daß bestimmte Immissionskomponenten scheinbar ohne eine Beziehung, andere hingegen in einer bestimmten, wenn auch quantitative nicht definierten Beziehung zum Immissionsangebot angereichert werden. Letzteres trifft u.a. für die Gruppe der Fluor-Verbindungen in den Immissionen zu. Das geht aus den Ergebnissen vieler Untersuchungen an verschiedenen Pflanzen im Einflußbereich von Fluor emittierenden Quellen hervor (1,2,3,4,5). Interessant ist, daß auch bei Baumrinden, die von LAMPADIUS (6) in der Umgebung eines chemischen Betriebes zur Herstellung von Flußsäure untersucht worden sind, eine Beziehung zwischen der Fluoranreicherung in den Rindenproben und der Entfernung der Entnahmestelle vom Emittenten festgestellt werden kann.

Die Fluoranreicherung in Futterpflanzen spielt eine besondere Rolle hinsichtlich der Fluoroseerkrankungen bei Rindern. Der Mechanismus der Fluor-Intoxikation der Tiere ist in den USA Gegenstand intensiver Forschungen gewesen, deren Ergebnis zu einer Festlegung von Grenzwerten für die Fluoraufnahme geführt hat (7,8,9,10). Zu dem Problem der Fluorose sei hier nur soviel gesagt, daß vor allem Rinder und Schafe davon betroffen werden, wobei eine Erkrankung wesentlich von der Höhe der Fluoraufnahme in ihrer Dauer sowie vom Alter der Tiere, von Haltungs- und Ernährungseinflüssen, der individuellen biologischen Reaktion und anderen Faktoren abhängt.

## METHODE

auf der Grundlage dieser Erkenntnisse haben wir in den letzten 4 Jahren das Verfahren der standardisierten Graskultur zum Nachweis über das Auftreten, die Herkunft und Verbreitung von Fluorverbindungen in Immissionen entwickelt und in der Praxis erprobt. Aus Untersuchungen im Freiland war uns bekannt, daß gewisse *Lolium*-Gräser Fluor in größeren Mengen anreichern, ohne äußerlich sichtbare Symptome einer Schädigung oder Wachstumsdepression zu zeigen. Die relativ hohe Unempfindlichkeit von *Lolium multiflorum* und *Lolium perenne* gegenüber Fluor-Wasserstoff und ihr gutes Anreicherungsvermögen konnten auch in Begasungstests nachgewiesen werden. Dieses Verhalten kam unseren Vorstellungen entgegen, danach wir die Pflanzen gewissermaßen als Sorptionssystem für die Immissionskomponente Fluor betrachten, das als Probenahmeeinrichtung für diesen Schadstoff geeignet ist. Daneben mußten die für die Indikation in Frage kommenden Gräser auch von ihrem Wachstumsverhalten her bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Dazu gehörten in erster Linie ein früher Vegetationsbeginn, eine kurze Entwicklungszeit von der Keimung bis zum ersten Schnitt, eine hohe Regenerationsfähigkeit nach jedem Schnitt sowie eine große Schnitthäufigkeit bei möglichst weit in den Herbst reichender Vegetationszeit. Zur Verwendung kam daher ein Gemisch aus *Lolium multiflorum* Lam.ssp. *gaudini* (1-jähriges Weidelgras), *Lolium multiflorum* Lam. ssp. *italicum* (Welsches Weidelgras) und *Lolium perenne* L. (Deutsches Weidelgras).\*) Die Methodik der Anzucht und Exposition der Graskulturen und der Probenahme wird an anderer Stelle ausführlich beschrieben (11).

Entscheidende Voraussetzung für das Graskulturverfahren ist, daß möglichst viele der Faktoren, die einen Einfluß auf die

\*) Vom Jahr 1971 an wurde das Verfahren auf eine Monokultur mit *Lolium multiflorum* Lam.ssp. *italicum* umgestellt, da Versuche mit den drei Subspezies in Einzelkultur ergeben hatten, daß Welsches Weidelgras im Vergleich zur Mischkultur die gleiche Anreicherungsquote erreichte.

Aufnahme von Fluorverbindungen durch die Pflanzen ausüben, und Kontrolle gehalten werden. Angefangen bei der Auswahl eines garantiert einwandfreien Saatgutes spezieller Zuchtsorten wurden auch das Wachstumssubstrat, die Nährstoff- und Wasserversorgung standardisiert. Von wesentlicher Bedeutung sind schließlich auch die meteorologischen Faktoren, sofern sie an den Expositionsorten im Freiland voneinander abweichen, Die Entwicklung der Gräser hängt infolge ihrer hohen Ansprüche an eine ausreichende Wasserversorgung vor allem von den Faktoren Niederschlag und Luftfeuchte ab. Auf ein optimales Wasserdargebot wurde deshalb besonderer Wert gelegt. Das Problem konnten wir durch eine Einrichtung lösen, die eine automatische Wasserzufuhr zum Wachstumssubstrat ermöglicht (12). Der dazu benötigte keramische Zylinder wird in das Wachstumssubstrat, das sich in der oberen Kammer des Pflanzenkulturgefäßes (= innerer Gefäßteil) befindet eingebettet (Abb. 1) und durch einen Schlauch mit dem Wasservorrat in der unteren Kammer verbunden. Sobald der Boden es handelt sich um eine handelsübliche Einheitserde- infolge der Evapotranspiration Wasser abgibt und dadurch eine höhere Saugspannung erlangt als der keramische Zylinder, erfolgt eine Wasserbewegung von der Keramik in das Substrat hinein. Gleichzeitig wird aus dem Vorratsraum eine äquivalente Menge Wasser nachgeliefert. Bei dieser ständig gleichbleibenden optimalen Wassernachlieferung müssen Niederschlag und Luftfeuchte an den Expositionsorten schon sehr divergieren, um Abweichungen in der Entwicklung der Kulturen zu verursachen. In kleineren Gebieten dürfte das wohl kaum der Fall sein.

Der Zeitraum, für den die Kulturen im Untersuchungsgebiet exponiert werden, beträgt 14 Tage. In dieser Zeit wird ein Aufwuchs erzielt, der je nach Witterungsbedingungen eine Höhe bis zu 25 cm erreicht. Die Exposition der Gräser erfolgt

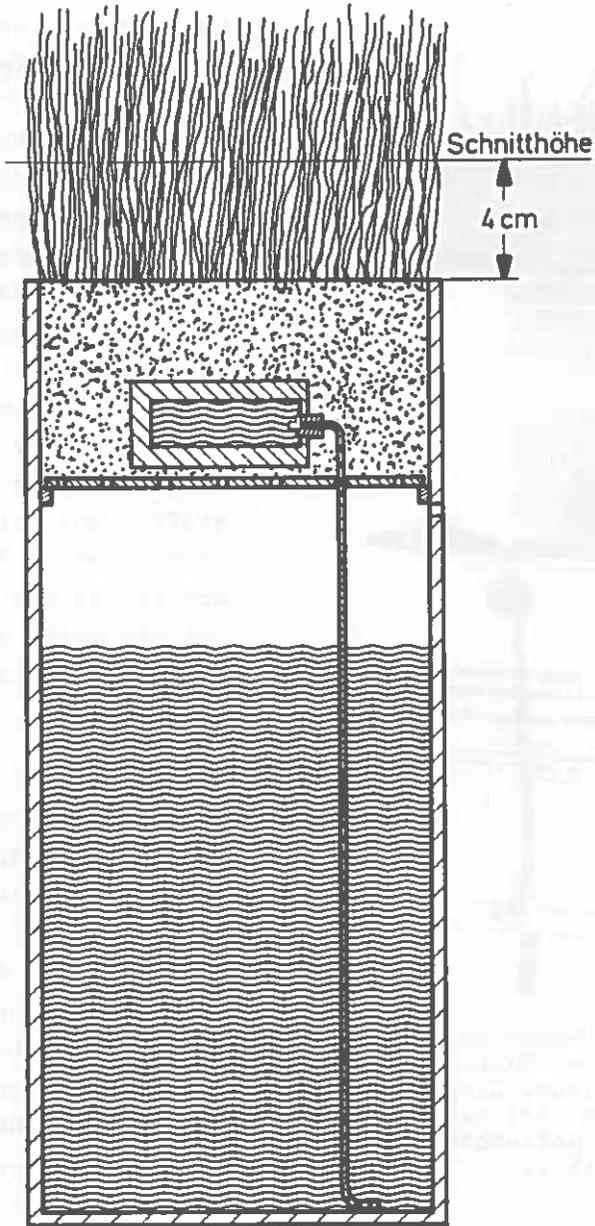


Abb. 1: Pflanzenkulturgefäß (= Innerer Gefäßteil) mit einem keramischen Zylinder zur selbst-tätigen Wasserversorgung der Pflanzen

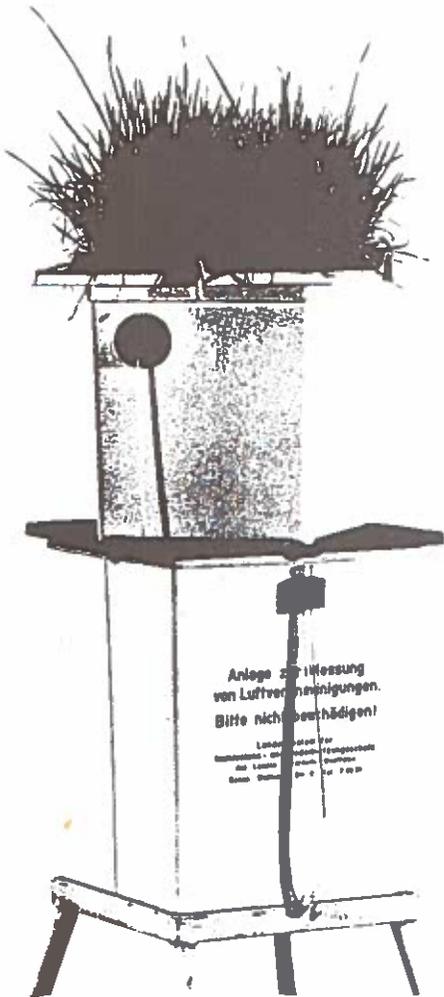


Abb. 2: Expositionsgefäß, System von HAUT-SCHOLL, für eine Dauerkultur. Diese Neuentwicklung (13) wird z.Zt. für die Serienproduktion vorbereitet.

entweder als Dauerkultur oder als Wechselkultur. Kennzeichnend für die Dauerkultur ist, daß die im Frühjahr angezogenen Pflanzen während des gesamten Meßzeitraumes exponiert werden. Dieses Verfahren liefert bei einem 14-tägigen Expositionsintervall und entsprechender Nachdüngung - insbesondere mit Stickstoff - von Mai bis Oktober etwa 13 Proben je Meßort. In der Abb. 2 ist ein Gefäß für die Exposition der Dauerkultur dargestellt.

Die Exposition der Wechselkultur hat ihre Parallele in der Staub-Meßtechnik nach dem Bergerhoff-Verfahren (14). Zu jedem Meßzeitintervall werden neue Grasanzuchten ausgebracht

und die einmal benutzten Kulturen nach der Probenahme verworfen. Die Handhabung dieser Technik ist ebenso einfach wie die der Dauerkultur.

Ihr besonderer Vorteil besteht jedoch darin, daß sie voneinander unabhängige Stichproben liefert. Für die Wechselkultur wird eine spezielle Expositionseinrichtung eingesetzt, die in Abb. 3 im Ausschnitt dargestellt ist.



Abb. 3: Expositionsgefäß, System SCHOLL-RUDOLPH, für eine Wechselkultur. Dieses speziell für die Exposition von höheren Pflanzen entwickelte Gefäß ist als Serienprodukt auf dem Markt erhältlich.

Zur Einhaltung gleicher Ausgangsbedingungen wird das Gras vor der Exposition zurückgeschnitten. Bei der Probenahme wird der Aufwuchs jeweils etwa 4 cm über dem Boden abgeschnitten, die frische Pflanzensubstanz getrocknet, gemahlen und der Fluorgehalt nach REUSMANN und WESTPHALEN(9) vollautomatisch unter Verwendung der fluoridspezifischen Elektrode bestimmt. Durch Aufteilung der frischen Pflanzensubstanz in eine ungewaschene und in eine gewaschene Probe läßt sich durch Differenzbildung zwischen dem Gesamtfluor und dem abwaschbaren Anteil das nicht inkorporierte Fluor d.h. das auf den Blattoberflächen aufliegende Fluor, ermitteln.

Von dem biologischen Verfahren ist ebenso wie von den chemisch-physikalischen Meßverfahren eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Meßwerte zu fordern. Das bedeutet, daß die Streubreite zwischen den Fluorgehalten

von Grasproben aus verschiedenen Expositionsgefäßen am gleichen Standort (= Meßort) bekannt sein muß. Zur Prüfung dieser Frage wurde die Standardabweichung mehrerer Versuchsserien berechnet. Für die Mittelwerte aus unterschiedlichen Konzentrationsbereichen schwankt die Standardabweichung zwischen 3,5 und 15 %. Das Mittel sämtlicher Standardabweichungen liegt bei rd. 10 %. Im Vergleich zu der Streuung von chemisch-physikalischen Meßverfahren ist die Reproduzierbarkeit des Sorption systems Pflanze unerwartet gut.

### ERGEBNISSE

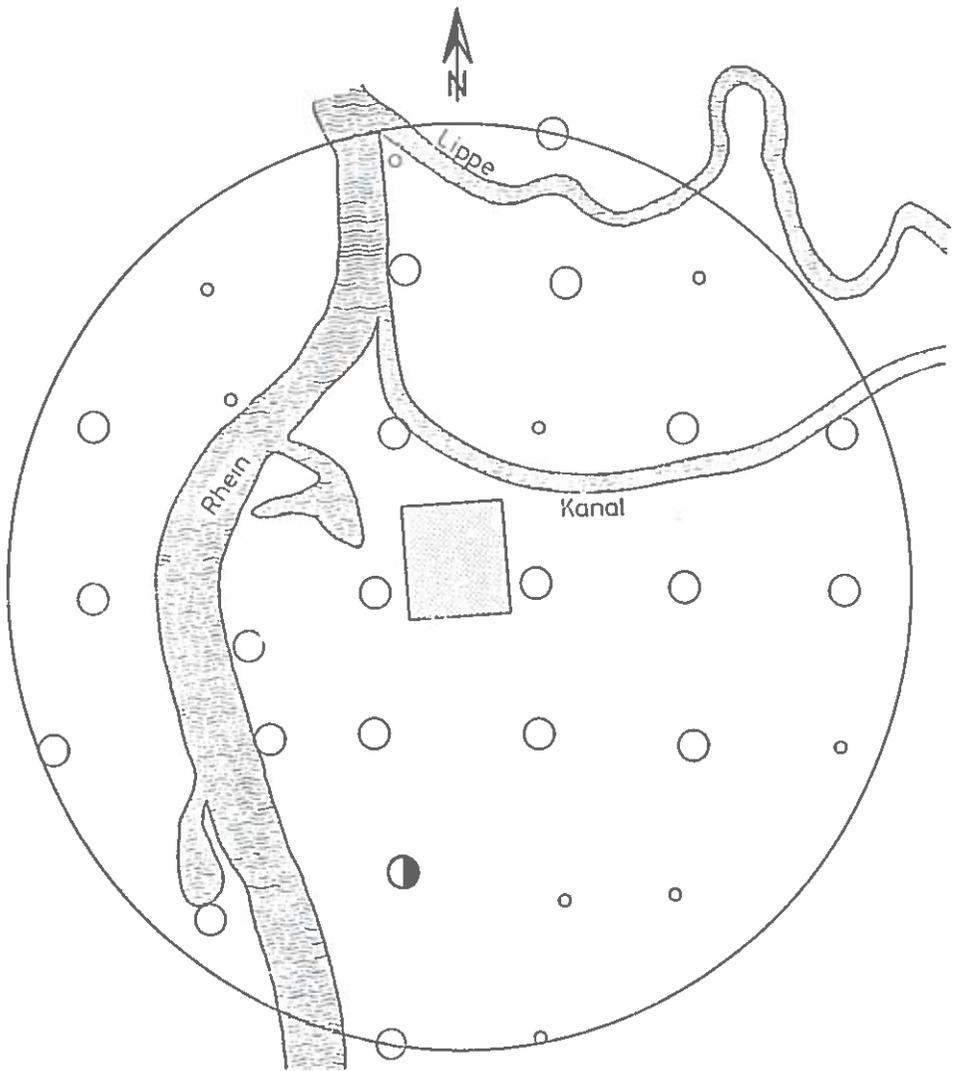
Mit der Graskultur wurden bisher großräumig im Ruhrgebiet sowie entlang der Rheinschiene und im Bereich einzelner Emittenten Messungen durchgeführt. Aufgabe dieser Untersuchungen war sowohl die Feststellung der Situation vor Errichtung neuer Betriebsanlagen als auch die Ermittlung der immissionsbedingten Fluoranreicherung (= Immissionsrate) im Einflußbereich bekannter Fluoremittenten.

In der Abb. 4 ist das Ergebnis der Messung im Bereich eines im Bau befindlichen Aluminiumwerkes dargestellt. Von insgesamt 13 Meßzeitintervallen wurde für jeden Meßort das Mittel gebildet und die errechneten Fluorwerte in 5 Klassen von  $\leq 8$  ppm, 8,1 bis 29,9 ppm, 30,0 bis 49,9 ppm, 50,0 bis 99,9 ppm und  $\geq 100$  ppm Fluor in der Trockensubstanz eingeteilt. In der untersten Klasse  $\leq 8$  ppm Fluor in der Trockensubstanz stehen die Werte, die den sog. bodenbürtigen Anteil darstellen. Damit ist das von den Pflanzenwurzeln aus dem Standardboden aufgenommene und in die oberirdischen Organe (= Blätter) transportierte Fluor gekennzeichnet. Die 2. Klasse mit Fluorgehalten zwischen 8,1 und 29,9 ppm in der Trockensubstanz stellt die erste Stufe einer Anreicherung von Fluor in den oberirdischen Pflanzenteilen dar, die auf eine gewisse Verunreinigung der bodennahen Luftschichten zurückzuführen ist. Die 3. Klasse umfaßt den Bereich zwischen 30,0 und 49,9 ppm Fluor in der Trockensubstanz und stellt eine Übergangsstufe dar. In bestimmten Fällen

weisen Fluorgehalte von dieser Größenordnung bereits auf eine nachweisbare Belastung der Luft durch Fluor-Immissionen hin. Bei der 4. und 5. Klasse mit Fluorwerten zwischen 50,0 und 99,9 ppm in der Trockensubstanz resp. 100 ppm wird die Stufe einer hohen bzw. höchsten Anreicherung erreicht, die vornehmlich in der näheren und nächsten Umgebung von Einzelemittenten für Fluor-Immissionen ermittelt werden kann. Wie aus der Darstellung in Abb. 4 hervorgeht, wurde im Bereich des 3 km umfassenden Radius um die zukünftigen Produktionsanlagen herum an 30 Meßorten keine Anreicherung im Fluorgehalt der Grasproben festgestellt, die ursächlich mit dem Auftreten von Fluor-Immissionen in Verbindung gebracht werden können. Lediglich an einem Punkt im südlichen Bereich des Meßgebietes ergab sich für den Meßzeitraum von Mai bis Oktober 1969 im Mittel eine überhöhte Fluoranreicherung. Sobald dieses Werk seine Produktion aufgenommen haben wird, werden die Untersuchungen fortgesetzt. Aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse vor und nach der Inbetriebnahme wird sich ergeben, ob die Anlage zu einer wesentlichen Luftverunreinigung durch Fluorverbindungen geführt hat.

In der Abb.5 ist das Resultat aus einer Erhebung um ein produzierendes Aluminiumwerk herum dargestellt. Bei gleicher Klasseneinteilung wird deutlich, daß gegenüber dem unbeeinflussten Gebiet in der Abb.4 beträchtliche Anreicherungen von Fluor vor allem in nördlicher, nordöstlicher und östlicher Richtung vom Werk sowie in dessen unmittelbarer Nähe gefunden werden. Die Fluorwerte liegen so hoch, daß daraus ein gewisses Risiko für die Weideviehhaltung abgeleitet werden kann. Die praktische Erfahrung bestätigt, daß in diesem Risikogebiet seit Jahren immer wieder Fluorose-Fälle auftreten und auch außergerichtlich entschädigt werden.

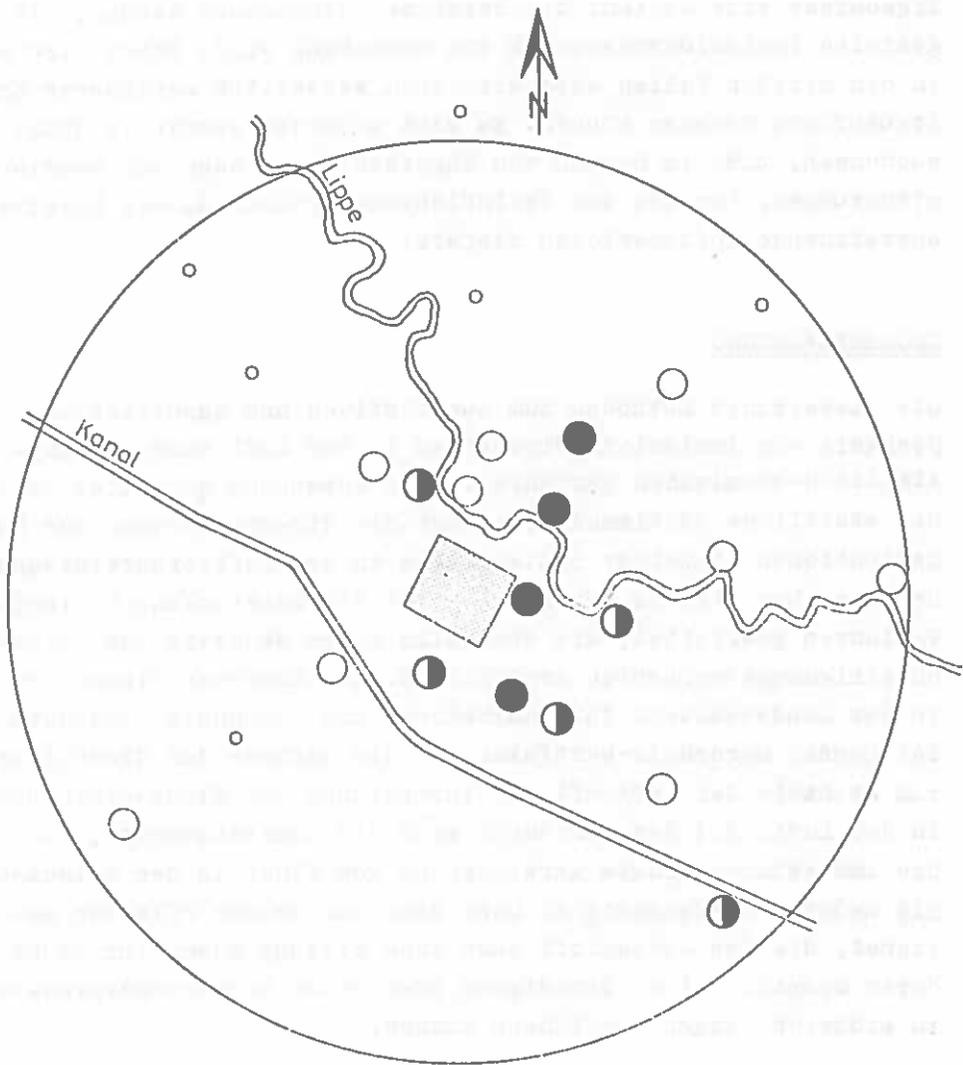
Der Nachweis von Immissionen mit Hilfe von Pflanzen stellt nach den bisherigen Erfahrungen eine wertvolle Ergänzung zu der physikalisch-chemischen Immissionsmessung dar. Mit Hilfe des Graskulturverfahrens kann ein größeres Gebiet mit unbekannter Immissionsbelastung vorab untersucht und anhand der gewonnenen



**Abbildung 4:**

Ergebnis der Untersuchung  
in der Umgebung einer im  
Bau befindlichen Aluminium-  
hütte

- ≤ - 8,0 ppm F<sup>-</sup> i.d. TS
- 8,1 - 299 ppm F<sup>-</sup> " TS
- 300 - 499 ppm F<sup>-</sup> " TS
- ◐ 500 - 999 ppm F<sup>-</sup> " TS
- ≥ - 1000 ppm F<sup>-</sup> " TS



**Abbildung 5:**

**Ergebnis der Untersuchung  
in der Umgebung einer im  
Betrieb befindlichen Aluminium-  
hütte.**

- $\leq$  - 80 ppm  $F^-$  i.d. TS
- 8,1 - 299 ppm  $F^-$  " TS
- 300 - 499 ppm  $F^-$  " TS
- ◐ 500 - 999 ppm  $F^-$  " TS
- $\geq$  - 1000 ppm  $F^-$  " TS

Ergebnisse eine Auswahl der Bereiche vorgenommen werden, die für gezielte Immissionsmessungen von Bedeutung sind. Dabei wird man in den meisten Fällen auch mit einem wesentlich geringeren Kostenaufwand rechnen können. Es gibt außerdem spezielle Untersuchungen, z.B. im Rahmen von Begutachtungen oder von Beweissicherungen, für die das Testpflanzenverfahren allein bereits ausreichende Informationen liefert.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die klassischen Methoden zum qualitativen und quantitativen Nachweis von Immissionskomponenten in der Luft sind die physikalisch-chemischen Verfahren. Ihre Anwendung gestattet sowohl die stoffliche Bestimmung als auch die direkte Messung der Konzentrationen einzelner Bestandteile in den Luftverunreinigungen. Daneben aber wird in neuerer Zeit an der Entwicklung biologischer Verfahren gearbeitet, die ebenfalls einen Nachweis von Luftverunreinigungs-komponenten ermöglichen. Ein Ergebnis dieser Arbeit in der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen ist die Methode der Graskultur zum Nachweis der Herkunft und Verbreitung von Fluorverbindungen in der Luft. Bei dem Verfahren wird die Immissionsrate, d.h. die immissionsbedingte Anreicherung von Fluor in den Pflanzen als Meßgröße herangezogen. Dazu sind nur solche Pflanzen geeignet, die den Schadstoff auch ohne Bildung äußerlich sichtbarer Symptome einer Schädigung oder einer Wachstumsdepression in größeren Mengen anreichern können.

Aus praktischen Erfahrungen war uns bekannt, daß bestimmte Gräser (Lolium multiflorum z.B.) gegenüber Fluorverbindungen in der Luft relativ unempfindlich sind. Diese Eigenschaft sowie das gute Anreicherungsvermögen für Fluor aus der Luft sind die Voraussetzung für die Eignung der Pflanzen als Sorptionssystem. Die Testpflanzen werden während einer definierten Zeitspanne (= Meßzeitintervall) in einem standardisierten Wachstums-substrat bei vergleichbarer Nährstoff- und Wasserversorgung

exponiert. Nach der Exposition wird der Pflanzenaufwuchs abgeschnitten und die gewonnene Pflanzenprobe auf ihren Fluorgehalt analysiert. Anhand der ermittelten Fluorwerte ( ppm in der Trockensubstanz) ist es möglich, die Herkunft und Verbreitung von Fluorverbindungen in der Luft zu beurteilen und eine Wirkungsaussage bezüglich der Gefährdung von Weidevieh durch Fluorose sowie der Gefährdung von Pflanzen zu machen. Einzelheiten der Methode und Ergebnisse aus praktischen Untersuchungen im Freiland werden mitgeteilt.

#### LITERATUR

1. LEONE, J.A., E. BRENNAN und R.H. DAINES:  
Atmospheric fluoride: Its uptake and distribution in tomato and corn plants.  
Plant Physiol. 31, 329-333 (1956)
2. GUDERIAN, R., H. van HAUT und H. STRATMANN:  
Experimentelle Untersuchungen über pflanzenschädigende Fluorwasserstoff-Konzentrationen.  
Forsch.Berichte des Landes Nordrhein.Westfalen Nr. 2017,  
Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen, 1969
3. MacLEAN, D.C., R.E. SCHNEIDER und L.H. WEINSTEIN:  
Accumulation of fluoride by forage crops.  
Contrib. Boyce Thompson Inst. 24, 165-166 (1969)
4. SCHÖNBECK, H., M. BUCK, H. van HAUT und G. SCHOLL:  
Biologische Meßverfahren für Luftverunreinigungen.  
VDI-Berichte Nr. 149, S. 225-234 (1970)
5. ALTHER, E.W.:  
Chemisch-biologische Untersuchungen zur Fluorose des Rindes.  
Diss.Landw.Hochschule Hohenheim, Stuttgart, Februar 1961

6. LAMPADIUS, F.:  
Beiträge zur Fluorschadendiagnostik, II. Ermittlung fluorhaltiger Immissionen durch Nachweis der Speicherung von Fluor in der Baumrinde.  
Phytopathol. Z. 38, 384-393 (1960)
7. WOHLERS, H.C. und G. NEWELL:  
A field investigation of fluorosis in cattle.  
J. Air Poll.Control Assoc. 14, 139-148 (1964)
8. GREENWOOD, D.A., J.L. SHUPE, G.E.STODDARD, L.E.HARRIS, H.M. NIELSEN und L.E. OLSON:  
Fluorosis in cattle.  
Special Report No. 17, Utah Agricultural Experiment Station, 1964.
9. SUTTIE, J.W.:  
Effects of inorganic fluorides on animals.  
J. Air Poll.Control Assoc. 14, 461-465 (1964).
10. SHUPE, J.L. und E.W. ALTHER:  
The effects of fluorides on livestock, with particular reference to cattle.  
Handbuch der experiment. Pharmakologie Bd. XX/I,  
S. 308-354, Springer-Verlag, Berlin, 1966.
11. SCHOLL, G., H. KAISER und H. RUDOLPH:  
Technische Anleitung für das Verfahren zur Bestimmung der Immissionsrate von Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum* Lam., ssp. *italicum*)  
Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NW, Essen, 1971
12. SCHOLL, G.:  
Ein Verfahren zur halbautomatischen Wasserversorgung von Pflanzenkulturen in Versuchsgefäßen.  
Z. Pflanzenernähr. und Bodenkunde 124, 126-129 (1969)

13. van HAUT, H., G. SCHOLL und G. van HAUT:  
Ein doppelwandiges Vegetationsgefäß aus Kunststoff  
mit selbsttätiger Bewässerung.  
Landwirtschaftl. Forsch. H. 4, 1971
14. HERPERTZ, E.:  
Kenngrößen des BERGERHOFF-Verfahrens zur Bestimmung  
des Staubbiederschlages.  
Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und  
Bodennutzungsschutz des Landes NW, Verlag W. Girardet,  
Essen, H. 17, S. 66-72 (1969)
15. SCHOLL, G. und H. RUDOLPH:  
Ein Expositionsgefäß für höhere Pflanzen zur biolo-  
gischen Indikation von Luftverunreinigungen.  
Zur Veröffentlichung vorbereitetes Manuskript

#### A BIOLOGICAL METHOD OF DETERMINING FLUORINE COMPOUNDS IN ATMOSPHERIC POLLUTION

BY G. SCHOLL  
*Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz, Essen.*

The classical methods of qualitative and quantitative determination of the components of atmospheric pollution are chemical and physical methods. Their use enables the determination of the substances, and also direct measurement of the concentration of individual constituents in the atmospheric pollution. However, biological methods have been developed recently which also make it possible to determine the components of atmospheric pollution. One result of this work in the Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz (Provincial Institution for Air Pollution and Land Use Protection) is the method of grass culture to determine the origin and distribution of fluorine compounds in the air. With this method the rates of pollution, i.e. the accumulation of fluorine in the plants, are used as the measured value. The only plants suitable for this are those which can accumulate the toxic substance in large amounts without the formation of visible external symptoms of damage or a depression of growth.

From practical experience we know that certain grasses (*Lolium multiflorum*, *L. perenne*) are relatively insensitive against fluorine compounds in the air. These indicator plants are put up, rather like a sorption system for fluorine compounds in the pollution, for a defined period (exposure interval) in a standardized growth substrate with comparable nutrient- and water-supply in the vicinity of a source of pollution. The plant samples obtained at the end of the exposure are analysed (unwashed and/or washed) for their fluorine content. On the basis of the fluorine values determined (mg/100 g dry matter) it is possible to assess the origin and distribution of fluorine compounds in the air to make a prediction of the fluorine danger to grazing cattle. Details of the method and the results of some practical investigations in the field are reported.



# ÜBER DIE ÜBERWACHUNG DER IMMISSIONEN VON KEHRRICHTVERBRENNUNGSANSTALTEN MIT HILFE VON NADELANALYSEN AUF CHLORIDE

von

Theodor KELLER

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf

## 1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Die moderne Zivilisation überflutet die Industrienationen mit einer ungeheuren Welle von Abfällen aller Art. So rechnet man heute z.B. in Zürich mit einer jährlichen Müllmenge von 200 kg/Einwohner. Um dieser Flut Herr zu werden, geht man mehr und mehr zur Kehrichtverbrennung über; der steigende Anfall von Plastik-Wegwerfpackungen bereitet jedoch Sorgen. Die Plastikproduktion der Welt wies in der Periode 1950/65 eine Zuwachsrate von über 900 % auf und der Plastikkonsum betrug 1965 in der Bundesrepublik Deutschland nahezu 30 kg/Einwohner. PVC gibt bei der Verbrennung Chlorgas ab, das sich mit Dampf sofort zu Salzsäure verbindet. Ein Teil der Salzsäure reagiert mit Staubpartikeln und bildet Chloride. Kehrichtverbrennungsanlagen können somit für ihre Umgebung zu ähnlichen Problemen führen wie die Verwendung von Salzkohle (Ewert, 1969) und bei weiterem Ansteigen des Plastikanteils im Müll ist mit Immissionsschäden in benachbarten Waldungen zu rechnen.

Es ist allerdings noch ungenügend bekannt, bei welchen Immissionskonzentrationen Schäden an der Vegetation entstehen. Nach Garber (1967) sind die MIK-Dauerwerte der VDI-Richtlinien von 1960 auf  $0.3 \text{ mg Cl}_2/\text{m}^3$  (ca. 0.1 ppm) bzw.  $0.7 \text{ mg HCl}/\text{m}^3$  (ca. 0.5 ppm) festgelegt worden. Nach Daines et al. (1967) sollen aber 0.1 ppm  $\text{Cl}_2$  empfindliche Pflanzen bereits schädigen. Ewert (1969) stellte bei langfristiger Einwirkung von HCl in der Konzentration von  $0.2 \text{ mg}/\text{m}^3$  Wuchsdepressionen an Laub- und Nadelhölzern fest.

Wir stellen uns daher die Frage, ob Nadelanalysen auch in die-

sem Falle für den Nachweis eines Immissionseinflusses geeignet wären. Während bezüglich des Schwefelgehaltes bereits eine reich Literatur vorliegt (vgl. z.B. Garber, 1967; Stefan, 1968) ist über die Chloridgehalte noch relativ wenig bekannt. Brennan et al. (1966) fanden in Begasungsversuchen mit  $Cl_2$  zwar einen Anstieg des Chloridgehaltes in Föhrennadeln aber keine strenge Beziehung zwischen Chloridgehalt und Schädigung. Nach Garber (1967) sind relativ hohe Chloridgehalte noch kein Beweis für das Vorliegen chlorhaltiger Immissionen, da der natürliche Chloridgehalt in einem weiten Bereich schwankt, doch wiesen die Blätter verschiedener Holzgewächse in Industriegebieten meist höhere Chloridgehalte auf als in ländlicher Umgebung.

Es ist allerdings zu beachten, dass immissionsbedingte Chlorid in Assimilationsorganen durch Niederschläge leicht ausgewaschen werden können. Ausserdem ist damit zu rechnen, dass die Chloridgehalte zufolge unterschiedlicher Aufnahme durch die Wurzeln von Jahr zu Jahr variieren können. Aus diesem Grunde wurden an verschiedenen industriiefernen Standorten der Schweiz Chloridgehaltsanalysen von Nadeln gemacht, um den "normalen" Gehalt kennen zu lernen. In einem bestimmten Gebiet wurden zudem dieselben Bäume über 5 Jahre hinweg untersucht, um die jährlichen Schwankungen zu erfassen.

## 2. METHODIK

Pro Probestfläche wurden in der Regel zwei Bäume pro Art markiert und deren Nadeln zu Mischproben vereinigt, allerdings nach Nadeljahrgängen getrennt. Einige Einzelbäume wurden in verschiedenen Kronenhöhen beerntet, um den Einfluss der Stellung in der Krone auf den Chloridgehalt zu erfassen. Sonst wurde stets eine Nadelprobe vom sechstobersten Wirtel gewonnen und zwar im Winterhalbjahr (November-Februar).

Wir hielten uns an die von Garber (1967, S. 160) gegebene Analysenvorschrift nach von Weihe. Es hat sich gezeigt, dass die Extraktlösung völlig farblos sein muss, da sonst der Titer we-

sentlich erhöht sein kann. Wichtig ist auch der pH-Wert des Ali-  
quots, der im Bereich 3-6 liegen muss.

Die Chloridbestimmung an frischem, in der Extraktionslösung homo-  
genisiertem Material ergab gegenüber den bei 65°C getrockneten Pro-  
ben wesentlich höhere Werte. Analysenwerte von frischen und von ge-  
trockneten Assimilationsorganen sind daher nicht vergleichbar.

### 3. RESULTATE

#### 3.1. Der Einfluss der Entnahmestelle in der Krone

Schon White (1954), Wehrmann (1959) u.a. haben darauf hinge-  
wiesen, dass die Stellung des Probenortes in der Krone den Nährstoff-  
gehalt beeinflusst. Wir haben dies an einigen Bäumen für Chlorid über-  
prüft. Die in Abb. 1 dargestellten Resultate zeigen übereinstimmend,  
dass der Chloridgehalt der Nadeln in der Krone von unten nach oben  
abnimmt. Auch bei Chloridbestimmungen muss somit eine einheitliche  
Probenahme erfolgen, um die Vergleichbarkeit der Analysenwerte zu  
gewährleisten.

#### 3.2. Der Einfluss des Nadelalters

Tab. 1: Einfluss des Nadelalters auf den Chloridgehalt von Nadeln

Nadelalter	Fichte (n=60)		Tanne (n=40)		Kiefer (n= 7)	
	$\bar{x}$	Streuung	$\bar{x}$	Streuung	$\bar{x}$	Streuung
1jährig	0.38	0.17-0.66	0.34	0.11-0.77	0.38	0.19-0.64
2jährig	0.36	0.16-0.60	0.32	0.18-0.79	0.34	0.20-0.53
3jährig	0.34	0.14-0.67	0.32	0.16-0.83	0.35	0.18-0.49
4jährig	0.33	0.16-0.70	-	-	-	-

Die Resultate einiger Untersuchungsreihen sind in Tabelle 1 zusam-  
mengefasst. Daraus geht hervor, dass die Mittelwerte bei Fichte und  
Tanne eine leichte Tendenz abnehmender Chloridgehalte mit zunehmen-  
dem Alter verraten. Dies lässt sich so erklären, dass die Auswa-  
schung der Chloride durch die Niederschläge eher grösser ist als  
die Neuzufuhr zu den metabolisch weniger aktiven Altnadeln. Diese  
Tendenz ist aber statistisch nicht gesichert, weil die Unterschiede  
recht klein sind (innerhalb der Fehlergrenze der Methode) und da

von Baum zu Baum starke Schwankungen auftreten, welche zu einer grossen Streuung der Werte führen. In einigen Fällen wurde sogar eine Zunahme mit zunehmender Alter gefunden.

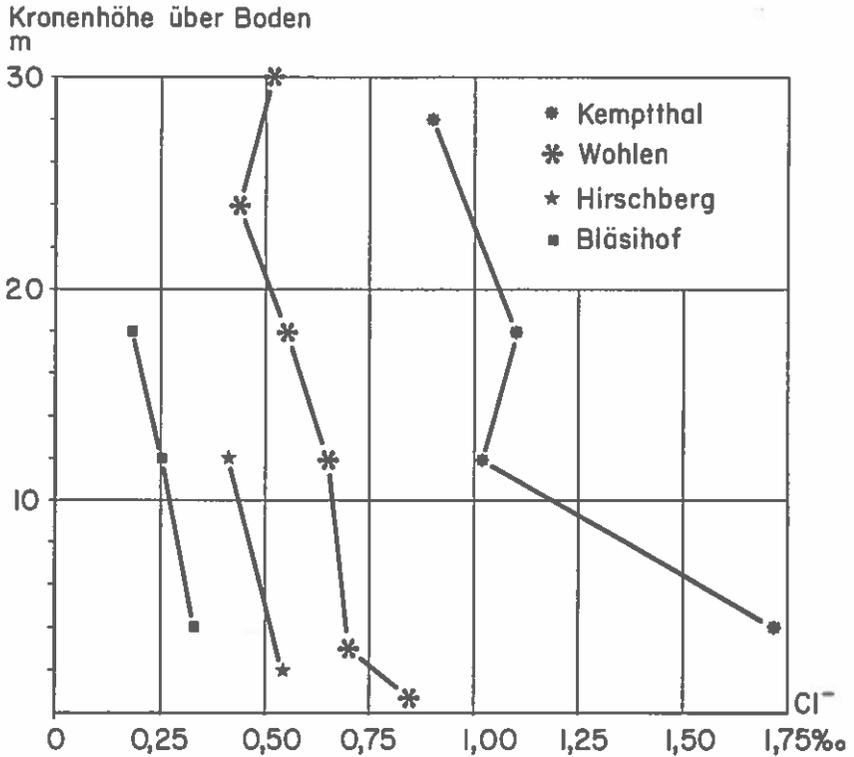


Abb. 1: Der Einfluss der Stellung der Probe in der Krone auf den Chloridgehalt von Fichtennadeln. Die Fichte "Kempthal" steht am Rand einer Hauptstrasse. Die Nadeln weisen durchwegs einen erhöhten Chloridgehalt auf, da durch das Salzen der Strasse im Winter viel NaCl in den Wurzelbereich gelangt. Der hohe Chloridgehalt der untersten Nadelprobe dieses Baumes ist auf die verkehrsbedingte "Salzgist" zurückzuführen.

### 3.3. Der Einfluss der Baumart

Wie für die Aufnahme der notwendigen Nährelemente so bestehen auch für die Aufnahme der Chloridionen Unterschiede zwischen den Arten. Zudem können verschiedene Wurzeltypen (Flachwurzler, Tiefwurzler) zur Erschliessung unterschiedlicher Bodenhorizonte führen. Daher können die Chloridgehalte in den Assimilationsorganen verschiedener Arten auf ein- und demselben Standort beträchtlich differieren. Tabelle 2 enthält Durchschnittswerte von Fichte und Tanne auf denselben acht Standorten. In der Regel lagen die Einzelwerte für Tanne etwas tiefer als für Fichte. Die Durchschnittswerte der beiden Arten liegen aber recht nahe beisammen und sie zeigen auch dieselben Tendenzen der Veränderung von Jahr zu Jahr.

Tab. 2: Cl-Gehalte (‰ in Trockensubstanz der 1- und 2jährigen Nadeln) bei Fichte und Tanne auf denselben Standorten.

Jahr	Fichte		$\bar{x}$	Tanne	
	$\bar{x}$	Spanne		$\bar{x}$	Spanne
1965	0.41	0.33-0.49	0.39	0.22-0.78	
1967	0.28	0.24-0.35	0.25	0.18-0.33	
1968	0.43	0.31-0.60	0.35	0.25-0.53	
1969	0.26	0.16-0.46	0.33	0.11-0.48	

### 3.4. Der Einfluss des Bodens (Muttergestein)

Um den Einfluss des Bodens auf den Chloridgehalt der Nadeln zu untersuchen, wurden Nadeln von Probebäumen verschiedener Standorte untersucht. Dabei ergab sich überraschenderweise, dass die Schwankungen innerhalb der Gruppe (Bodentyp) grösser waren als diejenigen zwischen den Gruppen (Tab. 3). Die reichlichen Niederschläge (> 1000mm) führten offensichtlich zu einer weitgehenden Auswaschung der Chloride im Verlaufe der Bodenbildung. Dementsprechend liegen die Chloridgehalte der Fichtennadeln im Winterhalbjahr in der Schweiz durchwegs unter 1‰, sofern ungestörte Verhältnisse vorliegen.

Tab. 3: Chloridgehalte (‰) von Fichtennadeln auf verschiedenen Böden

Geologie des Muttergesteins	n	$\bar{x}$	Variationsbreite
Ob. Süßwassermolasse	18	0.41	0.26 - 0.71
Rissmoräne	18	0.37	0.24 - 0.60
Würmmoräne	21	0.43	0.18 - 0.79
Verlandungsmoor	3	0.45	0.39 - 0.59
Jura	26	0.45	0.21 - 0.70

### 3.5. Der Einfluss des Klimas

Die klimatischen Unterschiede von Jahr zu Jahr, vor allem die unterschiedlichen Niederschläge, verursachen deutliche Schwankungen im Chloridgehalt der Nadeln. Die Resultate einer 5jährigen Messperiode sind in Tab. 4 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass sowohl Jahre mit überdurchschnittlichen als auch solche mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen während der Vegetationsperiode zu niedrigen Chloridgehalten führen können: bei Trockenheit wird die Chloraufnahme behindert, bei reichen Niederschlägen dagegen wird die Auslaugung der Nadeln begünstigt. Die niedrigen Gehalte des Jahres 1969 sind durch die Probenahme am Ende des Winters (starke Auswaschung) bedingt.

Tab. 4: Die Schwankung des Chloridgehaltes (‰ in Trockensubstanz) 1- und 2jähriger Nadeln) in 5 aufeinander folgenden Jahren

Jahr	Fichte		Tanne	
	$\bar{x}$	Spanne	$\bar{x}$	Spanne
1965	0.42	0.26 - 0.59	0.40	0.21 - 0.78
1966	0.41	0.25 - 0.52	0.44	0.28 - 0.67
1967	0.30	0.24 - 0.39	0.25	0.18 - 0.33
1968	0.45	0.30 - 0.71	0.35	0.25 - 0.53
1969	0.26	0.16 - 0.46	0.23	0.11 - 0.48

#### 4. DISKUSSION

Wenn man die Analysenresultate von Nadeln aus von Menschen wenig berührten Beständen mit jenen vergleicht aus der Nähe von Chemiebetrieben, Kehrlichtverbrennungsanstalten oder Strassenrändern, so zeigt sich, dass unter schweizerischen Verhältnissen Chloridgehalte unter  $1^{\circ}/_{\infty}$  zu erwarten sind. Werte über  $1^{\circ}/_{\infty}$  deuten nach bisherigen Erfahrungen auf gestörte Verhältnisse hin, seien es nun chlorhaltige Immissionen, Streusalz oder Düngemittel. Einige Bäume im Umkreis von 300 m von kleineren Kehrlichtverbrennungsanlagen wiesen  $0.99-1.53^{\circ}/_{\infty}$  Chlorid in der Trockensubstanz auf, an Strassenrandbäumchen wurden nach Abschluss der Frostperiode Werte bis  $2^{\circ}/_{\infty}$  in normal erscheinenden Nadeln gefunden (der höchste gemessene Wert betrug  $11^{\circ}/_{\infty}$  in abgestorbenen Nadeln!). Diese Methode vermag somit Immissionseinflüsse nachzuweisen, doch ist es ratsam, mit den Probenahmen mindestens zwei Jahre vor Inbetriebnahme eines Werkes zu beginnen, um den Ausgangszustand möglichst gut zu erfassen.

#### 5. ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wie bei Nadelanalysen auf Nährstoffe ist auch bei der Chloridanalyse der Ort der Probenahme in der Krone zu standardisieren. Im Gegensatz zu Sulfaten, Carbonaten etc. reichern sich die Chloride wegen ihrer Löslichkeit in den alten Nadeln nicht an. Alte Nadeln liefern daher kaum höhere Werte als 1jährige Nadeln, so dass sich die Untersuchung auf 1- und 2jährige Nadeln beschränken kann. Die Chloridaufnahme aus dem Boden kann auf ein- und demselben Standort von Baumart zu Baumart variieren. Andererseits erwies sich unter ungestörten schweizerischen Bedingungen der Einfluss des bodenbildenden Muttergesteins auf den Chloridgehalt der Nadeln als gering. Je nach den Niederschlägen können dagegen die Chloridgehalte eines gegebenen Baumes von Jahr zu Jahr beachtlichen Schwankungen unterliegen. Bei ungestörten Bedingungen lag der winterliche Chloridgehalt der Assimila-

tionsorgane in der Schweiz stets unter 1<sup>0</sup>/oo; er stieg dagegen in der Nähe von Kehrrechtverbrennungsanlagen bisher bis auf 1.5<sup>0</sup>/oo (keine Schädigung). Dies zeigt, dass auch die Blattanalyse auf Chloride im umrissenen Rahmen wertvolle Anhaltspunkte zu liefern ver

#### Literaturverzeichnis

- Brennan, E., Leone, I.A. und Daines, R.H., 1966. Response of pine trees to chlorine in the atmosphere. For.Sci. 12 : 386-390.
- Daines, R.H., Brennan, E. und Leone, I.A., 1967. Air pollutants and plant response. J. For. 65 : 381-384.
- Ewert, E., 1969. Die phytotoxischen Bestandteile in den Exhalaten von Salzkohleverbrennungsanlagen. Luft- u. Kältetechnik (3): 144-146.
- Garber, K. 1967. Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. Boroträger Berlin, 278 pp.
- Stefan, K., 1968. Ueber den natürlichen Schwefelgehalt von Fichtennadeln und seine Bedeutung für die Rauchschadensdiagnose. Referate der VI. Internationalen Arbeitstagung forstl. Rauchschadensachverständiger, Katowice, S.297-312
- Wehrmann, J., 1959. Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. Forstwiss. Cbl.78: 77-97.
- White, D.P., 1954. Variation in the nitrogen, phosphorus, and potassium contents of pine needles with season, crown position, and sample treatment. Soil. Sci.Soc. Amer. Proc. 18: 326-330.

#### MONITORING THE EMISSIONS OF MUNICIPAL GARBAGE INCINERATORS BY MEANS OF FOLIAR ANALYSES FOR CHLORIDES

BY THEODOR KELLER  
*Swiss Forest Research Institute, Birmensdorf.*

One of the characteristics of modern civilization is the production of extraordinary amounts of garbage, the disposal of which poses certain problems. To prevent groundwater pollution increasing, numbers of municipal garbage incinerators are being built, unfortunately often near forests. The rising percentage of chlorinated polymers (plastics) in the garbage leads to increasing concentrations of HCl in the emitted stack gases which may injure vegetation.

In order to survey this increasing danger to forests near incinerators, an attempt is made to oblige these public works to pay for periodic Cl-analyses of the foliage of selected sample trees. In a rural area such needle analyses (von Weihe's method) were performed during five consecutive winters to obtain data regarding 'normal' Cl-contents of foliage and their fluctuations. The results lead to the following conclusions:

1. Analyses of fresh foliage yield Cl-contents which are distinctly higher than in the same foliage after oven-drying at 65°C.
2. Foliage sampling has to be locally standardized to get comparable results, as Cl-contents of the needles decrease from bottom to top of crown.
3. A slight, but statistically not significant, tendency towards decreasing Cl-contents with increasing needle age was detected.
4. On a given site different species may have different Cl-contents in their foliage, as the species differ in rooting and ion-uptake.
5. The influence of bedrock (geology) on Cl-content of foliage is very small under the conditions of Switzerland (high precipitation). On all sites tested, Cl amounted to less than 1% of dry matter.
6. Cl-contents in the foliage of a particular tree differ widely from year to year, probably due to differences in uptake from the soil and leaching by rainfall. One single sampling before the installation of incinerators therefore seems inadequate to characterize the original state.
7. Distinct increases in Cl-values (> 1%) were found near such garbage incinerators and along highways (salting in winter), thus proving the suitability of the proposed survey method.



DETECTING AND EVALUATING AIR POLLUTION  
DAMAGE TO FOREST STANDS IN THE UNITED STATES  
BY USING LARGE-SCALE COLOR AERIAL PHOTOGRAPHY

by

Steven L. WERT

Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station

INTRODUCTION

In recent years, forests in some parts of the United States have come under the influence of air pollution in addition to such natural destructive agents as insects and disease. Forest lands administered by the United States government as well as other lands have been damaged by air pollution.

Some regions of the United States are under virtually continuous exposure to air pollution. Southern and southwestern portions of the State of California and in the mid-Southeastern United States are of particular concern. Other regions are less affected so far, but the potential for extensive damage in the near future is present.

In southern California, air pollution has become a critical problem in the last 10-15 years. Miller, et al. (1963), Parmeter, et al. (1963), and Stark, et al. (1968) investigated symptoms of oxidant air pollution and its effects on sensitive tree species, such as ponderosa pine (Pinus ponderosa, Laws.) and Jeffrey pine (Pinus Jeffreyi Grev. & Balf.). Besides their high sensitivity, the species are of high commercial and recreational value in southern California.

In the Southeastern United States, damage to forest trees by ozone (O<sub>3</sub>) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) air pollutants from industrial sources has been studied by Berry (1961, 1964), Hepting (1961), and Linzon (1960). The major tree species studied were Eastern white pine (Pinus strobus) and a variety of important southern species--loblolly pine (Pinus taeda), a shortleaf pine (Pinus echenata), and Virginia pine (Pinus Virginiana).

This paper describes research under way at the U. S. Forest Service's Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California. This work includes translating symptoms of tree damage from air pollution on the ground to characteristics which can be recognized and evaluated with remote

sensing technology. In this case, the approach has been primarily through large-scale color aerial photography.

## FEASIBILITY STUDIES

### Southern California

In June 1968, the Pacific Southwest Station tested large- and small-scale color, color infrared, and panchromatic aerial photography over four study areas on the San Bernardino National Forest. This Forest lies next to the Greater Los Angeles Metropolitan Area in southern California. The purpose of the tests was to determine the feasibility of using aerial photographic remote sensing techniques to evaluate air pollution impact on a coniferous forest. The major species of tree studied were ponderosa pine and Jeffrey pine.

Five combinations of films and filters were used at five photographic scales ranging from 1:1,584 to 1:32,000 (Table 1). After the results were interpreted, the photo interpretation data were compared and correlated with ground observations of selected trees on the study plots.

To detect air pollution injury, the best film-scale combination was normal-color film (Anscochrome D/200) exposed at 1:7,920 scale.<sup>1/</sup> Equally accurate results were obtained at the next larger scale (1:3,960). On an operational survey, the smaller scale (1:7,920) is more economical because each photo covers four times the area of the larger scale (1:3,960) for any given film size format.

To evaluate air pollution effects on the crowns of affected trees, normal-color film (Anscochrome D/200) exposed at 1:1,584 scale through a didymium filter proved most effective. The didymium filter accentuated the green-yellow and red needles resulting from air pollution injury to the tree crown.

Trees were rephotographed in August and December to determine the season of the year which would be best to evaluate air pollution effects in this area. December through June was found to be the best season, photographically, to detect and evaluate air pollution effects (Fig. 1).

---

<sup>1/</sup> Trade names and commercial enterprises or products are mentioned solely for necessary information. No endorsement by the U. S. Department of Agriculture is implied.

Table 1

Films, filters, and scales used in feasibility study to assess oxidant injury to ponderosa pine in southern California, June 1968

## SCALES

1:1,584 1:3,960 1:7,920 1:16,000 1:32,000

Ansochrome D/200 - HF3-HF4 haze filters					
Didymium filter <sup>1/</sup>	X	X	X	X	X
Ektachrome Infrared (Type 8443) #12, minus blue filter	X	X	X	X	X
Plus X Aerographic #25 (A) filter	X	X	---	---	---
Aerographic Infrared #89 b filter	X	X	---	---	---

<sup>1/</sup> Didymium filter used only at 1:1,584 scale.

Southeastern United States

A feasibility study like the one made in southern California was done in the Tennessee Valley region of the Southeast in 1969. Study plots were established in natural mixed conifer stands and in pure pine plantations. The same number of sites were established adjacent to the pollution source and a distance away from the source. Only plots next to the sources were periodically fumigated with SO<sub>2</sub>.

After fumigation in early summer, each study plot was photographed by vertical aerial photography in color and in color infrared at three photographic scales (Table 2).

Interpreters examined all films and scales to detect trees injured by the fumigation. Symptoms shown by injured pine were: light to severe necrosis of needles over entire crown area, and dieback of needles up to 90 percent of needle length on current and previous years' needles, with older needles being affected first. On pines only very lightly affected, a slight chlorosis would appear, but would disappear in a short time.

From the aerial photography, judgments were made of the amount of tree crown affected and the extent of necrosis. Trees were placed in three categories of injury on the basis of percent of crown affected: trace - 10-25 percent; moderate - 25-75 percent; and severe - 75-100 percent.

## PERCENT OF CORRECT PHOTOINTERPRETATION OF TREE CONDITION BY MONTH



After all interpretations were made, correlations were made on a tree-by-tree basis to determine how closely photo interpretations agreed with ground truth observations and how efficient the aerial photographic method was (Table 3).

The relatively poor success in detecting affected trees appears to be caused in part by the relatively low level of fumigation that had occurred in this period. In July 1970, a photographic mission found the plots much more heavily damaged than recorded in earlier surveys. Photography at the 1:7,920 scale was not repeated because of its poor results in the previous survey. Data on the success of detection this year are not yet available, but initial examination of the film suggests that detection success on larger scales will be high.

### EXPERIMENTAL METHODS

#### Impact Survey in Southern California

Statistical Design. From knowledge gained in the feasibility studies, a technique was developed to survey a large forested area in southern California next to the Greater Los Angeles Metropolitan Area. The objective was to measure the impact of oxidant air pollution injury to ponderosa and Jeffrey pine trees on more than 100,000 acres of forest pine type. The number of trees and acreage affected was estimated.

stage sample design. The small-scale coverage also served as a navigational aid for visiting 24 triplet sites on the ground. At each site, the number of affected pine trees was counted. As was done in the photo interpretation, field crews estimated the needle retention, needle length, branch mortality, and crown color of the affected trees. From these ground observations each tree was rated as moderately or severely affected. Acreages of each triplet were calculated by ground measurements of the distances between triplet corners.

Computation Procedure. All computations were performed on a small desk computer. The estimate of number of trees affected was computed by the formula:

$$K = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \frac{1}{P_i} \left( \frac{A_{ij}}{a_{i2}} \sum_{j=1}^2 \frac{K_{ij}}{P_{ij}} \right)$$

in which K = the estimate

$P_i$  = probability of line selection

$A_i$  = area covered by each flight line

$a_i$  = area covered by triplets in flight line

$K_{ij}$  = ground count of affected trees per triplet visited

$P_{ij}$  = probability of triplet selection

#### RESULTS

It was estimated that 1,298,073 ± 20% ponderosa and Jeffrey pine trees were affected by oxidant air pollution over the forest area sampled. Of the affected trees, 82 percent were in the moderately affected category and 15 percent were in the severely affected category.

The cost of the survey was \$3,265, or about \$0.033 per acre for the more than 100,000 acres of ponderosa and Jeffrey pine type.

Through inspection of the area and locations of data collected on the aerial photography and on the ground, we were able to prepare impact distribution maps for the entire forest area (Fig. 3).

#### SUMMARY AND CONCLUSIONS

The three-stage probability design which couples small-scale photographic coverage with many large-scale photo samples and few ground plots proved to be

an efficient system for surveying a large forested area. Computations from the survey data were quickly and easily made on small desk computers or calculators.

Good aerial photography and adequate statistical methodology are versatile remote sensing tools. Increased training and experience in the recognition of symptoms of air pollution on forest trees is essential to the continued efficiency of the aerial photo survey system.

Even larger photographic scales than the ones tested by us may be of advantage with revised sampling procedures. Larger scales may permit an even more detailed evaluation of crown characteristics if such data are desirable.

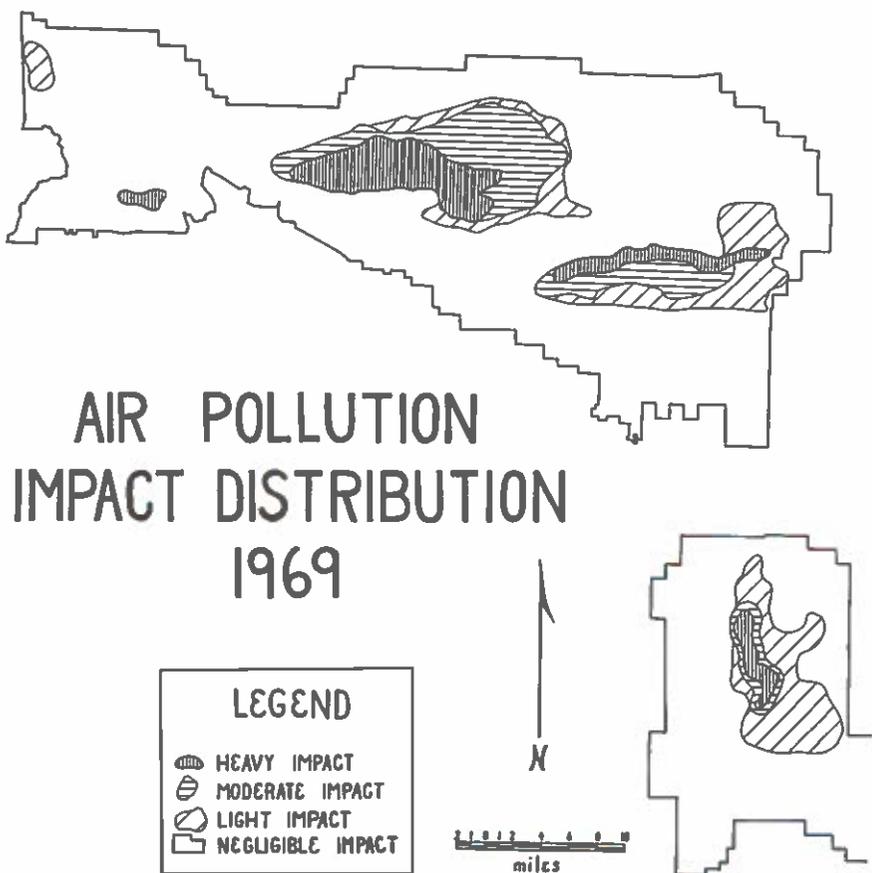


Figure 3. Damage to forest trees on the San Bernadino National Forest in southern California by oxidant air pollution varied in impact from negligible to heavy.

This year, we conducted a similar impact survey on the Angeles National Forest, next to the San Bernadino National Forest. The statistical and operational systems were the same as for the previous survey. Results of this survey are not yet available because of incomplete data processing. However, early indications are that the survey will be at least as successful. We expect that overall a fewer number of trees are affected on the Angeles National Forest than on the San Bernadino National Forest.

In the near future, we hope to apply these survey techniques to our study areas in Southeastern United States. Heavier fumigations of late have caused extensive damage to particular forest areas. Here again a probability sampling design and large-scale color aerial photography used as samples should again prove accurate and efficient estimators of air pollution impact.

The survey techniques described in this paper provide an efficient means of obtaining data for evaluations of economic impact as well as in obtaining a permanent record of forest conditions at any given time.

#### LITERATURE CITED

- Berry, C. R. 1964. Differences in concentrations of surface oxidant between valley and mountaintop conditions in the southern Appalachians. *J. A. P. C. A.* 14(6):238-239.
- Berry, C. R. 1961. White pine emergence tipburn, a physiogenic disturbance. U. S. Forest Service Research Paper 130. Southeastern Forest Exp. Sta., Asheville, N. C. 8 p.
- Hepting, G. H. 1961. Damage to forests from air pollution. *J. For.* 62(9): 630-634.
- Linzon, S. N. 1960. The development of foliar symptoms and the possible cause and origin of White Pine needle blight. *Can. J. Bot.* 38:153-161.
- Miller, P. R., J. R. Parmeter, O. C. Taylor, and E. A. Cardiff. 1963. Ozone injury to the foliage of *Pinus ponderosa*. *Phytopathology.* 53:1072-1076.
- Parmeter, J. R., R. V. Bega, and T. Neff. 1963. Chlorotic decline of ponderosa pine in southern California. *Pl. Dis. Reprtr.* 46(5):269-274.
- Stark, R. W., P. R. Miller, F. W. Cobb, D. L. Wood, and J. R. Parmeter. 1968. Photochemical oxidant injury and bark beetle (*Coleoptera: Scolydidae*) infestation of ponderosa pine. Incidence of bark beetle infestation in injured trees. *Hilgardia.* 39(6):121-126.

## ABSTRACT

In order to obtain knowledge of the adverse economic impact of air pollution on forests in the United States, government agencies have been at work through cooperative research efforts to find a feasible system of detecting and evaluating air pollution damage to forest areas.

Color aerial photography at scales of 1:8,000 and 1:1,584 has been used successfully to detect and evaluate trees affected by air pollution. Affected tree crowns appear mottled yellow to uniform yellow in the field and on the photography. At the largest scale of photography (1:1,584) a didymium filter is used to enhance the contrast between red, green, and yellow colors in the tree crowns. Tree crowns also exhibit short needles, fewer needles, and increased branch mortality as symptoms of air pollution damage. These crown characteristics are visible on large-scale color aerial photography. In southern California, the season from December through June seems to be the best time for aerial photography to illustrate tree conditions due to air pollution.

Impact surveys using the the aerial photography and a three-stage probability sampling design have been made over two large National Forests in the State of California. Both of these forests are exposed to oxidant air pollution from adjacent metropolitan areas. The number and condition of affected trees were estimated with a high degree of accuracy using the aerial photo sampling system. These surveys were completed at a very modest cost. A similar system is being tested for the evaluation of SO<sub>2</sub> damage to forests in the State of Tennessee. However, no impact surveys have been made to date.

## D I S K U S S I O N

DONAUBAUER:

Die gezeigten Bilder waren sehr beeindruckend. Doch war ich etwas enttäuscht zu hören, daß die Fehlergrenze  $\pm 25\%$  betragen hat. Das Luftbild ist für eine grobe Orientierung sehr wertvoll, doch offenbar noch nicht in der Lage, die schwer oder nicht sichtbaren Schäden erfassen zu können. Die Genauigkeit, die von uns verlangt wird ist größer und wir können uns daher die terrestrischen Aufnahmen nicht ersparen. Wenn Dr. KENNEWEG geäußert hat, daß sich die Immis-

sionsschäden am Luftbild anders darstellen als Schädlingsbefallsfolgen, so muß ich ihm widersprechen. Es gibt eine Reihe von Kronenschädlingen (Insekten und Pilze) die ähnliche Schadensbilder erzeugen können.

Ich sehe meine Auffassung bestätigt, daß Luftbildinterpretationen einer sehr intensiven Verifizierung durch terrestrische Untersuchungen bedürfen.

WERT:

Die Genauigkeit der Interpretation steigt mit der Einschulung und ständigem Vergleich mit terrestrischen Untersuchungen. Das Luftfoto kann Veränderungen im Laufe der Zeit gut festhalten.



# ZUR FRAGE DER ERKENNUNG UND ABGRENZUNG VON RAUCHSCHÄDEN AUS LUFTBILDERN

von

Hartmut KENNEWEG

Institut für Forsteinrichtung und forstliche Betriebswirtschaft  
der Universität Freiburg

## 1. Einige generelle Feststellungen über die Erkennung von Vegetationsschädigungen im Luftbild

Schon lange ist die Eignung des Luftbildes für die Erkennung und Abgrenzung von Vegetationsschäden bekannt<sup>1)</sup>. Auf dem Schwarzweissbild sind die Erkennungsmöglichkeiten im wesentlichen beschränkt auf flächenweise Vernichtung von Vegetationsbeständen, auf deutliche Veränderungen der Form oder Grösse von Einzelpflanzen sowie auf schädigungsbedingte Besonderheiten der Struktur von Pflanzenbeständen (z.B. Unregelmässigkeiten im Pflanzmuster); mit Hilfe von Farbbildern wird es dagegen möglich, auch solche schädigungsbedingten Veränderungen darzustellen, die sich auf Färbung und sonstige Reflexionseigenschaften der Pflanzen auswirken.

Besondere Aussagekraft über den Vitalitätszustand einer Pflanze besitzen die Remissionsunterschiede oder -veränderungen im Spektralbereich des "Nahen Infrarot" (Wellenlänge ca. 700 - 900 mm), denn die Assimilationsorgane grüner Pflanzen besitzen normalerweise ein sehr hohes Remissionsvermögen in diesem Bereich; durch Schädigungen kann dieses vermindert werden (2, 3, 4). Das Remissionsvermögen einer ganzen Baumkrone hängt ausser von der Beschaffenheit der Assimilationsorgane auch von der Gesamtblattmasse, der Kronendichte und -struktur sowie der Licht- und Schat-

1) TAUBENHAUS u.a. (5) berichteten schon 1929 vom erfolgreichen Einsatz des Luftbildes bei der Erkennung geschädigter Baumwollpflanzen. "Luftbilder haben das Problem gelöst, das durch Sichtbehinderung ins Innere der Felder entsteht und erlauben gleichzeitig, getötete Pflanzen von normalen zu unterscheiden.

tenverteilung an der Kronenoberfläche ab; die Gesamterscheinung einer Baumkrone im Luftbild ergibt sich aus dem Zusammenwirken dieser im einzelnen zum Teil nicht mehr photographisch aufgelösten Merkmale. Normale Farbfilme geben die Remissionsverhältnisse (und Abweichungen von der Norm) im sichtbaren Spektralbereich wieder, während der "falschfarbige" Infrarot-Farbfilm Kodak Ektachrome Infrared auch die charakteristischen Veränderungen im unsichtbaren Infrarot darstellt.

Die aus dieser Tatsache abzuleitende Erwartung, dass damit auch solche Schädigungen sichtbar gemacht werden könnten, die bei dem Geländebezug noch unsichtbar wären, konnte durch die Erfahrungen im Institut für Forsteinrichtung und forstliche Betriebswirtschaft der Universität Freiburg nicht bestätigt werden. Bei mehreren Versuchsbefliegungen im nord- und südwestdeutschen Raum waren Schädigungserscheinungen nur dann auf dem Falschfarben-Luftbild sichtbar, wenn auch im Gelände phänologische Schädigungssymptome deutlich erkannt werden konnten (BENSON et al. 1970).

## 2. Rauchschäden im Luftbild

Bisher war allgemein von Schädigungen an der Vegetation die Rede. Die als Folge von Immissionseinwirkungen auftretenden Schädigungen können (wie andere Schädigungen auch) auf dem Luftbild nur durch das Auftreten von phänologischen Symptomen wie Nekrosen, Verfärbungen und Verlusten von Assimilationsorganen sichtbar werden. Diese Merkmale, die beim Luftbild auch noch aus grosser Entfernung aufgenommen sind, können i.a. nicht als charakteristisch für eine bestimmte Schädigungsursache gelten; es ist also nicht ohne weiteres zu erkennen, ob ein einzelner Baum durch Immissionen oder andere Ursachen geschädigt ist. Dagegen ist es möglich, aus der Verteilung der geschädigten Bäume innerhalb der Bestände des Bildbereichs sowie ihrer Lage zu der vermuteten Emissionsquelle in Verbindung mit Angaben über die vorherrschenden Windrichtungen während der Wochen oder Monate vor der Aufnahme Rückschlüsse über die mögliche Schadursache zu ziehen. Beispielsweise kann das bei Rauchschäden häufig zu

beobachtende Vorkommen von sichtlich geschädigten Exemplaren unmittelbar neben scheinbar völlig gesunden Baumindividuen, das auf individuelle Resistenz gegen Luftverunreinigungen zurückzuführen ist, Verwechslungen mit allen solchen Schädigungsformen nahezu ausschliessen, bei denen ausgesprochene Schaderde mit scharfer Abgrenzung auftreten, wie beispielsweise die mitunter auftretenden charakteristischen "Käferlöcher" bei Borkenkäferbefall. Der Schädigungsgrad von Beständen kann definiert werden als die relative Häufigkeit von geschädigten Exemplaren innerhalb der Gesamtzahl der Bäume eines Bestandes oder je Flächeneinheit. Gerade eine Erhebung dieser Daten ist auf terrestrischem Wege problematisch, weil der entscheidende Teil der Kronen häufig nicht gesehen werden kann (besonders in dichten Nadelholzbeständen); die Erhebung von kleineren Stichproben ist ungünstig, weil es schwer zu beurteilen ist, ob diese als repräsentativ gelten können; die unmittelbare Vergleichbarkeit einer grösseren Anzahl geschädigter Kronen ist nicht gegeben, weil man von einem Punkt aus allenfalls wenige Kronen vollständig überblicken kann, deren Zuordnung zu bestimmten Schadklassen schwierig ist, besonders in den nicht seltenen Fällen, bei denen einzelne Kronenteile unterschiedlichen Schädigungsgraden zuzurechnen wären. Das Luftbild besitzt demgegenüber entscheidende Vorteile:

1. Die einzelnen Kronen werden "generalisiert" d.h., individuelle Merkmale der Einzelkrone werden nicht mehr photographisch aufgelöst wiedergegeben, sondern tragen nur zu dem Kronengesamteindruck bei; die Entscheidung der Klassenzuordnung wird vereinfacht, da die irritierenden Individual-eigenschaften nicht mehr als solche in Erscheinung treten.
2. Der unmittelbare Vergleich der einzelnen Baumkronen vermittelt ein anschauliches Bild der Schädigungsdichte in den einzelnen Teilen des Gesamtschadgebietes. Das gesamte Gebiet ist zum gleichen Zeitpunkt, also unter in jeder Beziehung gleichen Bedingungen, aufgenommen. Im Vergleich zur terrestrischen Aufnahme kann ein sehr grosser Gelände-ausschnitt überblickt und verglichen werden.
3. Die meisten Bäume sind bei günstigen Aufnahmebedingungen (hoher Sonnenstand, gute Bildausleuchtung und lange Brennweite des Objektivs) auf mehreren Folgebildern sichtbar und damit auch stereoskopisch auswertbar. Auf jeden Fall ist der entscheidende obere Teil der Krone im Bild dargestellt.

### 3. Die Befliegungsbedingungen

Die bei Rauchschäden häufig auftretenden Unterschiede im Schädigungsgrad zwischen benachbarten Baumkronen lassen die Bestimmung des Schädigungsgrades der Einzelkrone zum Grundvortrag jeder bestandes- oder grossflächenweise durchzuführenden Interpretation werden. Der Bildmaßstab muss also die getrennte Erkennung der einzelnen Baumkronen samt ihren speziellen wichtigen Merkmalen (bei der Schädigungsinterpretation insbesondere der Farbtönung) noch zulassen. Sollen Fichtenbestände bis herab zum Stangenholzalter interpretiert werden, darf der Bildmaßstab beim normalen Colorfilm nicht wesentlich kleiner sein als ca. 1: 4 000 bis 1: 5 000, beim Falschfarbenfilm ca. 1: 5 000 bis 1: 7 000.

Da einige Eigenschaften des Luftbildes die forstliche Interpretation erschweren, müssen ihre Einwirkungsmöglichkeiten möglichst gering gehalten werden:

1. Je geringer die Brennweite des Aufnahmeobjektives ist, umso stärker wird sich bei der ausgeprägten vertikalen Struktur forstlicher Objekte die radiale Punktversetzung auswirken; das bedeutet, dass die Bäume gegen den Bildrand bereits in einem ganz anderen Blickwinkel aufgenommen werden, als in der Bildmitte, was bei der Diagnose von Schädigungen irritierend wirken kann; ausserdem können dann niedrigere Einzelobjekte von höheren verdeckt werden. Für die Interpretation von Rauchschäden sind daher Aufnahmeobjektive mit langen Brennweiten zu empfehlen.
2. Die Beleuchtungsunterschiede innerhalb eines Bildes, die objektivbedingte radiale Abnahme der Beleuchtungsintensität und Unterschiede, die sich aus dem unterschiedlichen Schattenanteil an der Bestandesremission auf dem Mitlicht- und der Gegenlichtseite des Bildes sowie an Licht- und Schattenhängen im Gelände ergeben, können ebenfalls durch Aufnahmeobjektive mit langen Brennweiten verringert werden. Ihre Einflüsse können ausserdem durch die stereoskopische Betrachtung gemindert oder in vielen Fällen ganz ausgeglichen werden.
3. Eine gute Bildausleuchtung ist für gute Interpretationsergebnisse wichtig. Es genügt nicht, dass die Oberfläche des Kronendaches im oberen Teil beleuchtet ist. Man sollte darauf achten, dass die Aufnahmen zu Jahres- und Tageszeiten mit hohem Sonnenstand gemacht werden.
4. Die Aufnahmejahreszeit muss sich im übrigen nach der Zeit der deutlichsten Ausprägung der phänologischen Schädigungs-

Erkennbarkeit von Schädigungsmerkmalen an Fichteneinzelkronen auf verschiedenen Filmtypen

Nr. Schädigungssymptom	Panchro- matisch (schw.-weiss)	Infrarot (schw.-weiss)	Color	Infrarot-Color (Falschfarben)
1 Nadelverfärbungen am jeweils letzten Jahrestrieb	-	-	X	X
2 Nadelverluste hauptsäch- lich auf letzten Jahres- trieb beschränkt	-	-	-	X
3 Nadelverluste nur an älteren Jahrestrieben	-	X	-	X
4 Allgemein schütterere Benadelung	-	-	(X)	X
5 Kümmerliche Nadel- und Triebsausbildung	-	-	(X)	(X)
6 Habitus-Veränderungen	(X)	(X)	(X)	(X)
7 Totale Nadelverfärbung Absterben	-	-	X	X
8 Totaler Nadelverlust Absterben	(X)	-	(X)	X

X = sichere deutliche Erkennbarkeit, zusätzliche Interpretationshilfen  
bei guter Bildqualität nicht erforderlich

(X) = weniger sichere Erkennbarkeit, das Merkmal muss deutlich ausgeprägt sein;  
zusätzliche Interpretationshilfen gewöhnlich erforderlich

gungsmerkmale richten. Akute Rauchsäden durch Fluorverbindungen an Fichtenbeständen werden z.B. mit Normalfarbfilm am besten einige Wochen nach dem Austreiben aufgenommen, wenn intensive Verfärbungen der frischen Nadeln auftreten.

#### 4. Schädigungsklassen

Die Ausscheidung von interpretierbaren Schädigungsklassen muss auf der Basis der luftbildwirksamen phänologischen Schädigungssymptome erfolgen. In der für Luftbilder gebräuchlichen Flughöhe (z.B. 1 500 m über Grund bei einer Aufnahmebrennweite von 30 cm und einem Bildmaßstab von 1: 5 000) sind nur grobe und ausgeprägte Merkmale der Einzelkornen sichtbar bzw. bildwirksam. Nicht alle der infragekommenden Merkmale sind auf allen Filmarten erkennbar; nicht alle Merkmale werden gleichartig abgebildet. In der Tabelle sind die in einem durch Fluor-Verbindungen teils akut, teils chronisch geschädigten Fichtenwaldgebiet beobachteten Schädigungsmerkmale und ihre Erkennbarkeit auf verschiedenen Filmtypen wiedergegeben. Als voll erkennbar wurde hier ein Merkmal dann angesehen, wenn praktisch keine Verwechslungsmöglichkeit bestand, sofern Ausprägung und Abbildung des Merkmals deutlich waren. Einige der dargestellten Merkmale werden zwar auf dem Falschfarbfilm verschieden abgebildet, haben aber für die ökologische und sonstige Schädigungsbewertung die gleiche Bedeutung. Ob verfärbte und abgestorbene Nadeln noch am Zweig sitzen oder bereits abgefallen sind, ist für die Schwere des eingetretenen Schadens unerheblich (z.B. Merkmal Nr. 1 u. 2 bzw. Nr. 7 u. 8 in der Tabelle). Diese Unterschiede geben höchstens einen gewissen Aufschluss über den Zeitpunkt der Schadeinwirkung: Solange die Nadeln noch am Zweig sind, dürfen die Schäden als frisch gelten.

Besonders zu erwähnen ist das unter Nr. 3 aufgeführte Schädigungsmerkmal "Nadelverluste nur an älteren Jahrestrieben". In diesem Falle handelt es sich um ältere Schäden; die betroffenen Bäume hatten nach deren Auftreten noch genügend Reserven, um neue Triebe zu bilden. Das teilweise Fehlen der alten Nadeljahrgänge eröffnet von oben Durchblicke in das beschattete Kroneninnere, der Baum zeigt einen relativ stärkeren Schat-

tenanteil an der Remission. An dieser Stelle wurden im Vortrag Bilder gezeigt, die hier aus Platzgründen nicht wiedergegeben werden können. Weil Schattenpartien im Infrarotbereich besonders dunkel wiedergegeben werden, wird dieses Merkmal in den Infrarotfilmen erkennbar, und zwar besonders deutlich offenbar dann, wenn eine gleichmässige Beleuchtung mit einer erheblichen Streuung auch der IR-Strahlung durch eine dünne Hochbewölkung (z.B. Cirrus) herrscht. Tritt dieses Merkmal auf dem Luftbild in ausgeprägter Form auf, so ist es möglich, aus einer einzigen Bildbefliegung den Schädigungsverlauf während zweier Perioden getrennt zu kartieren.

Die Tabelle veranschaulicht deutlich die Überlegenheit der Farbfilme, insbesondere die des Falschfarbenfilms bei der Schädigungskartierung. Für den Falschfarbenfilm ist auf der Basis der genannten Schädigungssymptome ein Interpretationsschlüssel aufgestellt worden, der die Unterscheidung von 5 Schädigungsklassen bei der Fichte vorsieht. Ausser gesunden Kronen liessen sich solche mit älteren leichten bis mittleren Schädigungen, mit frischen leichten bis mittleren Schädigungen, mit schweren bis schwersten Schädigungen und abgestorbene Bäume unterscheiden. Bei anderen Bildbefliegungen und auf normalem Colorfilm waren meist nur drei (gesund, geschädigt, abgestorben) oder vier (gesund, leicht bis mässig geschädigt, stark geschädigt, abgestorben) Schädigungsklassen an der Fichte unterscheidbar. Wenn ältere Schäden erkennbar waren, erschienen sie i.a. dunkler gegenüber gesunden Kronen, während frischere Schädigungen heller abgebildet wurden.

Veränderungen an der Fichte sind besonders leicht interpretierbar, weil der im Prinzip immer gleiche, regelmässige morphologische Kronenaufbau dieser Art Abweichungen von der Regel bezüglich der vorhandenen Benadelung und der Nadelfärbung immer gleichartig zur Darstellung und grundsätzlich stark zur Geltung bringt. Baumarten bzw. -populationen mit einem mehr variablen Kronenhabitus wie der westdeutschen Kiefer (*Pin. silv.*), bei der auch in gesunden Beständen Bäume mit dichten sowie solche mit lockeren Kronen, ausserdem noch verschiedene Kronenformen

durcheinander vorkommen, besitzen ein weniger einheitliches Erscheinungsbild auf der Farbaufnahme, auch dann, wenn keine Schädigungen zu erwarten sind. Schädigungen können hier nur dann ohne Verwechslungsmöglichkeit mit den üblichen individuellen Variationen identifiziert werden, wenn besonders ausgeprägte Symptome festzustellen sind. Aufgrund der bisher vorliegenden Interpretationserfahrungen wird eine sichere Interpretation von chronischen Schädigungen in nordwestdeutschen Kiefernbeständen noch für problematisch gehalten, sofern nur Merkmale der Tönung von Einzelkronen für die Auswertung herangezogen werden. Eine Verbesserung der Interpretationsergebnisse kann durch die Einbeziehung weiterer Interpretationsparameter und Interpretationshilfen (Kronenschlussgrad, Baumhöhen, Bonitäten, ökologische Kennzeichen wie Begleitarten) erreicht werden, doch bedeutet dies auch eine erhebliche Intensivierung der Interpretationsarbeit. Akute Schädigungen sind auch in Kiefernbeständen leicht erkennbar.

##### 5. Schädigungsinventur grösserer Gebiete

Um zu untersuchen, inwieweit ökologische und topographische Gegebenheiten den Schädigungsgrad von Waldbeständen eines Immissionsgebietes beeinflussen, ist die Aufnahme eines grösseren und vielgestaltigen Geländeausschnittes und die Interpretation der dort unter verschiedenen Bedingungen gewachsenen Waldbestände erforderlich. In einem ersten Versuch wurde am südöstlichen Rande des Ruhrgebietes gleichsam als Profillinie ein Flugstreifen von ca. 25 km Länge aufgenommen; auf den Luftbildern wurden 44 Fichten- und 9 Strobenreinbestände auf ihren Anteil an geschädigten Bäumen durch drei verschiedene Auswerter interpretiert. Das Ergebnis von zwei dieser Interpretationen für die Fichtenbestände ist in der Abbildung dargestellt<sup>2)</sup>

2) Die dritte Interpretation, von einem ungeübten Interpreten durchgeführt, zeigte zwar die gleichen Tendenzen, doch lag die absolute Höhe der Schädigungswerte zu hoch. Derartige individuelle systematische Abweichungen sind gerade bei quantitativen Bildinterpretationen trotz intensiver anfänglicher Einübung und Abstimmung immer wieder zu erwarten, da der Übergang zwischen "gesund" und "geschädigt" nicht plötzlich und scharf, sondern allmählich ist.

Eine Voll-Interpretation aller sichtbaren Kronen wurde nur in den kleinsten Beständen durchgeführt. In anderen Fällen beschränkte sich die Auswertung auf Teilinterpretationen, deren Umfang etwa 10 bis 20 % der Stammzahlen der jeweiligen Bestände betrug.

Die 44 Fichtenbestände wurden aufgrund des Interpretationsergebnisses in drei Gruppen aufgeteilt:

A 15 Bestände stärkerer Schädigung

B 15 Bestände mittlerer Schädigung

C 14 Bestände geringer Schädigung

Der durchschnittliche Anteil an geschädigten Kronen betrug in diesen Gruppen ca. 25%, ca. 15% und ca. 10%. Die festgestellten phänologischen Schädigungen können im vorliegenden Fall in erster Linie auf Immissionen zurückgeführt werden. Verschiedene topographische und ökologische Gegebenheiten der Einzelbestände wurden im Zusammenhang mit der vorgenommenen Gruppeneinteilung betrachtet. Dabei ergaben sich die folgenden Feststellungen:

1. Erwartungsgemäss traten schwerere Schädigungen bevorzugt im nördlichen Teil des Flugstreifens auf, wo auch durch Messungen der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen eine insgesamt stärkere Immissionsbelastung nachgewiesen ist.
2. Ältere Bestände reagierten auf Immissionen stärker mit phänologischen Schädigungssymptomen als jüngere.
3. Die Erwartung, dass Nord- und Westexpositionen wegen der Lage zum Immissionskerngebiet und wegen der vorherrschenden westlichen Windrichtung stärker von Schädigungen betroffen sein würden, konnte nicht bestätigt werden. Dagegen zeigte sich, dass Bestände in Kuppen-, Hochplateau- und Oberhanglagen aller Expositionen stärkere Schädigungen aufwiesen.
4. Besonders deutlich konnte demonstriert werden, dass in diesem Gebiet höher gelegene Bestände stärker geschädigt werden als tiefergelegene.
5. Obwohl auf falschfarbigen Luftbildern abgestorbene Bäume stark kontrastierend gegenüber allen anderen Bäumen wiedergegeben werden und deshalb leicht zu erkennen sind, ist die erkennbare Mortalität ein schlechter Weiser für den allgemeinen Vitalitätszustand, weil hier zu viele Einflüsse und Zufälligkeiten wirksam werden können; z.B. die mehr oder weniger schnelle Beseitigung der Mortalität durch Sammelhiebe je nach Zugehörigkeit zu Forstbetrieb usw.--. Dennoch war festzustellen, dass sich die meisten der iden-

tifizierten toten Bäume in den Beständen der Schädigungsgruppe A befanden.

In den Strobenbeständen, die ausser durch Immissionen auch noch durch den Blasenrostpilz (*Cronartium ribicola*) geschädigt werden, war der Schädigungsgrad erwartungsgemäss insgesamt höher als in den Fichtenbeständen; geländebedingte Unterschiede waren für die wenigen Bestände nicht nachweisbar.

Der Umfang dieser Luftbildinterpretation war zu gering, um statistisch gesicherte Aussagen über die Zusammenhänge zwischen interpretiertem Schädigungsgrad und den Gegebenheiten des untersuchten Geländes gewinnen zu können. Es war beabsichtigt, aus dem Bildmaterial einer grösseren Bildbefliegung des Jahres 1970 bereits erste Ergebnisse vorzulegen, doch wurden die Aufnahmen erst vor wenigen Tagen ausgeliefert und sind noch nicht ausgewertet.

#### 6. Folgeschäden auf dem Luftbild

Abschliessend sei noch erwähnt, dass sich das falschfarbige Luftbild auch gut zur Kartierung mancher Folgeschäden der Rauchsäden eignet. Von Rauchsäden werden exponierte Bestandesränder zuerst und am schwersten betroffen; sind sie erst einmal aufgerissen, kann der Sturm die Bestände Stück für Stück aufrollen. Die gute Wiedergabe der Art und der Dichte der Bodenvegetation auf dem Falschfarben-Luftbild ermöglicht eine Rekonstruktion des Schadensverlaufs: In einem Beispiel hatte der Wind - ausgehend von einer aufgerissenen Stelle des Traufs - tief in den Bestand eingegriffen. Auf den ältesten Windwurfflächen war schon dichte Grasvegetation mit einigen Büschen zu erkennen; die daran anschliessende Zone zeigte eine frische, aber noch nicht deckende Schlagflora, während der Boden der frischen Windwurfflächen noch unbewachsen war.

#### Literatur

BENSON, M.L.u. SIMS, W.G. sowie HILDEBRANDT, G. u. KENNEWEG, H., 1970: "The Truth About False Colour Film" (Berichte über Erfahrungen in Australien und in Deutschland) Photogrammetric Record, 6 (35), S. 446-451;

CORTEN, I.F.L., 1966: Physik des Luftbildes in "richtigen" und

Bildmessung u. Luftbildwesen, 34.Jg., S. 191-201;

HILDEBRANDT, G. u. KENNEWEG, H., 1968: Einige Anwendungsmöglichkeiten der Falschfarbenphotographie im forstlichen Luftbildwesen

Allgemeine Forst- u. Jagdzeitg., 139. Jg., S. 205-213  
(mit Sonderbeilage);

STEINER, D. u. GUTERMANN, T., 1966: Russian Data on Spectral Reflectance of Vegetation, Soil and Rock Types  
232 pp. Jurisverlag, Zürich

TAUBENHAU, J. J., EZEKIEL, W. u. NEBLETTE, 1929: Airplane Photography in the Study of Cotton Root Rot.  
Phytopathology, 19 S. 1025-1029.

## THE PROBLEM OF RECOGNIZING AND DEMARCATING FUME DAMAGE ON AERIAL PHOTOS

BY H. KENNEWEG

*Institut für Forsteinrichtung und forstliche Betriebswirtschaft  
der Universität Freiburg.*

Investigations on the interpretation of colour aerial photographs in forest areas in north and south Germany affected by pollution (SO<sub>2</sub> and HF) have produced the following summarized results and findings:

1. Colour aerial photos were always superior to black and white photos; false colour photos usually produced better interpretation results than normal colour photos.
2. Contrary to optimistic expectations, damage symptoms invisible in the field remained invisible on aerial photos as well; systematic morphological structure (e.g. spruce) intensifies the effect of damage such as foliage discoloration or defoliation; variable habit (e.g. pine) makes interpretation more difficult.
3. The basic element in interpretation of forest damage is the individual tree crown, the size of which determines the photo scale; interpretation of pole-age stands requires a lower scale limit of about 1:5,000.
4. Photo quality, tree species, picture scale, and type and concentration of pollutant make it possible to rank individual crowns into 3 (healthy, damaged, dead) to 5 damage classes; the degree of damage of stands or samples depends on the combination of different degrees of damage to individual crowns.
5. Direct determination of the cause of damage is possible only very exceptionally.
6. Particularly favourable conditions for photography make it possible to distinguish between old and fresh damage on Ektachrome Infra-red film, so that a single photo flight can make it possible to determine separately the damage of two different growing seasons.
7. Interpretation of spruce stands at the edge of the Ruhr zone affected by pollution confirmed the expected relative increase in damage towards the centre of the pollution zone. Younger stands generally exhibited less damage than older stands. Against expectation, no demonstrable influence of slope direction was found on the degree of damage; on the other hand, damage increased with increasing altitude, even at a distance from the central pollution zone. As expected, *Pinus strobus* stands exhibited worse damage (blister rust attack), and fewer differences due to terrain. Statistical evaluation was not done, because of the small number of samples. It should be done in the 1970 growing season, with a larger number of photo flights.

The investigations were supported financially by the Deutsche Forschungsgemeinschaft, the provinces of North Rhine—Westphalia and Lower Saxony, and the Siedlungsverband (Land Settlement Union) of the Ruhr coal-mining area.

